Mjerenje razine

Buljan, Mario

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split, Faculty of Maritime Studies / Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:164:983151

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Repository - Faculty of Maritime Studies - Split - Repository - Faculty of Maritime Studies Split for permanent storage and preservation of digital resources of the institution

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET U SPLITU

MARIO BULJAN

MJERENJE RAZINE

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2019.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

POMORSKI FAKULTET U SPLITU

STUDIJ: BRODOSTROJARSTVO

MJERENJE RAZINE

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:

dr. sc. Tina Perić

STUDENT:

Mario Buljan

(MB: 0023115617)

SPLIT, 2019.

SAŽETAK

Mjerenje razine od sve je veće važnosti radi kontroliranja kvalitete, sigurnosti te izračuna profitabilnosti u brodskoj industriji. Ovaj rad pokušava općenito definirati pojam mjerenja razine, odnosno mjerenja razine tekućine u spremnicima te osnovne metode mjerenja podjelivši navedene metode u dvije glavne skupine: metodu diskretnog mjerenja razine i metodu kontinuiranog mjerenja razine. Iznoseći glavna funkcionalna načela svake metode te prednosti i nedostatke korištenja pojedinačne metode mjerenja razine tekućine u praksi, rad daje prednost drugoj skupini metoda, naglašavajući kako uvijek valja biti na oprezu prilikom odabira optimalne metode za svaku pojedinačnu situaciju mjerenja vodeći računa o faktorima koji utječu na izbor metode, odnosno senzora razine.

Ključne riječi: *mjerenje razine, metode mjerenja, senzori razine, diskretno i kontinuirano mjerenje.*

ABSTRACT

Measurement procedures are becoming more and more important because of their role in controlling the quality, safety and calculation of profitability in maritime industry. This paper aims to define the process oof measurement of liquid level in ship tanks and its main methods by sorting them into the two main groups: the discreet (indirect) and continuous (direct) methods of measurements. Considering the main functional principles of each method and their advantages and disadvantages, the preference is given to the second group of methods. As always, we need to be careful with choosing the optimal method for each individual measurement, taking into account all factors that influence the selection of method or level sensor.

Keywords: *measurement of liquid level, methods of measurement, sensors of liquid level, direct and indirect methods of measurement.*

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. MJERENJE I AUTOMATIZACIJA PROCESA 2
   2.1. MJERENJE I MJERNI SUSTAV 2
   2.2. MJERNE METODE 3
   2.3. MJERNI TERMINI 4
   2.4. MJERENJE NEELEKTRIČNIH VELIČINA 6
   2.5. TEHNOLOŠKI PROCES 9
   2.6. AUTOMATIZACIJA TEHNOLOŠKOG PROCESA 10
      2.6.1. Procesno računalo 10
      2.6.2. Upravljanje i regulacija 11
3. MJERENJE RAZINE 12
   3.1. VRSTE METODA ZA MJERENJE RAZINE 13
   3.2. DISKRETNE METODE MJERENJA RAZINE 14
      3.2.1. Mjerenje razine pomoću uronjenih štapova 14
      3.2.2. Mjerenje razine pomoću plovka 15
      3.2.3. Mjerenje razine pomoću ronila 16
      3.2.4. Mjerenje razine staklenom cjevčicom 17
      3.2.5. Limnigraf 18
   3.3. IZRAVNE (KONTINUIRANE) METODE MJERENJA RAZINE 18
      3.3.1. Hidrostatsko mjerenje razine 19
      3.3.2. Konduktivno mjerenje razine 22
      3.3.3. Kapacitivno mjerenje razine 23
      3.3.4. Radarski senzori razine 25
      3.3.5. Ultrazvučno mjerenje razine 27
      3.3.6. Optičko mjerenje razine 27
4. ODREĐIVANJE RAZINE U BRODSKIM SUSTAVIMA 29
   4.1. PRIMJENA SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE 29
   4.2. PRIMJENA RADARSKE TEHNOLOGIJE 30
   4.3. ODREĐIVANJE RAZINE TEKUĆINE U BRODSKIM TANKOVIMA 31
   4.4. MJERENJE RAZINE GORIVA 32
5. ZAKLJUČAK 33

6. LITERATURA 34
POPIS SLIKA 36
POPIS TABLICA 37
POPIS KRATICA 38

1. UVOD

Od samih početaka ljudskog rada i djelovanja nameće se potreba za preciznošću, za poznavanjem omjera i odnosa među svim postojećim elementima čovjekove svakodnevice, fizikalnim veličinama i za egzaktnim mjerenjima. Ta se potreba, održala i dan danas, i sukladno tome, današnji je potrošački svijet nemoguće zamisliti bez mjerenja. Mjerimo gotovo sve oko nas, a u industriji, bilo procesnoj, teškoj, prehrambenoj, kemijskoj, ili brodskoj, ta potreba za mjerenjem postaje sve bitnija zbog tržišnih zahtjeva koji, ukoliko se ne radi o robi masovne potrošnje, prije svega teže kvaliteti i maksimalnoj iskoristivosti tj. profitabilnosti resursa. Mjerenje, dakle, preuzima vodeću ulogu u kontroli i kvaliteti industrijskih proizvoda, a samim time pažnja i procesi posvećeni mjerenju povećavaju troškove proizvodnje. S druge strane precizna mjerenja temelj su predviđanja komercijalne iskoristivosti pojedinog proizvoda, pa tako i broda.

Ovaj rad, potaknut sveprisutnošću i nametanjem važnosti mjerenja općenito, ali i mjerenja razine kao podkategorijom, pod nazivom *Mjerenje razine* pokušat će sustavno prikazati, opisati i objasniti različite mjerne metode, instrumente i okolnosti pod kojima se oni koriste u brodskoj industriji te ih kvalitativno usporediti na temelju njihovih značajki i efikasnosti u praksi mjerenja razine tekućine u brodskim tankovima i stonovima.

Prije svega, u prvom dijelu rada ukratko će se razmotriti glavni termini mjerenja te automatizacija tehnoloških procesa u kojoj će se prikazati svi glavni dijelovi osnovnih sustava kako bi se pokazala važnost mjerenja u takvim sustavima. Zatim će se metode podijeliti na izravne i neizravne da bi se sistematičnije sagledao njihov princip rada te prednosti i nedostatci primjene u praksi. Zadnji dio rada nosi opis mjerenja razine u brodskim sustavima kao i naglasak o važnosti mjerenja u pravom primjeru.

2. MJERENJE I AUTOMATIZACIJA PROCESA

2.1. MJERENJE I MJERNI SUSTAV

Mjerenje je eksperimentalni proces dobivanja jedne ili više vrijednosti neke mjerne veličine. Cilj mjerenja je određivanje vrijednosti mjerene veličine. Za mjerenja možemo reći da nisu savršena zbog djelovanja slučajnih pogrešaka te je zbog ograničenih mogućnosti korekcije i ispravka sustavne pogreške mjerni rezultat samo aproksimacija odnosno procjena vrijednosti mjerene veličine. Upravo su kroz matematički model mjerenja, kojim se skup ponovljenih mjerenja pretvara u mjerni rezultat, uključene različite utjecajne veličine koje nisu točno poznate i potrebno ih je procijeniti. Nedostatak znanja o utjecajnim veličinama, promjene rezultata u uvjetima ponovljivosti i nesigurnost pridružena matematičkom modelu doprinosi nesigurnosti mjernog rezultata. Sve naznačene mjeriteljske pojmove trebaju se opisati i kvantificirati statističkim parametrima te metodama i alatima [18].

Mjerni sustav treba biti u mogućnosti prepoznati odstupanja procesa ili proizvoda koji se prati, a sve u svrhu da se dobije spoznaja o stvarnoj sposobnosti procesa. U današnjoj proizvodnji javlja se potreba za što boljom i detaljnijom kontrolom procesa zbog veće kompleksnosti tehničkih sustava u proizvodnoj i procesnoj industriji. Upravo zbog svega navedenog potrebno je poticati istraživanja i razvoj u području mjerenja i ispitivanja, kao i prijenos znanja te podizati svijest o važnosti mjerenja i ispitivanja.

Struktura mjernih sustava je prikazana od mjernog objekta do ciljnog objekta. Postoje tri glavne funkcije mjernog sustava, a to su:

- prikupljanje podataka,
- obrada podataka i
- slanje podataka.

Prikupljanje podataka nam služi da se dobiju sve osnovne informacije o objektu mjerenja te da se mjerni signal pretvori u električni signal. Tri su glavne funkcije podsustava za prikupljanje podataka [26]:

- transformacija,
- prilagodba i

- analogno-digitalno (A/D) pretvaranje.

U obradu podataka spada obrada, odabir ili neki drugi način korištenja mjerenim podacima propisanim načinom. Taj zadatak uglavnom obavlja mikroprocesor ili računalo.

Zadnji korak je distribucija podataka s kojom dostavljamo obrađene podatke ciljnom objektu. Razlikujemo dva osnovna mjerna sustava:

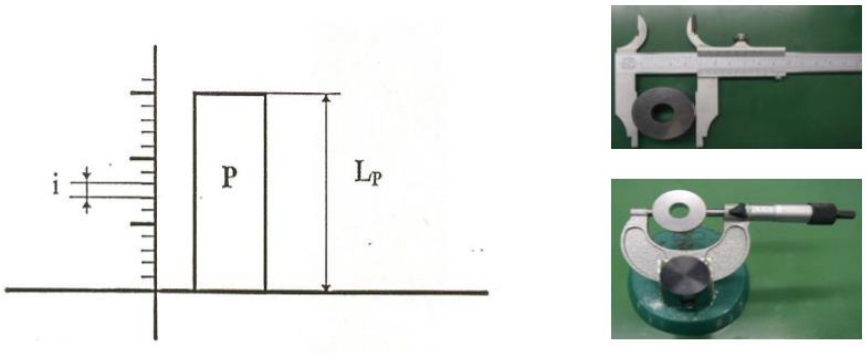
- ručno upravljani i
- automatizirani mjerni sustav.

Mjerni postupak je detaljan opis mjerenja u skladu s jednim ili više mjernih načela i danom mjernom metodom, na temelju mjernog modela i uključujući svaki izračun kako bi se dobio mjerni rezultat.

