

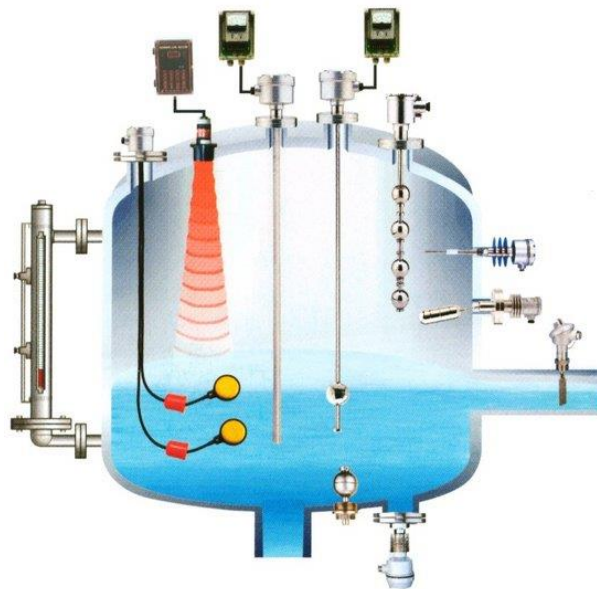
Vježba L-10: MJERENJE RAZINE

1. Svrha vježbe

Upoznati se s načelima rada mjernih pretvornika razine. Usporediti različita načela mjerenja i karakteristike mjernih pretvornika razine. Statistički obraditi dobivene rezultate mjerenja.

2. Teorijska osnova

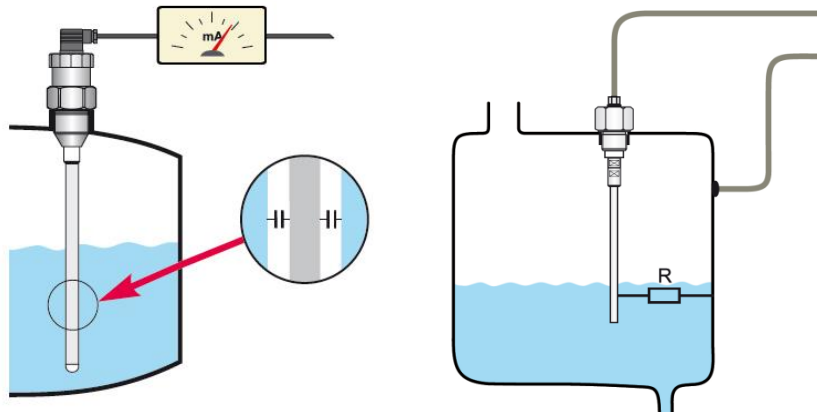
Između više načela mjerenja razine što se primjenjuju u praksi za određivanja količine tvari u spremnicima, posudama i reaktorima u ovoj vježbi odabrana su ona koja se najčešće primjenjuju: tlačno, kapacitivno, radarsko, ultrazvučno i mjerenje vaganjem.



Slika 1 Mjerni pretvornici razine

2.1 Kapacitivni pretvornici razine

Kapacitivno mjerenje razine temelji se na razlici relativnih dielektričnosti motrene kapljevine i zraka ili plina iznad te kapljevine. Pri mjerenju se u posudu s motrenom kapljevinoj stavlja jedna ili slog dviju elektroda tako da one tvore kondenzator, odnosno kapacitivno osjetilo razine. Dielektrik tog osjetila jednim je dijelom kapljevina, a drugim dijelom zrak ili plin. Njihov odnos ovisi o razini, stoga i kapacitet osjetila ovisi o razini. Stavi li se osjetilo u prikladan mjerni spoj tvorit će kapacitivni pretvornik razine kao što je prikazano na slici 2.