2.2. MJERNE METODE

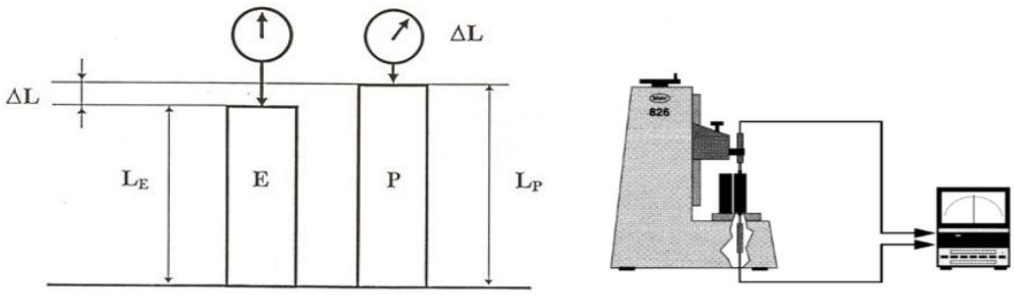
Mjerna metoda je opći opis smislene organizacije postupaka koji se upotrebljavaju u mjerenju. Postoji nekoliko vrsta osnovnih mjernih metoda:

- Izravna ili direktna mjerna metoda (slika 1) je metoda u kojoj se vrijednost mjerene veličine određuje izravno, bez mjerenja drugih veličina fizikalno povezanih s mjernom veličinom.



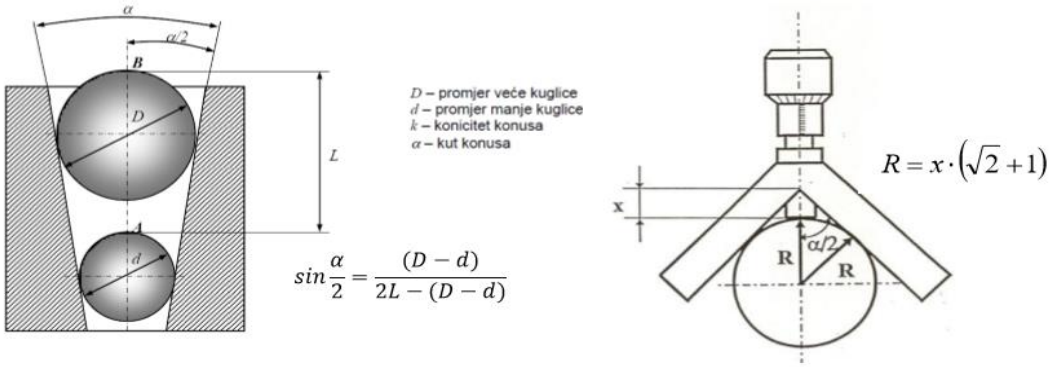
Slika 1. Izravno mjerenje [26]

- Diferencijska ili usporedbena metoda (slika 2) je metoda u kojoj se mjerena veličina uspoređuje s istovrsnom veličinom poznate vrijednosti, malo različitom od mjerene veličine, a mjeri se razlika tih dviju vrijednosti.



Slika 2. Usporedbena metoda mjerenja [26]

- Posredna mjerna metoda, prikazana na slici 3., je metoda u kojoj se vrijednost mjerene veličine određuje mjerenjem drugih veličina što su s njom funkcijski povezane.



Slika 3. Posredna metoda mjerenja [26]

2.3. MJERNI TERMINI

Mjerno jedinstvo je status kada mjerne rezultate, izražene u pripadajućim jedinicama, mogu s utvrđenim mjernim nesigurnostima dovesti u vezu s referencijskim etalonima. Sastavnice mjernog jedinstva su [18]:

- Mjeriteljska infrastruktura - u većini zemalja sastoji se od nacionalnih mjeriteljskih ustanova, imenovanih nacionalnih i ovlaštenih laboratorija.
- Međunarodni sustav jedinica SI - sustav temeljen na sedam osnovnih veličina: duljina, masa, vrijeme, električna struja, termodinamička temperatura, količina tvari i svjetlosna jakost.

- Umjeravanje - skup postupaka kojima se u određenim uvjetima uspostavlja odnos između vrijednosti veličina koje pokazuje neko mjerilo ili mjerni sustav ili vrijednosti koje pokazuje neka materijalizirana mjera ili neka referencijska tvar i odgovarajućih vrijednosti ostvarenih etalonima.
- Sljedivost - svojstvo mjernog rezultata kojim se rezultat dovodi u vezu s navedenim referencijskim etalonima (državnim ili međunarodnim) korištenjem neprekinutih lanaca umjeravanja od kojih svako umjeravanje doprinosi utvrđenoj mjernoj nesigurnosti.
- Etaloni - su referentne veličine, odnosno ono s čime možemo uspoređivati ono što mjerimo. Vrste mjernih etalona dane su u tablici 1.

Tablica 1. Vrste mjernih etalona [18]

Međunarodni mjerni etalon	etalon priznat međunarodnim dogovorom da bi služio kao međunarodna osnova za dodjeljivanje vrijednosti drugim etalonima određene veličine
Državni mjerni etalon	mjerni etalon priznat odlukom državne vlasti da služi u toj državi ili gospodarstvu kao temelj za dodjelu vrijednosti veličine drugim mjernim etalonima za dotičnu vrstu veličin
Primarni mjerni etalon	mjerni etalon uspostavljen uporabom primarnog mjernog postupka ili stvoren kao predmet odabran dogovorom
Sekundarni mjerni etalon	mjerni etalon uspostavljen umjeravanjem u odnosu na primarni mjerni etalon za veličinu iste vrste
Referentni mjerni etalon	mjerni etalon određen umjeravanje drugih mjernih etalona za veličine dane vrste u danoj organizaciji ili na danoj lokaciji
Radni mjerni etalon	mjerni etalon koji se redovito upotrebljava za umjeravanje ili ovjeravanje mjerila ili mjernih sustava
Prijenosni mjerni etalon	mjerni etalon, često posebne konstrukcije, koji je namijenjen za prijenos na različita mjesta

Pogreška mjerenja se definira kao razlika između izmjerene vrijednosti veličine i referentne vrijednosti veličine. Pogreške prema uzroku nastajanja dijele se na:

- Sustavne pogreške - posljedica neodgovarajuće metode mjerenja, loše konstrukcije, deformacija i istrošenosti mjernih uređaja)

- Slučajne pogreške - ne mogu se prepoznati ni odrediti pa se iz istih razloga ne mogu ni otkloniti, slučajne pogreške dovode do nepreciznosti rezultata mjerenja
- Grube pogreške - nastaju nepažnjom mjeritelja, primjenom neodgovarajuće mjerne opreme ili neodgovarajuće metode mjerenja, značajno odstupaju u odnosu na ostale rezultate

Mjerna nesigurnost opisuje se kao parametar pridružen rezultatu mjerenja koji opisuje rasipanje vrijednosti koje bi se razumno mogle pripisati mjerenoj veličini. Kod procjene kvalitete mjernog sustava potrebno je identificirati i kvantificirati izvore varijabilnosti, odrediti stabilnost, te odrediti sposobnost mjernog sustava. Potrebe za analizom mjernog sustava javljaju se kod preuzimanja nove mjerne opreme, usporedbe mjernih karakteristika različitih mjernih sredstava, kod usporedbe mjernih karakteristika prije i poslije popravka mjerne opreme, pri utvrđivanju sustavnih pogrešaka te kod određivanja sastavnica za izračunavanje varijacija procesa mjerenja i ocjenjivanja prihvatljivosti za kontrolu proizvodnog procesa [26].

2.4. MJERENJE NEELEKTRIČNIH VELIČINA

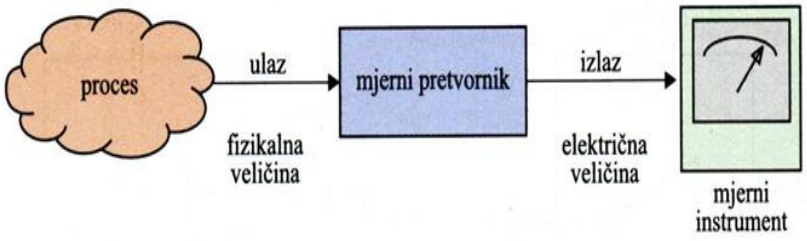
Osnovne neelektrične veličine koje se mjere su: brzina, akceleracija, put, hrapavost površine, sila tlak, moment naprezanja, vibracije, tvrdoća, koncentracije tvari, protok, mehaničko naprezanje i razina. Ovim veličinama mogu se dodati i pravocrtni ili kutni pomak. Pretvorba neelektričnih veličina u električne vrlo je važna jer se na taj način mogu jednom metodom ili jednom vrstom instrumenta mjeriti različite fizikalne veličine, prikazati i izmjeriti vrlo male promjene mjerene neelektrične veličine, mjeriti i bilježiti vrlo brze promjene neelektrične veličine te vršiti mjerenja na daljinu [5].

Postoje brojne prednosti koje pruža rad s električnim veličinama. To su [5]:

- suvremeni informacijski uređaji su elektronički, a u njih dolaze podaci u električnom obliku (sve ostale izvedbe upravljačkih uređaja su lošije);
- velika točnost rada;
- velika osjetljivost;
- lakše se izvodi daljinski prijenos podataka, a moguć je i elektrooptički prijenos;
- jednostavno pamćenje podataka (memoriranje);
- jednostavno očitavanje podataka (signalizacija, indikacija);

- jednostavno instaliranje i održavanje uređaja (eksploatacija);
- jednostavno zapisivanje podataka (registriranje);
- velika mogućnost nadzora ispravnosti podataka;
- pojava inteligentnih integriranih mjernih uređaja s mikroprocesorima koji pružaju nove kvalitete u mjernoj tehnici.

Na slici 4. prikazano je načelo mjerenja neelektričnih veličina.



Slika 4. Mjerenje neelektričnih veličina [18]

Mjerenja se izvode pomoću mjernih instrumenata. Glavni dijelovi mjernog instrumenta su [4]:

- Mjerno osjetilo - element mjernoga sustava u izravnom kontaktu s mjerenom veličinom i daje izlazni signal koji je ovisan o njezinu iznosu.
- Mjerni pretvornik - pretvara signale mjerenih veličina iz jedne u drugu vrstu energije
- Pokazivalo - pokazuje vrijednost mjerene veličine.

Mjerni pretvornici najčešće se dijele prema:

- prirodi mjernih veličina,
- principu rada,
- vrsti izlaznog signala i
- području primjene (pomorstvo, graditeljstvo…).