Slika 2 Kapacitivno mjerenje razine

U praksi se obično primjenjuje osjetilo s jednom ili dvije usporedne ploče ili, pak, osjetilo s koncentričnim elektrodama. Kapacitet kondenzatora s usporednim pločama jest:

$$C_p = \varepsilon_o \cdot \varepsilon_r \cdot \frac{S}{d}$$

pri čemu su ε_r relativna dielektričnost, a ε_o dielektričnost vakuuma ($8,8542 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$). Trenutna razina dijeli osjetilo na dva kondenzatora, jedan s kapljevinom kao dielektrikom, a drugi sa zrakom kao dielektrikom. Označimo li kapacitet prvog sa C_k , a kapacitet drugog sa C_z ukupni kapacitet osjetila jest $C = C_k + C_z$, što za osjetilo s pločastim kondenzatorom znači:

$$C_p = \varepsilon_o \varepsilon_{r1} \frac{a \cdot h}{d} + \varepsilon_o \varepsilon_{r2} \frac{a(L-h)}{d} = \varepsilon_o \frac{a}{d} [\varepsilon_{r2} L - (\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}) h]$$

Ovi izrazi omogućuju da s dovoljnom točnosti odredimo zavisnost kapaciteta osjetila od razine i provjerimo eksperimentalne podatke. Poteškoću čini rad s vodom, koja redestilirana ima $\varepsilon_r = 80$, ali već nakon kraćeg vremena stajanja na zraku smanjuje joj se dielektričnost na 50, a zatim i na niže vrijednosti. Navedeni izraz predstavlja teorijsku statičku karakteristiku koja se može izraziti u obliku zavisnosti promjene kapaciteta osjetila od razine:

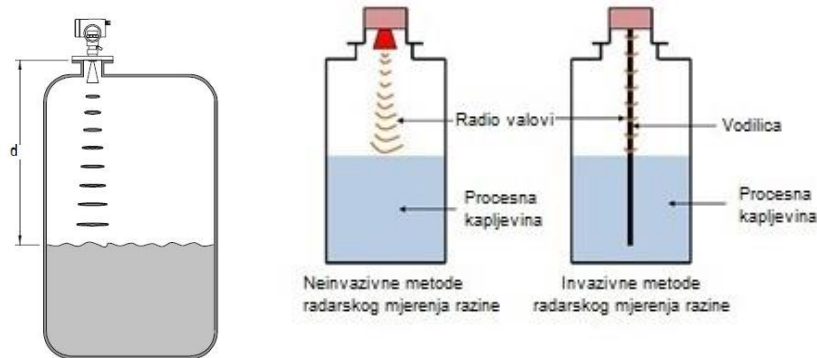
$$\Delta C_p = -\varepsilon_o \frac{a}{d} (\varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2}) h$$

2.2 Radarski pretvornici razine

Radarsko mjerenje razine temelji se na mjerenju vremena potrebnog da se mikrovalni signal (GHz) emitiran s osjetila, nakon refleksije od površine medija čija se razina mjeri, vrati na prijammnik signala. Antena osjetila odašilje mikrovalove prema površini medija. Frekvencija mikrovalova kontinuirano se modulira. Prijammnik signala prima dio energije koja se reflektira od površine, a određuje se vrijeme potrebno da signal stigne natrag do pretvornika (engl. *time of flight*).

Standardne tehnike mjerenja su:

- a) Neinvazivne (pulsni radar i kontinuirani val s moduliranom frekvencijom);
- b) Invazivne (primjenjuje se vodilica - žica ili šipka uronjena unutar spremnika).



Slika 3 Mjerenje razine radarskim pretvornikom

Mikrovalovi se šire brzinom svjetlosti. Vrijeme širenja proporcionalno je udaljenosti d :

$$d = (c \cdot t) / 2$$

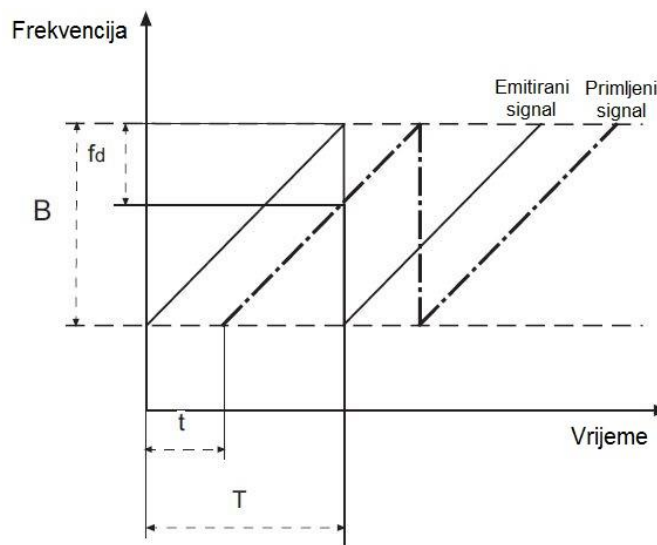
pri čemu su d - udaljenost, t - vrijeme širenja vala, c - brzina svjetlosti.