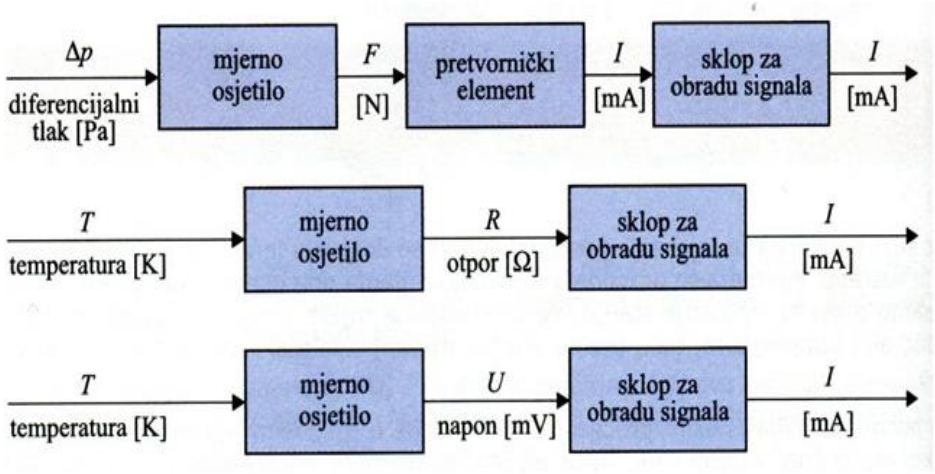
Prema principu rada pretvornika postoji podjela na [9]:

- pasivne kojima je potreban dodatan izvor energije, jer samo s energijom ulaznog signala ne mogu dati izlazni signal;
- aktivne kojima nije potreban dodatni izvor napajanja te su oni stoga pretvornici energija. Aktivni mjerni pretvornici dijele se s obzirom na vrstu pretvorbe energije

pa stoga postoje pretvorbe mehaničke u električnu, toplinske u električnu, svjetlosne u električnu te kemijske u električnu energiju.

Prema prirodi mjerenih veličina pretvornici se dijele na [8]: mjerne pretvornike kinematičkih veličina (duljina, sila), mjerne pretvornike tehnoloških veličina (razina, tlak) te mjerni pretvornici električnih veličina (napon, struja). Načelo pretvaranja neelektrične veličine u standardizirani izlazni signal, prikazan je na slijedećoj slici. Ovdje vidimo strukture nekih mjernih pretvornika pri određenim mjerenjima:

a) mjerenje diferencijalnog tlaka
b) mjerenje temperature
c) mjerenje temperature



Slika 5. Strukture nekih mjernih pretvornika [6]

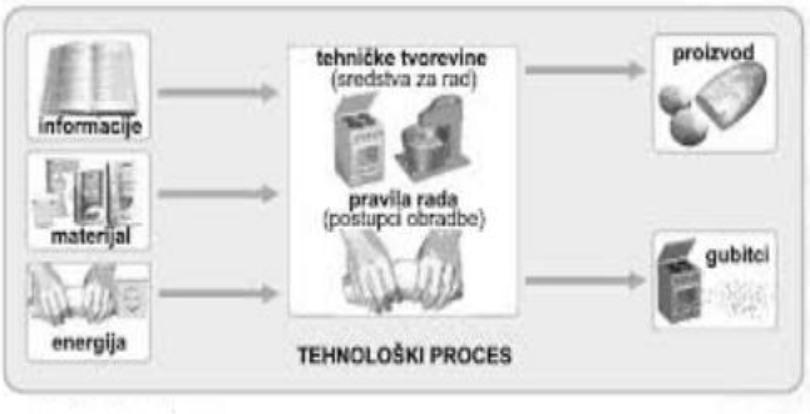
Prema vrsti izlaznog signala mjerni pretvornici mogu biti:

- strujni,
- naponski,
- pneumatski.

Iako postoji mnogo izvedbi mjernih pretvornika, svi oni u osnovi sadrže osnovne elektroničke komponente kao što su kapacitivni mjerni otpornici, piezoelektrični pretvornici, termoparovi, induktivni mjerni otpornici, fotoelementi, potenciometri i sl.

2.5. TEHNOLOŠKI PROCES

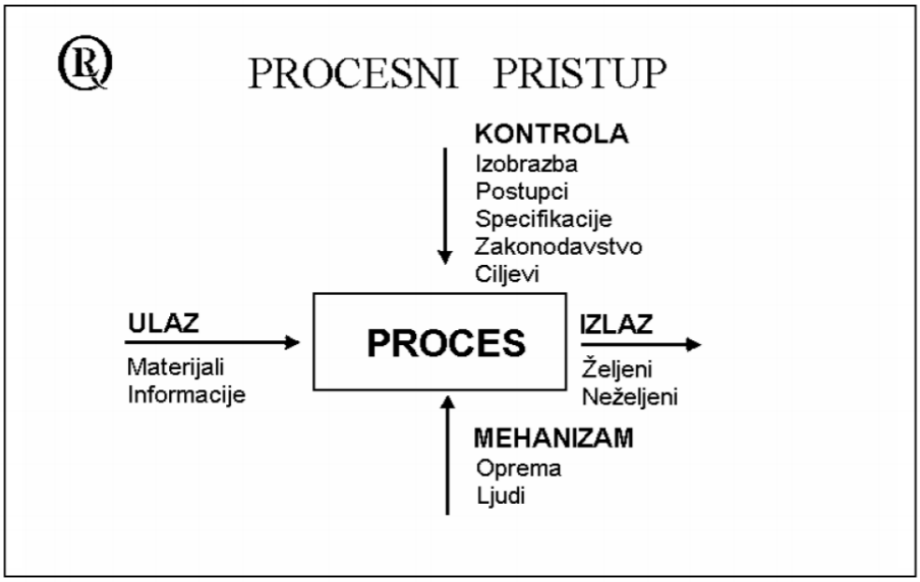
Pod procesom podrazumijevaju se događanja koja izazivaju promjenu stanja materijalnih tvari, energija ili informacija. Stroga definicija bila bi da je to redoslijed i način obavljanja pojedinih dijelova složenoga ili radnoga procesa za dobivanje proizvoda ili rezultata određenih svojstava. Tehnološki proces, prikazan na slici 6., je događanje kroz koje se mijenja stanje materije, energije ili informacije. Ova promjena stanja može se shvatiti kao prijelaz iz jednog početnog stanja u drugo konačno stanje. Proces je jedan od osnovnih elemenata sustava bilo koje razine, a predstavlja rad uz pomoć kojeg se ulazi u neki sustav, korištenjem određenih sredstava pretvaraju u izlaze iz tog sustava [13].



Slika 6. Tehnološki process [25]

Učinkovitost i djelotvornost procesa mogu se vrednovati unutrašnjim i vanjskim ocjenama procesa i mogu se određivati na ljestvici zrelosti. Kao teorijsko polazište za definiranje procesa mogu se uzeti definicije iz pojedinih normi [18]:

- proces je skup međuzavisnih sredstava i radnji koji preoblikuju ulazne elemente u izlazne;
- svaki proces ima ulazne elemente i uključuje osobe ili druge resurse;
- izlazi su rezultati procesa;
- postoje mogućnosti mjerenja ulaza, izlaza i veličina tijekom procesa;
- organizacija treba utvrditi i ustrojiti svoju mrežu procesa i međuodnosa procesa i upravljati njome putem procesnog pristupa prikazanog na slici 7.



Slika 7. Prikazi procesa prema normi [23]

2.6. AUTOMATIZACIJA TEHNOLOŠKOG PROCESA

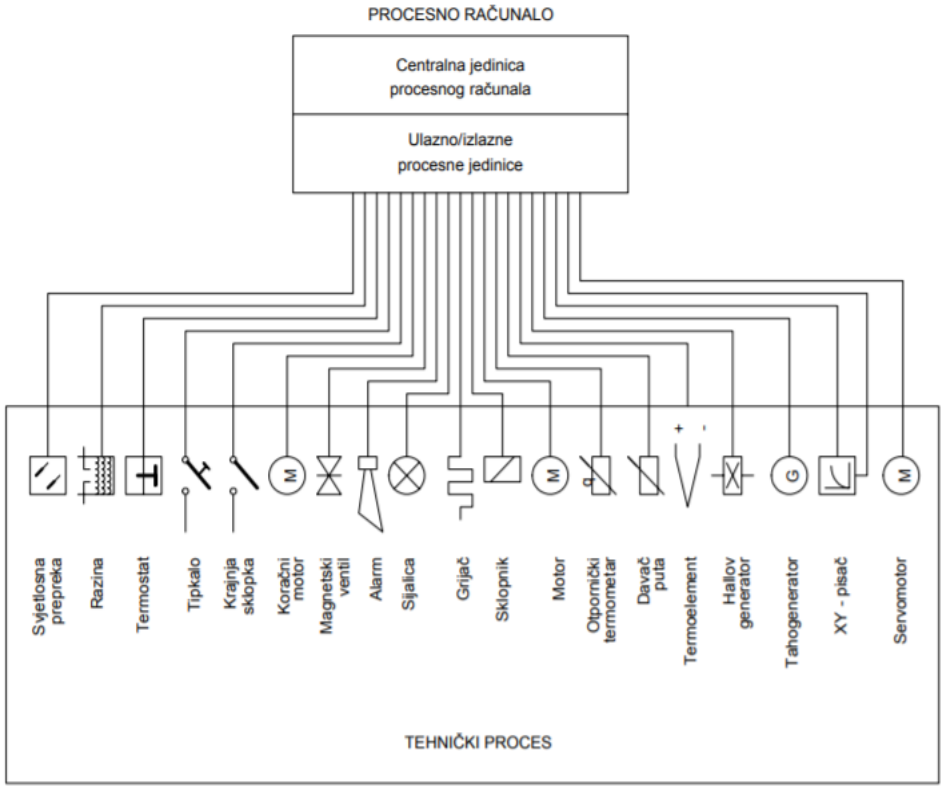
Automatizacija je upravljanje strojevima, procesom ili sustavom s pomoću mehaničkih i elektroničkih uređaja koji zamjenjuju ljudski rad; nadziranje i donošenje odluka u poslovima koji su za čovjeka previše složeni, opasni ili zamarajući. Pojam automatizacije usko je povezan s pojmom mehanizacije, jer i jedan i drugi označuju zamjenu ljudskog rada strojevima i uređajima. Automatizacija nema samo usko tehnničko značenje, ona sadrži i društvene i gospodarske aspekte. Za razliku od tih širih pojmova, izraz automatika, osim znanstveno-tehnološke discipline, podrazumijeva i tehnničku izvedbu automatskog uređaja, npr. automatika parne turbine [22].

Automatizacija označava tijek prijenosa rada čovjeka na strojeve, obično kroz tehnički napredak. U industrijalizaciji nastavak je mehanizacije. Dok mehanizacija rada omogućava ljudima u pogonu lakše uvijete rada, automatizacija smanjuje potrebu za ljudsku prisutnost u obavljanju određenih djelatnosti.

2.6.1. Procesno računalo

Procesno računalo je slobodno programirano digitalno računalo koje je povezano s tehničkim procesom tako da na osnovi mjerenja fizikalnih veličina procesa upravlja tim procesom. Najbitnije svojstvo procesnog računala je da u određenom vremenskom intervalu

prikupi i obradi mjerne signale te tvori upravljačke signale koji djeluju na proces. Procesno računalo prihvaća informacije o tijeku procesnih veličina (temperature, tlakovi, brzine) preko ulaznih jedinica i djeluje na odvijanje tehničkog procesa (npr. otvaranjem i zatvaranjem ventila) preko izlaznih jedinica. Pri tome je potrebna prilagodba i pretvorba kako ulaznih tako i izlaznih signala (Slika 8.) [23].