Signal koji dolazi na prijamnik ima različitu frekvenciju od signala koji se u tom trenutku emitira s antene. Razlika frekvencija, f_d , povezuje emitirani i primljeni signal, a proporcionalna je udaljenosti d od površine medija:

$$f_d = (2 \cdot B \cdot d) / (T \cdot c)$$

pri čemu su B - širina pojasa modulacije frekvencije, d - udaljenost, T - trajanje modulacije, c - brzina svjetlosti. Preoblikovanjem se dobiva udaljenost površine od antene, odnosno razina:

$$d = (f_d \cdot T \cdot c) / (2 \cdot B)$$

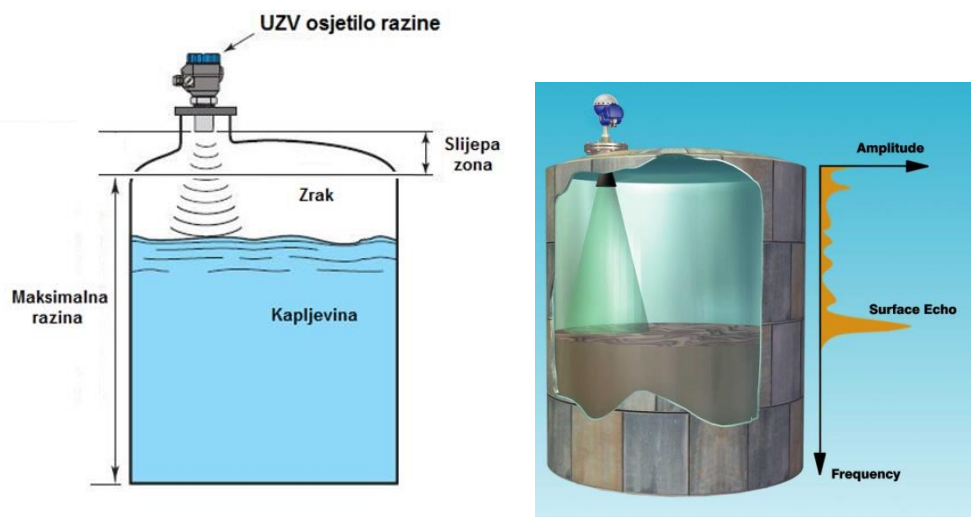


Slika 4 Određivanje razlike frekvencija

2.3. Ultrazvučni pretvornici razine

Ultrazvučna osjetila rade na sličnom načelu kao i radarska, a razlika je u tome da se šalje i prima ultrazvučni pulsni signal frekvencije 20 - 200 kHz koji se širi brzinom zvuka. Signal dolazi do površine medija i odbija se nazad do prijammnika. Mjeri se vrijeme potrebno da puls dođe do površine i reflektira se nazad. Signal se širi u obliku stošca koji se pod određenim kutom širi od osjetila prema mediju. Nakon odbijanja od površine medija puls se vraća na prijammnik signala koji ga zatim obrađuje i pretvara u izlazni signal pretvornika. Vrijeme je direktno proporcionalno udaljenosti od površine.

Zbog visoke amplitude pulsa javlja se vibriranje osjetila. Kako bi se izbjegla pogreška pri mjerenju zbog vibracija postoji tzv. "slijepa zona". To je udaljenost koju je potrebno osigurati od mjesta emitiranja pulsa do maksimalne moguće razine medija, slika 5.



Slika 5 Ultrazvučno mjerenje razine

S promjenom temperature mijenjaju se karakteristike piezokristala, koji emitira ultrazvučne pulseve, što izaziva promjenu frekvencije emitiranog pulsa. Da bi se izbjegla pogreška u mjerenju osjetilo ima ugrađeno osjetilo temperature za kompenzaciju signala.

Za točnost mjerenja važno je da je osjetilo ugrađeno pod pravim kutom (90°) prema mjerenoj površini. Ako tome nije tako, signal se neće reflektirati izravno prema osjetilu pa izmjereno vrijeme neće biti proporcionalno stvarnoj razini.

2.4. Potopna sonda

Pri mjerenju razine s potopnom sondom mjeri se hidrostatski tlak kapljevine i određuje razina pomoću jednostavne relacije:

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

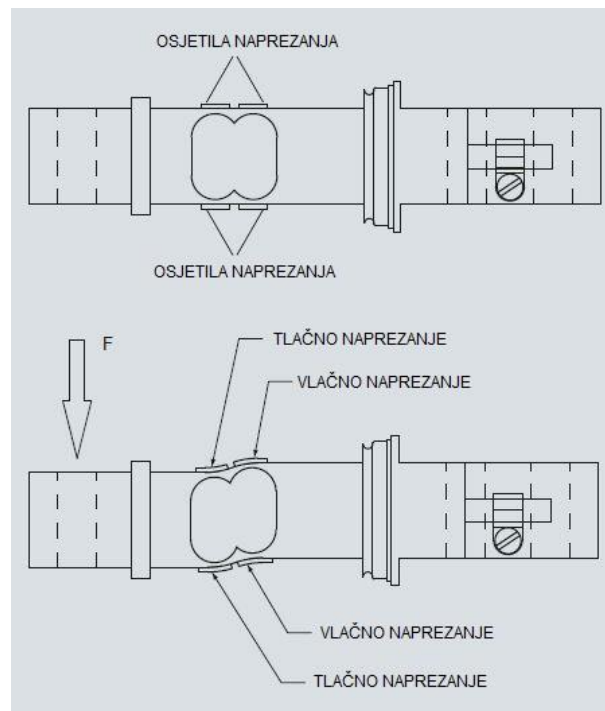
pri čemu su p - hidrostatski tlak, ρ - gustoća kapljevine, g – akceleracija sile teže, h - razina kapljevine. Prema tome, razina se određuje mjerenjem hidrostatskog tlaka.

Za mjerenje hidrostatskog tlaka obično se primjenjuju piezootpornička osjetila. Piezokristal pod djelovanjem tlaka inducira napon. Hidrostatski tlak koji djeluje na dijafragmu osjetila uspoređuje se s atmosferskim tlakom, a inducirani napon pretvara se u mjerni signal o razini.

2.4. Vagarski sustav

Vagarski sustavi mjere masu. Količina tvari može se odrediti ako poznajemo masu spremnika. Ukupna masa je, ukoliko nema promjene gustoće mjerene kapljevine ili krutine, proporcionalna razini.

Ulazna pobuda je mehanička sila, odnosno naprezanje, koje se mjeri u podnožju spremnika gdje je smješteno osjetilo naprezanja. Primjenom sile na osjetilo dolazi do elastične deformacije, slika 6. Posljedica deformacije je promjena otpora osjetila koja se pretvara u promjenu izlaznog signala. Izlaz je električni signal iz mjernog mosta.



Slika 6 Načelo rada vagarske ćelije

Na svakoj vagarskoj ćeliji nalaze se osjetila naprezanja koja su spojena u Wheatstoneov mjerni most. Neuravnoteženost mjernog mosta posljedica je sume pozitivnih i negativnih promjena otpora koji su posljedica opterećenja vagarskih ćelija.

OPIS VJEŽBE I MJERENJA

Sustav za mjerenje čine dvije posude s vodom. Donja je spremnik vode, a u gornjoj se mjeri razina. Pumpom i cijevima voda se prenosi iz donjeg u gornji spremnik i obratno. Pomoću računala upravlja se elektromagnetskim ventilima i tako postiže zadana razina.

Signali mjernih pretvornika razine zapisuju se u datoteku. Tijekom provedbe vježbe uspoređuju se karakteristike slijedećih pretvornika:

1. Kapacitivni pretvornik razine

U spremnik s kapljevinom uronjen je jedna elektroda, a drugu predstavlja stjenka spremnika. Signal mjernog pretvornika kapaciteta proporcionalan je promjeni razine.