Slika 8. Ulazno/izlazni procesni signal [10]

2.6.2. Upravljanje i regulacija

Upravljanje je proces pri kojem jedna ili više ulaznih veličina u ograničenom sustavu utječu na izlaznu veličinu prema zakonitostima koje su svojstvene tom sustavu. Upravljački sustav je osjetljiv na poremećaje, pa je teško održavati točne odnose između izlaznih i ulaznih veličina. S druge starne, regulacija je proces pri kojemu se neprekidno prati određena veličina i uspoređuje sa željenom veličinom, te ovisno o rezultatu usporedbe djeluje na reguliranu veličinu tako da se približi željenoj veličini. Regulacija je u pravilu složenija i skuplja od upravljanja, ali se pomoću nje može postići visoka točnost izlaznih veličina, kao i neovisnost nekog procesa o poremećajima [18]. Njihov odnos je prikazan na tablici 2.

Tablica 2. Razlika upravljanja i regulacije [22]

UPRAVLJANJE	REGULACIJA
otvoreni krug	zatvoreni krug-povratna veza
planiranje	reagiranje po događaju
nije robusno na pogreške modela	robusno na pogreške u nekom području
nema rizika nestabilnosti	rizik nestabilnosti

Elektronička računala glavna su poluga u automatizaciji fizičkih i misaonih procesa. Automatizacija fizičkih procesa poglavito se tiče proizvodnje energije i materijalnih dobara. Imamo vrlo velik spektar primjene sustava za automatizaciju procesa, a neke su sljedeće; proizvodnja i distribucija energije, komunikacije, transport, industrijski procesi, brodski sustavi i ostalo.

Ako je ciljna zamisao da se događanja u tehničkom procesu čim više automatiziraju pomoću odgovarajućih uređaja za obradu informacija, tako da čovjeku ostaje čim manje operativnih aktivnosti (npr. zadavanje željenih vrijednosti temperatura prostorije u slučaju sustava za zagrijavanje), onda se sustav naziva sustavom za automatizaciju procesa. Do danas su se primjenjivali zasebni uređaji za mjerenje, upravljanje i regulaciju što je doprinijelo nastajanju samostalnih stručnih disciplina: mjerne tehnike, upravljačke tehnike i regulacijske tehnike. Često se u praksi susreće i naziv MUR (Mjerni, Upravljački i Regulacijski uređaji). Primjenom procesnih računala i mikroelektroničkih komponenata visokog stupnja integracije navedene tri tehničke discipline postaju integralni dio novog stručnog područja [21].

3. MJERENJE RAZINE

Razina određene tvari u datom spremniku najjednostavnije se definira kao visina stupca tekućine ili kapljevine ili sipkog materijala u nekom spremniku, posudi, reaktoru ili nekoj sličnoj zapremnoj jedinici. Međunarodno prihvaćena oznaka za razinu je *h* i izražava se u metrima (m). Važnost mjerenja razine tekućine leži u njezinoj povezanosti s ostalim fizikalnim veličinama kao što su volumen i masa, odnosno, u brodskoj industriji, teret koji uvjetuje profitabilnost prijevoza. Naizgled se radi o jednostavnom postupku mjerenja ili

očitavanja razine, ali ipak postoje različiti čimbenici koji čine cijeli proces složenijim, a to su primjerice različiti oblici posuda u kojima se tekućine nalaze, različita fizikalna i kemijska svojstva tekućina te uvjeti u kojima se tekućine nalaze ili skladište, primjerice tlak i temperatura [10].

Različite karakteristike tvari te različite posude i uvjeti u kojima se te tvari nalaze u ovim posudama čine katkada zadatak mjerenja razine vrlo složenim. Mjerenje razine sastavni je dio procesne kontrole i može se koristiti u mnogim industrijskim granama.

3.1. VRSTE METODA ZA MJERENJE RAZINE

Prema kriteriju učestalosti mjerenja razlikujemo dvije osnovne kategorije:

- kontinuirano koje omogućuje neprekidno praćenje parametra koji se mjere i
- diskretno koje predstavlja povremeno praćenje hidrotehničke veličine koju promatramo [2].

Prva kategorija metoda naziva se još i točkastim metodama mjerenje razine, signalizacijom ili digitalnim mjerenjem i općenito se ova vrsta metoda ili mjernih senzora koristi kako bi se signaliziralo postojanje podešenog visokog ili minimalnog stanja razine. Druga se kategorija metoda naziva još i analognim metodama mjerenja razine tekućine budući da pružaju analogni izlaz ili signal iz senzora i njihov je osnovni princip rada mjerenje tekućine u rasponu mjerenja, a ne samo na određenoj točki kao kod prve skupine.

Najvažnija je prednost, ujedno i osnovno razlikovno obilježje izravnog mjerenja mogućnost stalnog praćenja trenutne vrijednosti nivoa tekućine koja se ostvaruje vizualnim promatranjem razine i korištenjem drugih fizikalnih svojstava tekućine [3]. Nekoliko je načina izvođenja izravnih metoda [2]:

- mjernim štapovima uronjenim u tekućinu
- plovkom (ronilom) raznih oblika
- staklenom cjevčicom.

3.2. DISKRETNE METODE MJERENJA RAZINE

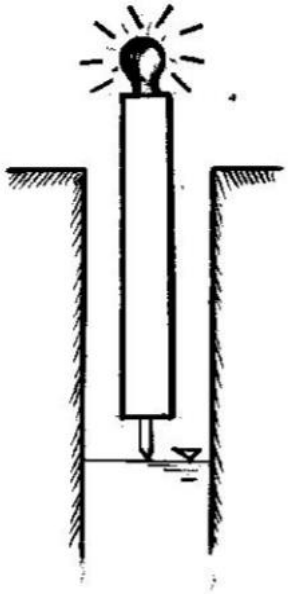
3.2.1. Mjerenje razine pomoću uronjenih štapova

Najjednostavnija je metoda mjerenja razine tekućine, upravo ona metoda koja se pojavljivala u svakodnevnom životnom okružju čovjeka još od starih vremena, a to je mjerenje razine štapovima uronjenim u tekućinu, prvotno vodu ili rijeku. Podrazumijeva se da su spomenuti štapovi imali neku vrstu mjerne ljestvice na sebi, bilo brojčane bilo nekakve druge vrste, i oni se nazivaju vodomjernim letvama. Točnost očitavanja vodomjernih letvi kreće se od 1 do 4 cm, a ovisi o više faktora koji nisu uvijek objektivni i precizni [1]:

- savjesti motrilaca
- stanju (vidljivosti) brojčane skale
- mirnoći vodne površine prilikom očitavanja.

Preciznost očitavanja razine tekućine ovisi u prvom redu o oscilaciji vodostaja (amplitudi) i o učestalosti očitavanja razine unutar određenog ili dogovorenog vremenskog razdoblja te izračunavanja srednje vrijednosti razine [3].

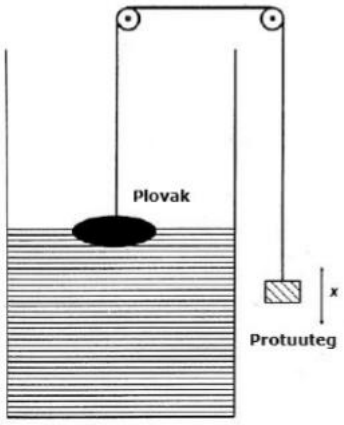
Druga je varijanta štapa koji funkcionira na principu vodomjerne letve mjerna igla. Za razliku od mjernih letava koje se upotrebljavaju u svakodnevnom životu, mjerna igla (Slika 9.) se prvenstveno upotrebljava za određivanje razine u piezometrima te u laboratorijima. Njezina je preciznost daleko veća od preciznosti, usudili bismo se reći, laičkih mjernih letava te iznosi 0,3 do 0,5 mm. Osnovna je primjena mjerne igle određivanje razine tekućine ili vodostaja u situacijama kada su oblik, volumen i ostale karakteristike spremnika dobro poznate (ne kao kod riječnog korita u prethodnom slučaju), primjerice na mjernim instrumentima kao što je Thomsonov preljev.



Slika 9. Mjerna igla [2]

3.2.2. Mjerenje razine pomoću plovka

Plovak je osjetilo koje radi na principu Arhimedova zakona, prikazano na slici 10. Plovak je izrađen od materijala manje gustoće nego što je gustoća kapljevine, pa on pliva na površini kapljevine slijedeći neposredno njene promjene razine. Pomaci plovka prenose se na pretvornik pomaka i pretvaraju u električni signal. Za veće promjere plovak se privezuje za protuuteg dok je kod promjera od nekih 10 do 200 mm plovak smješten uz zid ili u posebnoj komori sa vanjske strane spremnika te je bično loptastog oblika [2].

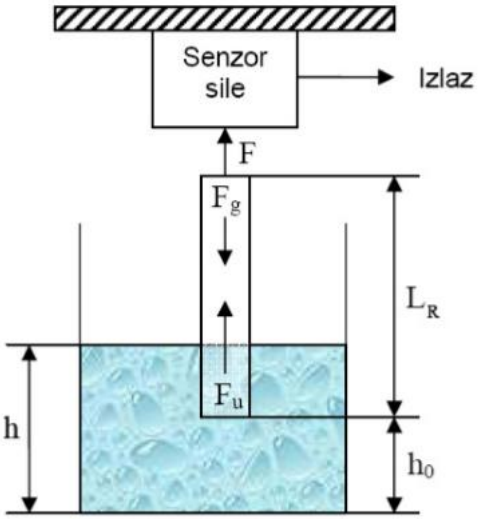


Slika 10. Prikaz mjerila s plovkom [20]

Sa porastom razine kapljevine u spremniku na plovak djeluje dodatna sila uzgona, pa se protuuteg kreće prema dolje sve dok se ponovo ne uspostavi ravnotežno stanje, definirano uronjenošću plovka. Ova dubina određuje ujedno i minimalnu vrijednost mjerenog nivoa.

3.2.3. Mjerenje razine pomoću ronila

Ronilo je osjetilo koje djeluje na načelu Arhimedova zakona kao i plovak, prikazano na slici 11. Ronilo je izrađeno iz materijala veće gustoće od gustoće kapljevine, pa je pri mjerenju uronjeno u kapljevinu i lebdi. Obično je to štap cilindričnog presjeka pričvršćen na gornjem kraju na senzor sile. Kod ronila promjene razine djeluju na ravnotežu sila sustava ronilo-pero te su pri tome nastali pomaci ronila mjera su razine. Prema Arhimedovu zakonu na tijelo uronjeno u kapljevinu djeluje sila uzgona jednaka težini istisnute kapljevine i to je glavni princip rada ovog sustava. Mjerna greška ronila je ±1,5%, moguće ih je primijeniti za radne medije na temperaturama od -40 do 400 °C i na tlaku do 16 MPa, ali nisu prikladna za mjerenje razine ljepljivih tekućina [25].