2. Radarski pretvornik razine

Iznad spremnika s kapljevinom učvršćen je radarski pretvornik razine. Promjenom razine mjeri se signal proporcionalan toj promjeni.

3. Ultrazvučni pretvornik razine

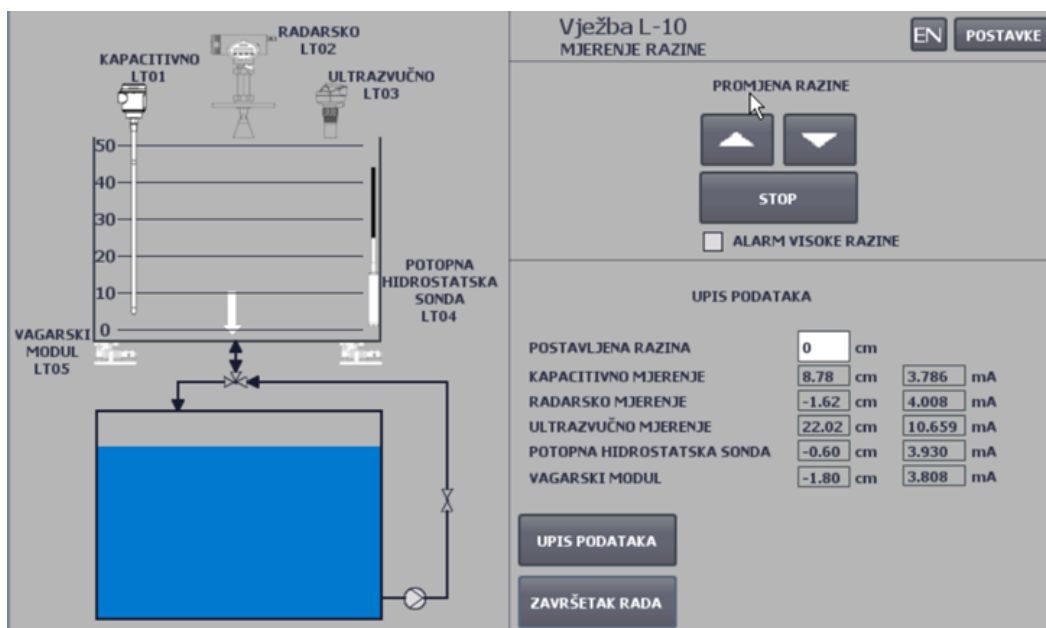
Iznad spremnika s kapljevinom učvršćen je ultrazvučni pretvornik razine. Promjenom razine mjeri se signal proporcionalan toj promjeni.

4. Potopna sonda za mjerenje razine

U spremnik s kapljevinom uronjena je potopna sonda. Promjenom razine mijenja se hidrostatski tlak kojeg mjeri pretvornik tlaka.

5. Vagarski sustav

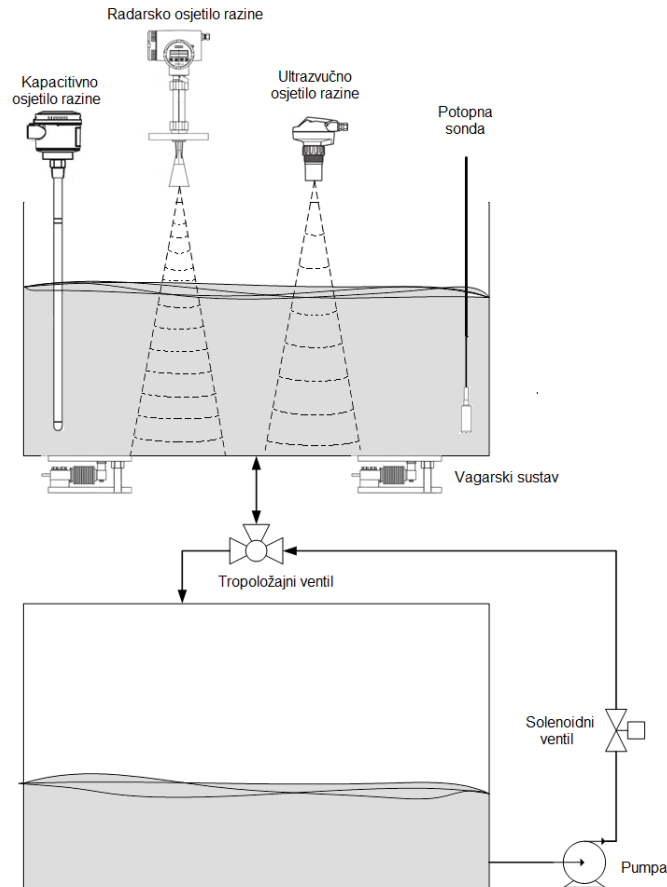
Podno spremnika s kapljevinom nalaze se vagarske ćelije. Promjenom razine u spremniku mijenja se i masa spremnika te dolazi do većeg ili manjeg opterećenja ćelija što za posljedicu ima promjenu mjernog signala.