Slika 11. Mjerač razine pomoću ronila [20]

Kod porasta razine tekućine sa razine h_0 na h, na ronilo djeluje sila uzgona prema jednadžbi:

$$F_u = \rho g A(h - h_0) \tag{3.1}$$

gdje je:

F_u – sila uzgona,

ρ – gustoća tekućine,

g – ubrzanje sile teže,

A – površina poprečnog presjeka ronila,

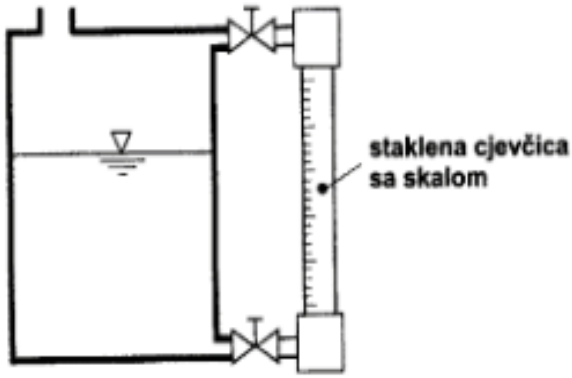
$h - h_0$ – duljina ronila koje je uronjeno u tekućinu.

Sila koju ronilo prenosi na pretvornik jednaka je razlici težine ronila G_R i sili uzgona F_u te se računa kao:

$$F = G_R - F_u \tag{3.2}$$

3.2.4. Mjerenje razine staklenom cjevčicom

Metoda mjerenja razine staklenom cjevčicom, slika 12, spada u najjednostavnije metode ove vrste. Temelji se na osnovnom zakonu hidrostatike, zakonu spojenih posuda. Staklena cjevčica predstavlja komoru koja je smještena izvan spremnika i kalibrirana je na razinu s obzirom na visinu stupca tekućine. Ne mora biti cijela izrađena od stakla, već je dovoljno da ima stakleni prozor u obliku trake po svojoj dužini, koji je također kalibriran. Mjerenje se vrši direktnim očitanjem sa mjerne skale koja je otisnuta na cjevčici.



Slika 12. Mjerni uređaj sa staklenom cjevčicom [18]

Zbog utjecaja svojstva kapilarnosti tekućine pogreške se kod ove metode mjerenja mogu pojaviti prilikom krivog očitanja sa skale na cjevčici. Stoga je ova metoda primjenjiva u posudama koje nisu u vakuumu ili pod tlakom.

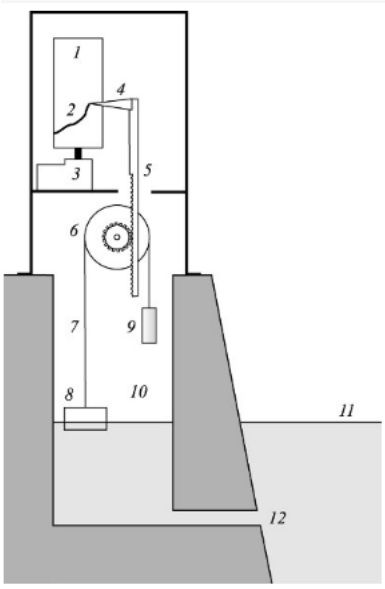
Spojene posude su međusobno povezane posude tako da se tekućina u njima može slobodno gibati iz jedne u drugu. Visina stupca tekućine u svim je spojenim posudama jednaka. Ako uzmemo cijev u obliku slova U i nalijemo u nju vodu, vidjet ćemo da će voda u jednom i drugom kraku biti jednako visoko. Ova pojava prikazana je na slici 13. To proizlazi iz činjenice što hidrostatski tlak na svakom mjestu cijevi koja spaja posude ovisi samo o visini stupca tekućine do površine nad tim mjestom [17].



Slika 13. Spojene posude

3.2.5. Limnigraf

Limnigraf, slika 14, je mjerni instrument koji neprekidno bilježi razinu vode. Najčešće se koristi mehanički limnigraf, koji se sastoji od plovka u zdencu koji je spojen s vodenim tokom ili umjetnim jezerom, a položaj i pomicanje plovka prenosi se na zapisni uređaj. Točnost limnigrafa ovisi o stabilnosti plovka te o veličini trenja u osovinama kolotura spojnog sistema plovak – pero (registrator) [18].



Slika 14. Limnigraf [1]

Dijelovi limnigrafa sa slike: 1. bubanj, 2. zapis, 3. satni mehanizam, 4. pisaljka, 5. nazubljena šipka, 6. kolo sa zupčanikom, 7. žica, 8. plovak, 9. uteg, 10. vertikalni kanal, 11. razina vode, 12. spojna cijev maloga presjeka.

3.3. IZRAVNE (KONTINUIRANE) METODE MJERENJA RAZINE

Ovdje imamo više načina mjerenja od kojih izdvajamo:

- Hidrostatsko mjerenje razine;

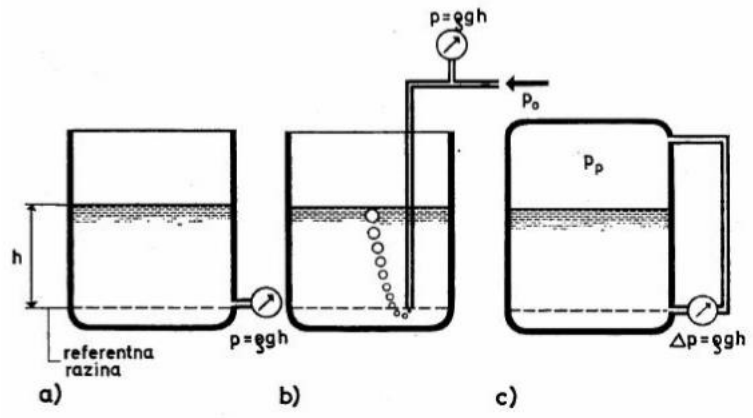
- Konduktivno mjerenje razine;
- Kapacitivno mjerenje razine;
- Ultrazvučno mjerenje razine;
- Mikrovalno mjerenje razine;
- Optičko mjerenje razine;
- Radiometrijsko mjerenje razine

3.3.1. Hidrostatsko mjerenje razine

Princip rada hidrostatskih senzora zasniva se na primjeni Paskal-ovog zakona, pomoću kojeg se izračunava vrijednost hidrostatskog tlaka p na danoj referentnoj razini u mirnom i homogenom fluidu gustoće ρ, na dubini h (mjerena razina):

$$p = \rho\, g\, h \tag{3.3}$$

Mjerenja, slika 15, se odvijaju ugradnjom dvaju manometara na dnu i na vrhu spremnika. Za mjerenje razine koristimo senzor diferencijalnog tlaka. Manometar pri dnu pokazuje tlak p_2 koji je jednak zbroju hidrostatskog tlaka i tlaka iznad kapljevine, u ovom slučaju atmosferskog tlaka p_0.



Slika 15. Mjerenje hidrostatskog tlaka: a) na referentnoj razini, b) propuhivanjem zraka, c) u zatvorenoj posudi [20]

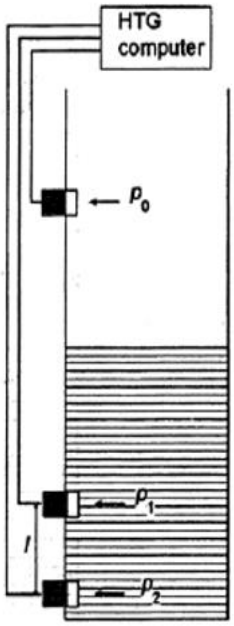
Iz navedenoga dobija se izraz:

$$\Delta p = p_0 + p = p_0 + \rho g h \tag{3.4}$$

Odakle se dobije da je visina stupca tekućine u spremniku:

$$h = \Delta p\, \rho\, g \tag{3.5}$$

Senzor hidrostatske razine, slika 16, precizno mjeri razinu tekućine izračunom udaljenosti od mjerne točke do površine razine putem izmjerenog tlaka. Jednostavnost korištenja senzora hidrostatske razine čini ga instrumentom izbora gdje god se razina treba izmjeriti, bez obzira na to je li to u ventilirani spremnik, plovilo, jezero, rijeku ili rezervoar. Njegova jednostavna uporaba i pouzdana i točna mjerna tehnologija čine ga jednim od najčešće korištenih senzora razine do sada. Najčešće se koristi u industriji vode i otpadnih voda. Promjenjiva gustoća kapljevine čest je uzrok pogrešci mjerenja, pa tada treba primijeniti drugačije osjetilo. Na varijacije gustoće mogu utjecati promjena sastava kapljevine ili temperature, stoga je za precizno mjerenje razine potrebno točno poznavati gustoću sredstva. Kod rezervoara na slici 16 mjeri se diferencijalni tlak unutar tekućine radi kompenzacije varijacije gustoće tekućine [20].



Slika 16. Hidrostatski senzor razine s kompenzacijom gustoće [20]

Postoje slijedeće izvedbe hidrostatskih mjerila razine:

- Mjerenje razine kod zatvorenih spremnika, slika17;



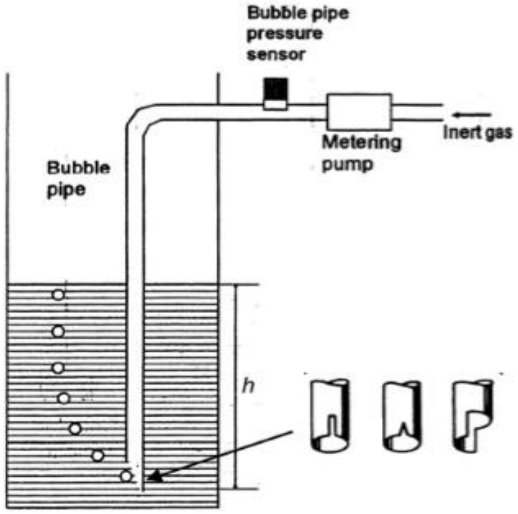
Slika 17. Mjerenje razine zatvorenog spremnika [1]

- Mjerenje razine kod otvorenih spremnika, slika 18;



Slika 18. Mjerenje razine otvorenog spremnik [1]

- Mjerenje razine pomoću mjehurića zraka, slika 19.

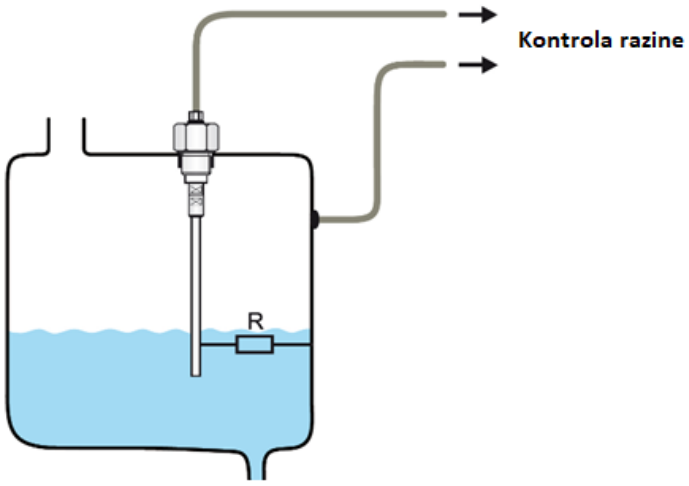


Slika 19. Mjerenje razine pomoću mjehurića zraka [1]

Razina se izračunava iz hidrostatske formule. Ovaj način mjerenja razine se koristi kod otvorenih spremnika koji sadrže korozivne, ljepljive ili viskozne tekućine. U početku kad je tlak u kapilari manji od hidrostatskog tlaka povećanje otvora ventila ima za posljedicu povećanje tlaka, sve dok se tlak u kapilari ne izjednači s hidrostatskim tlakom. Pri tom tlaku iz kapilare izlazi zrak u obliku mjehurića i daljnjim otvaranjem ventila se tlak više ne mijenja.

3.3.2. Konduktivno mjerenje razine

Princip mjerenja, prikazan na slici 20, svodi se na vodljivost između dvije elektrode se promijeni kada zbog porasta razine elektrode uđu u tekućinu. Kao jedna elektroda može poslužiti i metalna stijenka spremnika. Promjenu otpora registrira elektronički sklop. Mjerna tvar stvara vezu između dviju ili više štapnih elektroda ovisnu o dubini njihova urona u mjernu tvar [3].



Slika 20. Mjerenje razine pomoću konduktivnog mjerenja [3]

Idealni su za detekciju širokog raspona vodljivih tekućina, kao što je voda, a posebno su pogodni za vrlo korozivne tekućine kao što su soda, klorovodična kiselina, dušična kiselina, željezo i slične tekućine. Za vodljive tekućine koje su korozivne, elektrode senzora moraju biti izrađene od titana, ili 316 nehrđajućeg čelika i izolirane s distantima, separatorima ili držačima od keramičkih, polietilenskih i teflonskih materijala. Budući da korozivne tekućine postaju agresivnije kako se temperatura i tlak povećavaju, te ekstremne uvjete treba uzeti u obzir pri određivanju tih senzora. Ovi senzori su izuzetno sigurni jer koriste niske napone i struje. Sonde imaju dodatnu prednost što su poluvodički uređaji i vrlo jednostavne su za ugradnju i uporabu.

3.3.3. Kapacitivno mjerenje razine

Ova metoda se usavršavala zadnjih 80 godina kako su dolazile nove tehnologije i materijali. Dugi vijek korištenja kapacitivnog sustava mjerenja izravno je povezan s njegovom kompatibilnošću i dugovječnošću.

Električni kapacitet (oznaka *C*) je fizikalna veličina koja opisuje koliko električnoga naboja fizikalno tijelo može primiti uz određeno povećanje električnoga napona. Električni kapacitet je količnik električnoga naboja *Q* i električnoga napona *U* [3]:

$$C = \frac{Q}{U} \tag{3.6}$$

Kapacitivno mjerenje razine zasniva se na razlici dielektrične konstante zraka (plina) iznad kapljevine i dielektrične konstante kapljevine. U spremniku se nalazi metalna elektroda kapacitivne sonde koja je zaštićena slojem izolacijskog materijala, potopljena u kapljevinu do visine *h*, a ostatak prostora (*H-h*) iznad ispunjen je zrakom. Do promjene vrijednosti kapaciteta dolazi zbog promjene dielektrika između elektrode i stjenke spremnika koja može poslužiti kao vanjska elektroda. Mjerni pretvornik kapaciteta pretvara tu promjenu u izlazni signal koji je proporcionalan razini. Za nevodljive tekućine, kao što je nafta i njeni derivati, otpor *R* između elektroda je beskonačan, pa je ekvivalentni kapacitet dan izrazom [14]:

$$C = C1 + C2 + C3 \tag{3.7}$$

Izraz za kapacitet cilindričnog kondenzatora računa se prema formuli (3.8)

$$C = \frac{H2\pi\varepsilon}{ln\varepsilon_0}(Dd) \tag{3.8}$$

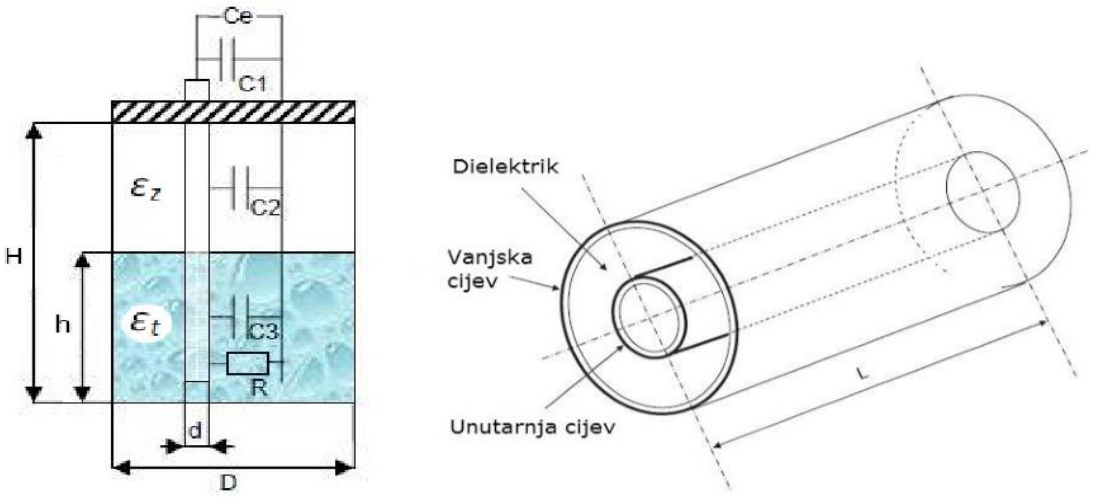
gdje je:

D – širina spremnika,

d – promjer elektrode,

H – dubina uronjene electrode.

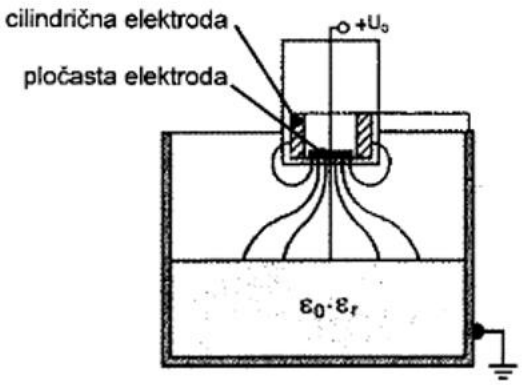
ε_0 – relativna dielektričnost vakuuma



Slika 21. Kapacitivni senzori razine [3]

Budući da su senzori razine kapacitivnosti, slika 21, elektronički uređaji, fazna modulacija i korištenje viših frekvencija čine senzor prikladnim za primjene u kojima su dielektrične konstante slične. Senzor ne sadrži pokretne dijelove, čvrst je, jednostavno se koristi i lako se čisti, a može se dizajnirati za aplikacije visoke temperature i tlaka. Postoji opasnost od nakupljanja i pražnjenja statičkog naboja visokog napona koji proizlazi iz trljanja i pomicanja materijala s malim dielektrikom, ali se ta opasnost može ukloniti odgovarajućim dizajnom i uzemljenjem. Dobre osobine kapacitivnih senzora su jednostavnost konstrukcije, nemaju pokretnih dijelova, otporni su na koroziju, a loše osobine su zavisnost točnosti od promjena koje utiču na dielektričnu konstantu materijala i pojava vodljive obloge na sondi. Odgovarajući izbor materijala sondi smanjuje ili uklanja probleme uzrokovane abrazijom i korozijom. Mjerenje razine ljepila i materijala visoke viskoznosti, kao što su ulje i mast, može rezultirati nakupljanjem materijala na sondi; međutim, to se može smanjiti pomoću senzora za samopodešavanje. Za tekućine sklone pjenjenju i koje su sklone prskanju ili turbulenciji, senzori razine kapacitivnosti mogu se, među ostalim uređajima, projektirati s zaštitom od prskanja ili s udubljenjima [20].

Postoje brojne izvedbe ove vrste mjerenja kao mjerenje s uronjenom elektrodom, Mjerenje s dvjema uronjenim elektrodama, mjerni uređaj iznad mjerne tvari, metoda mjerenja kapaciteta sa tekućinom za uspoređivanje i razdvojnom membranom.

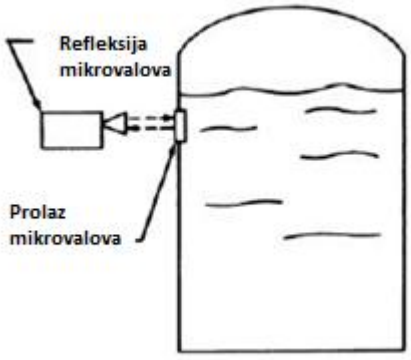


Slika 22. Mjerni uređaj iznad mjerne tvari [20]

Slika 22. prikazuje kondenzator s jednom pločastom elektrodom smještenom unutar druge cilindrične electrode gdje je kapacitet je ovisan o razini u spremniku te o relativnoj dielektričnosti tekućine. Napajanje se dovodi iz visokofrekventnog naponskog izvora je ovakva izvedba pogodna za mjerenje agresivnih tekućina jer su elektrode izvan mjerne tvari. Nedostatak je osjetljivost na vlagu iz okoline [1].

3.3.4. Radarski senzori razine

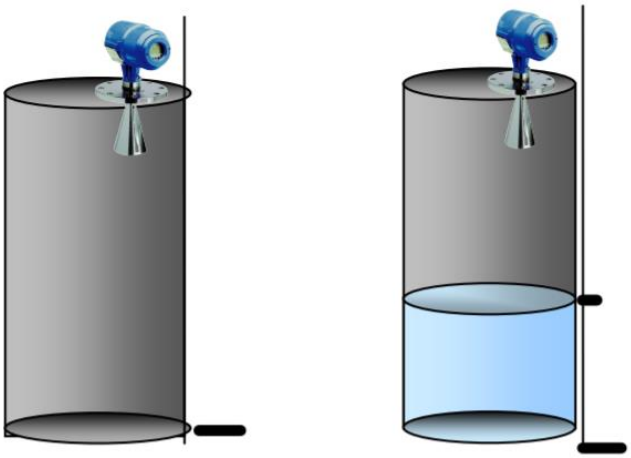
Radarski senzori razine djeluju na temelju razlike u amplitudi ili fazi reflektiranog signala (slika 23). Jednostavniji su za postavljanje te je dovoljan pristup do jedne strane spremnika. Oni koriste elektromagnetsko (mikrovalno) zračenje visoke frekvencije 10 GHz i 24 GHz male snage od 0,1 do 5 mW/cm^2. Osjetilo prima nazad dio energije koja se reflektira od površine medija kojemu se mjeri razina. Određuje se vrijeme potrebno da signal dođe do pretvornika.