Slika 7 Sučelje računalnog programa

Na slici 7 prikazano je sučelje računalnog programa za prikupljanje mjernih podataka i upravljanje elektromagnetskim ventilima putem računala.



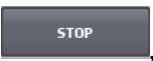
Slika 8 prikazuje laboratorijski postav za mjerenje razine.




Slika 8 Laboratorijski postav za mjerenje razine


POKUSI

Na prijenosnom računalu L-10 pokrenut je računalni program čije je sučelje prikazano na slici 7. Na desnoj strani ekrana nalaze se sučelja *Promjena razine* i *Upis podataka*.

Tipkama za povećanje razine  , za smanjenje razine  i *STOP*  , namješta se željena razina.

S mjerne skale na prozoru spremnika očitava se trenutna razina i upisuje u polje *Postavljena razina*. Nakon upisa obavezno pritisnuti tipku **Enter** kako bi se potvrdila upisana vrijednost u polju za upis.

Pritiskom na tipku  trenutne se vrijednosti upisuju u datoteku. Nakon klika na tipku na zaslonu se javlja poruka s brojem upisanih vrijednosti razine tokom eksperimenta.

Po završetku mjerenja, nakon zadnjeg mjernog ciklusa, pritisnuti tipku  čime se završava upis podataka u datoteku.

U slučaju da razina vode dosegne 55 cm uključuje se *Alarm visoke razine* kao upozorenje da može doći do prelijevanja. U tom slučaju nije moguće upravljati sustavom.

Rezultati mjerenja pohranjeni su u datoteku na serverskom računalu F-10 u mapi DATA_L-10. Po završetku vježbe upitajte asistenta/tehničara/demonstratora da prebaci datoteku sa mjernim podacima na vašu prijenosnu memoriju.

POSTUPAK MJERENJA

Na početku mjerenja potrebno je namjestiti razinu vode u gornjem spremniku na maksimalnu razinu od 50 cm (100%). To je početno stanje u kojem započinje eksperiment!

Počevši od maksimalne razine potrebno je razinu smanjivati u koracima od 10 cm i redom zapisivati izlazni signal svakog pretvornika. Kad se dostigne minimalna razina 0 cm (0 %), postupak treba nastaviti u suprotnom smjeru, također u koracima od 10 cm. Mjerni ciklus ponavlja se tri puta.

Na temelju dobivenih rezultata provedite statističku analizu podataka i usporedite karakteristike mjernih pretvornik pri čemu odredite linearnost, histerezu i standardnu devijaciju.

OBRADA REZULTATA I IZVJEŠTAJ

Rezultati mjerenja prikazati tablično i grafički. Izračunajte koeficijente a i b regresijskog pravca $y = ax + b$ za osjetila čije su statičke karakteristike približno linearne. Izračunajte standardnu devijaciju aritmetičke sredine za pojedine vrijednosti mjerene veličine. Odredite linearnost i histerezu!

LITERATURA

1. N. Bolf, Mjerenje razine - predavanja iz kolegija *Mjerenja i vođenje procesa*, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu, 2021.
2. Upute za rad s mjernim pretvornicima razine, *Siemens*, tehnička dokumentacija
3. https://www.controlglobal.com/assets/wp_downloads/pdf/071102_Part1.pdf
4. https://www.controlglobal.com/assets/wp_downloads/pdf/071102_Part2.pdf