Slika 23. Radarski senzor razine [2]

Postoje i radarski senzori razine koji rade na temelju apsorpcije mikrovalnog zračenja te su zahtjevniji za postavljanje te je potreban pristup suprotnim stranama spremnika [5].

Posebna vrsta su mikrovalni radari (slika 24). Mjerni sustav standardnih radara sastoji se od odašiljača, antene, staze kroz koju putuje val do reflektora te prijemnika. Mikrovalovi su elektromagnetska energija i stoga ne zahtijevaju molekule zraka da prenose energiju što ih čini korisnim u vakuumima. Mikrovalovi se reflektiraju od objekata s visokim vodljivim svojstvima, poput metala i vodljive vode.



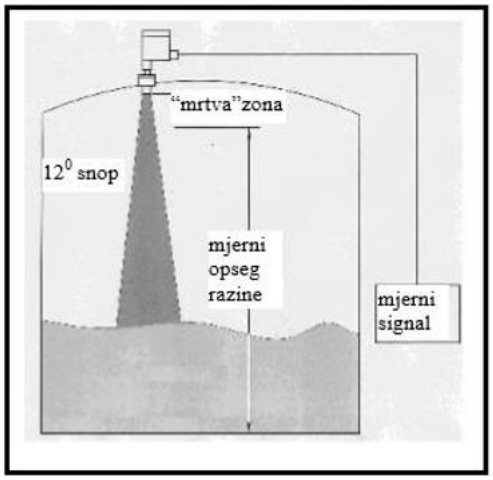
Slika 24. Mjerenje mikrovalnim radarom [19]

Mikrovalni senzori se izvode u različitim tehnikama. Primijenjene su dvije osnovne tehnike obrade signala, od kojih svaka nudi svoje prednosti [5].

- Radar s frekventno moduliranim kontinuiranim signalom (engl. *Frequency modulated continuous wave radar* – FMCW) – svoj rad temelji na proračunavanju vremena proleta odašiljač – reflektor – prijemnik. Vrijeme proleta proračunava se mjerenjem razlike frekvencija internog moduliranog oscilatora i reflektiranog signala. Odašiljač odašilje frekventno modulirani signal od 9 GHz do 10 GHz [2].
- Vođeni radar (engl. *Guided radar*) – odašilje sinkronizirane impulse u trajanju oko 1 ns i taktu oko 300 ns. Signal vala reflektiranog s površine semplira se kao u visokofrekventnim osciloskopima i na taj način je moguće ostvariti točnost mjerenja od +/- 5 mm. Vođeni radar ima šipku ili sajlu ili dvije sajle ili koaksijalni kabel i njegovo mikrovalno polje neće biti šireno u prostoru nego će biti u blizini produžetka. Takvim principom rada, vođeni radar moći će pouzdano raditi i u uskim i malim rezervoarima [2].

3.3.5. Ultrazvučno mjerenje razine

Ultrazvučni senzori razine, slika 25, koriste se za beskontaktno mjerenje razine viskoznih tekućina, kao i za rastresite krute tvari. Senzori emitiraju zvučne valove visoke frekvencije (20 kHz do 200 kHz) koji se reflektiraju natrag i detektiraju odašiljačem.
Ultrazvučni senzori razine također su pod utjecajem promjene brzine zvuka zbog vlage, temperature i tlaka. Korekcijski faktori mogu se primijeniti na mjerenje razine kako bi se poboljšala točnost mjerenja. Turbulencija, pjena, para, kemijske maglice (pare) i promjene u koncentraciji procesnog materijala također utječu na odziv ultrazvučnog senzora [17].



Slika 25. Prostiranja ultrazvučnog vala [20]

Potrebna je odgovarajuća montaža sonde kako bi se osigurao najbolji odziv na reflektirani zvuk. Osim toga, spremnici trebaju biti relativno slobodni od prepreka kao što su zavarivani elementi, nosači ili ljestve kako bi se smanjili pogrešni povratni rezultati i rezultirajući pogrešan odgovor. Ultrazvučni senzori mogu biti dizajnirani tako da omoguće kontrolu razine, kontinuirano praćenje ili oboje. Zbog prisutnosti mikroprocesora i relativno niske potrošnje energije, postoji i mogućnost za serijsku komunikaciju s drugim računalnim uređajima što ovo čini dobrom tehnikom za podešavanje kalibracije i filtriranja signala senzora, daljinskog bežičnog nadzora ili mrežne komunikacije postrojenja. Ultrazvučni senzor uživa veliku popularnost zahvaljujući snažnoj kombinaciji niske cijene i visoke funkcionalnosti.

3.3.6. Optičko mjerenje razine

Ova metoda se zasniva na apsorpciji svjetlosnih zraka u tekućini ili njihovom reflektiranju od površine tekućine. Optičko mjerenje razine se može izvesti na dva načina:

- primjenom lasera, gdje su predajnik i prijamnik u jednom kućištu kao na slici 26, ili
- optičkih vlakana.



Slika 26. Lasersko mjerenje razine [1]

Ovakvi senzori su relativno malo zastupljeni jer problemi nastaju u upijanju i refleksiji svjetlosnih zraka te u smanjenoj mjernoj osjetljivosti pri zaprljanju izvora i optičkog senzora. Njihova prednost je jednostavna građa prikazana na slici 27. Optika se mora često čistiti kako bi se održala učinkovitost [24].



Slika 27. Optički mjerni pretvornik Honeywell LLN [2]

4. ODREĐIVANJE RAZINE U BRODSKIM SUSTAVIMA

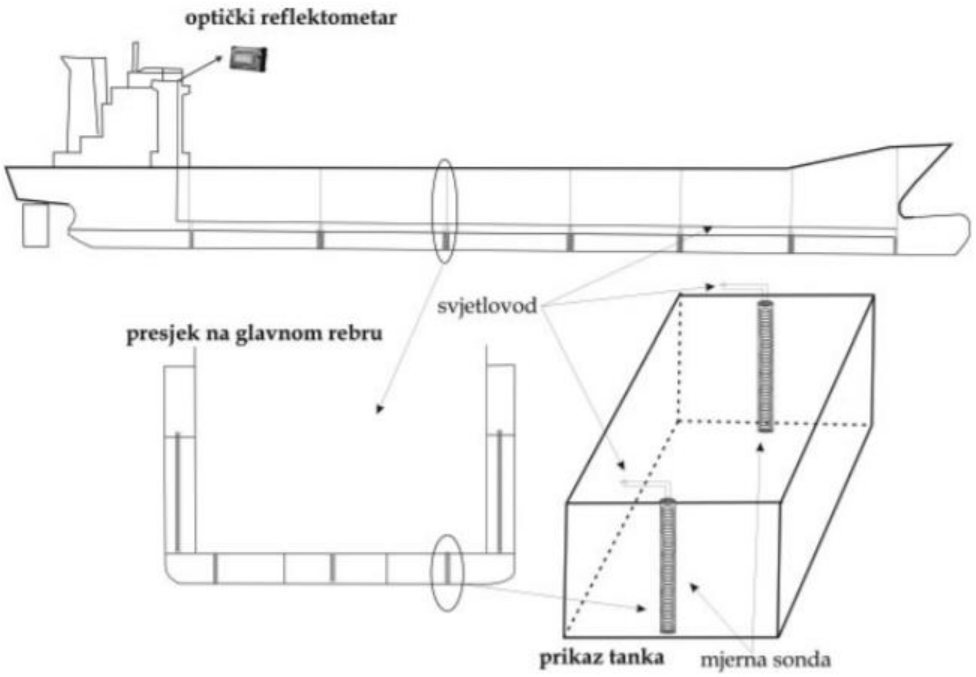
Početkom ovoga stoljeća značajno se povećava obujam prijevoza masovnih tereta, tekućih i suhih, brodovima velikog kapacitet. Brod se komercijalno iskorištava s različitom popunjenošću kapaciteta i s različitim količinama tekućina u prostorima tankova. Balast, slatka voda, te tekućine u prostorima tankova uobičajeno se određuju sondiranjem ili utvrđuje preljevom preko odušnika tanka u slučaju punog tanka. Masa tekućeg tereta u brodskim tankovima tankera se u pravilu određuje na osnovi mjerenja razine tekućine u tanku.

4.1. PRIMJENA SVJETLOVODNE TEHNOLOGIJE

Početkom ovoga stoljeća zbog svojih prednosti u prijenosu informacija i velikom prijenosnom kapacitetu pojačana je njena primjena u pomorstvu. Primjena je u obliku:

- komunikacijske svjetlovodne mreže za prijenos različitih vrsta podataka (mjerni podaci, komunikacije, nadzor i signalizacija), te
- optičkog senzora (mjerenje neelektričnih i električnih veličina).

Optički senzori su lagani, malih dimenzija, a osjetljivost, dinamički opseg i rezolucija im je veća od konvencionalnih senzora. Služe za mjerenje raznih veličina poput naprezanja, tlaka, temperature, pomaka, vibracija, električne struje, magnetskog i električnog polja i kemikalija. Sustav za mjerenje razine tekućine sastoji se od svjetlovodne niti pružene između optičkog izvora i detektora signala koji očitava vrijednost mjerene veličine. Razina tekućine određena na ovaj način bi se koristila kao ulazni podatak u računalnom određivanju mase tekućine u tankovima. Predloženom povoljnom pozicijom smještaja senzora izbjegnut je utjecaj pogreške u očitanju razine uslijed bočnog nagiba broda. Osnovna prednost primjene ove tehnologije je u eliminiranju mogućih pogrešaka koje se pojavljuju tijekom određivanja razine tekućine sondiranjem. Ova tehnologija umanjuje utjecaj objektivnih okolnosti koje mogu dovesti do pogreške tijekom očitanja, te u potpunosti eliminira izravne subjektivne pogreške, a time i posljedica koje mogu nastati [11]. Smještaj senzora za mjerenje razine na brodu prikazan je na slici 28.



Slika 28. Smještaj senzora za mjerenje razine [11]

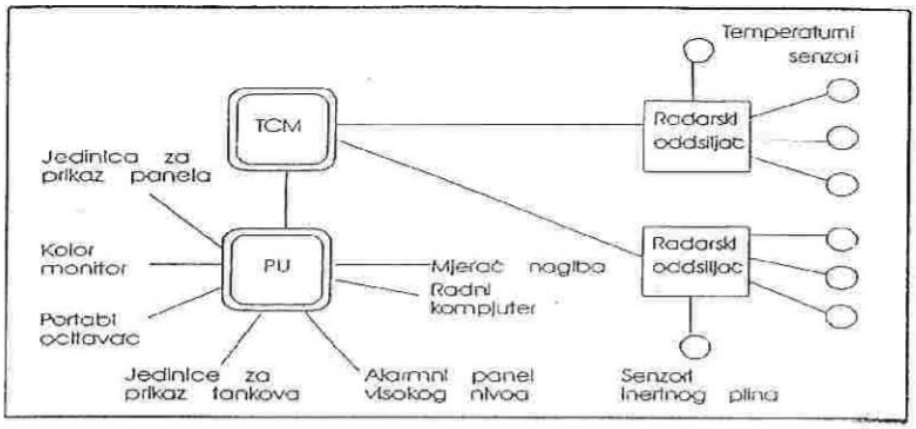
4.2. PRIMJENA RADARSKE TEHNOLOGIJE

Mjerenja razina tekućina i rasutog tereta na brodovima vrlo često se izvodi radarskim uređajima. Radarsko mjerenje razina može omogućiti pouzdana mjerenja, ali zbog neodgovarajuće primjene, također može doći do komplikacija koje mogu znatno otežati primjenu na pojedinim objektima. Za pravilnu primjenu radarskog mjerenja razina neophodno je detaljno analizirati fizikalne pojave na kojima se temelji mjerenje. Takve analize korisne su stoga što omogućuju razumijevanje ograničenja u pogledu točnosti i pouzdanosti samog mjernog principa i elektroničkog sklopa.

Radarski odašiljač mjeri udaljenost između radarske antene i površine tereta u tanku tj. prazan prostor u tanku. Sa specifičnim podacima o tanku koji su pohranjeni u procesorskoj jedinici, računalo može izračunati točan nivo i volumen u tanku. Također ako unosimo specifičnu gustoću za teret, računalo izračunava i masu tereta.

Direktno na svaki radarski odašiljač može biti priključeno i do tri temperaturna senzora i jedan senzor tlaka inertnog plina. Cijeli sustav, prikazan na slici 29, ukomponira se i ima brojne primjene i zadatke:

- mjerenje temperature u tanku,
- mjerenje tlaka inertnog plina sa senzorima tlaka,
- mjerenje gaza broda za korekciju trima i nagiba broda,
- mjerenje razine balasta i gaza broda.



Slika 29. Sustav radarskog sustava mjerenja sa procesorskom jedinicom

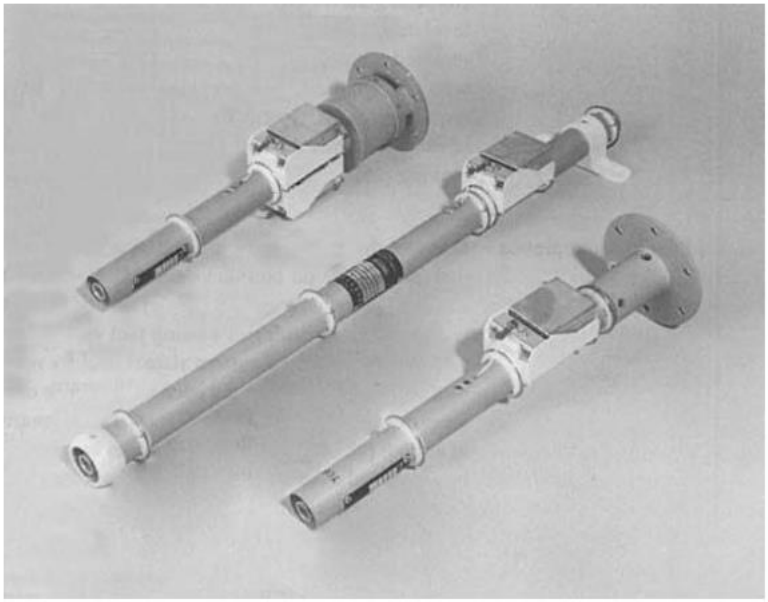
4.3. ODREĐIVANJE RAZINE TEKUĆINE U BRODSKIM TANKOVIMA

Podatak o razini vode u pojedinom tanku značajan je kako bi se u svim segmentima putovanja mogla utvrditi svojstva broda. Za utvrđivanje količine vodenog balasta potrebno je najprije odrediti razinu tekućine u tanku koja se mjeri korištenjem kalibrirane trake za sondiranje. Mjerenje razine tekućine u balastnom tanku izvodi se u cijevi za sondiranje koja se pruža od dna balastnog tanka do palube gdje se mjerenje izvodi. Tijekom ispuštanja trake za sondiranje u cijev za sondiranje ona se u području očekivane razine tekućine premazuje s pastom. Kada je očitavanje neophodno izvoditi tijekom posrtanja i valjanja broda preporučljivo je uzastopno izvoditi veći broj mjerenja te približnu razinu tekućine odrediti kao aritmetičku sredinu. Utvrđenom razinom tekućine se iz tablica balastnih tankova očitava volumen tekućine uzimajući pritom u obzir potrebnu korekciju za trim i bočni nagib broda [11].

Mjerenje balasta se po brodskim uzancama izvodi tijekom jutra, uobičajeno do osam sati lokalnog vremena, te obvezno tijekom prekrcaja balasta i u slučaju bilo kakvog izvanrednog događaja na brodu. Količina tekućine u tankovima izravno utječe na visinu sustavnog težišta broda. Iz čega proizlazi da pogreška u količini tekućine utječe na preciznost u određivanju visine sustavnog težišta broda [21].

4.4. MJERENJE RAZINE GORIVA

Sustavi za mjerenje goriva postajali su sve složeniji kako je rasla potreba za točnosti sustava. Većina sustava temelji se na kapacitivnom mjerenju razine goriva, a koriste mrežu sondi koje su postavljene na razna mjesta unutar spremnika. Više od 100 sondi potrebno je velikom sustavu za gorivo da točno izmjeri količinu goriva. Mjerna nesigurnost izmjerene količine goriva kod današnjih sustava kreće se oko 2%, ovisno o složenosti sustava, od kojih neki mogu kompenzirati promjene u temperaturi i gustoći goriva. Mjerenje količine goriva vrši se putem mreže unutarnjih senzora u spremniku koji mogu detektirati površinu goriva na brojnim mjestima unutar spremnika. Oni daju informaciju o volumenu iz kojeg se dalje preračunava u masu goriva. Uređaji za mjerenje se nazivaju kapacitivne sonde prikazane na slici 30. One se sastoje od para koncentričnih cijevi konstruiranih tako da se postavljaju gotovo okomito na odabranim mjestima unutar spremnika, a ponašaju se kao elektroničke mjerne šipke [21].



Slika 30. Kapacitivne sonde za mjerenje razine goriva u spremniku [20]

Mreže senzora u spremniku daju električne signale koji se pretvaraju, koristeći odgovarajući programski algoritam, u informaciju o količini goriva u spremnicima.

5. ZAKLJUČAK

U tehnološkim procesima je na prvom mjestu sigurnost iz koje proizlazi da sustavi u svim aspektima tehnike uvijek prate nove tehnologije. Oni moraju biti pouzdani, točni i obično su redundantni kako bi se podigla razina sigurnosti u slučaju otkazivanja jednog od njih. Tijekom posljednjih godina gotovo svi sustavi su se tehnološki unaprijedili i automatizirali stoga je posebno dobro kontrolirati cjelokupni sustav. Procesna su mjerenja jedan od najčešćih pothvata u tijeku proizvodnje unutar velikih postrojenja. Takva mjerenja se provode mjernim uređajima koji su sastavljeni od mjernih pretvornika, davača i mjernih osjetila. Poznavajući principe rada pojedinih uređaja za mjerenje razine moguće je odabrati odgovarajući način mjerenja za pojedinu primjenu. Pravilan odabir može u znatnoj mjeri smanjiti investicijske troškove, povećati pouzdanost proizvodnih procesa i smanjiti troškove montaže i održavanja. Uz to se mora naglasiti da se za svaku primjenu određenog senzora razine moraju razmotriti svi uvjeti koji se događaju unutar pojedinog procesa i potrebne karakteristike, kao i ograničenja pojedinih senzora.

Nakon što su predstavljeni osnovni oblici senzora te principi rada u mjerenju razine u zadnjem poglavlju prikazano je mjerenje razine na brodu i brodskim sustavima. Dolazi se do zaključka da određivanje razine tekućine u tankovima tereta, pored ostalog i zbog obilježja tekućih tereta, zahtijeva široko istraživanje kako bi se iznašlo odgovarajuće rješenje zbog same komplesnosti sustava kao i važnosti da cijeli sustav funkcionira bez pogrešaka.

6. LITERATURA

[1] Boni, R.: *Odabir instrumenata za mjerenje razine u procesnoj industriji*, Osijek, 2017., dostupno na: https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos:1303/preview (pristupljeno 28.5.2019.).

[2] Markić, N.: *Sustav za mjerenje i kontrolu razine*, Osijek, 2016., dostupno na: https://zir.nsk.hr/islandora/object/etfos:924/preview (pristupljeno 28.5.2019.).

[3] Mjerenje razine, predavanja FER, dostupno na: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/MUTP_9_Mjerenje_razine_2016.pdf (pristupljeno 28.5.2019.).

[4] Valter, Z.: *Procesna mjerenja*, Osijek, 1994.

[5] Torman, T.: Primjena uređaja za mjerenje razine u industrijskim pogonima, Osijek, 2015.

[6] Šišić, E.: *Senzori*, seminarski rad, dostupno na: www.am.unze.ba/mt/2013/Sisc%20Eldina%20senzori.docx, (pristupljeno 28.5.2019.).

[7] Rihtarić, D.: *Mjerila za mjerenje protoka i razina kapljevina*, diplomski rad, FSB, Zagreb, 2011., dostupno na: http://repozitorij.fsb.hr/1247/1/10_02_2011_Diplomski_rad_-_Darijo_Rihtaric.pdf, (pristupljeno 29.5.2019.).

[8] *Senzori i mjerni pretvarači*, Elektrotehnički fakultet Podgorica

[9] Bego, V.: *Mjerenja u elektrotehnici*, 9. izdanje, Graphis, Zagreb, 2003.

[10] Božičević, J.: Temelji automatike 2, Mjerni pretvornici i mjerenje, Školska knjiga, Zagreb, 2000.

[11] Ivče, R.; Mohović, R.; Jurdana, I.: Metode i analiza mjernih postupaka za određivanje razine tekućine u brodskim tankovima i stonovima, Pomorstvo, god. 23, br. 2 (2009), str. 635-648.

[12] Žibrat D.: *Analiza principa rada fmcw i vođenih mikrovalnih radara za mjerenje razine*,http://www.hrbi.hr/brodogradnja/images/stories/SORTA/sorta10/hrvatski/t5-1%20zibrat_F.pdf, (pristupljeno 24.5.2019.).

[13] *Računala i procesi*,Veleučilište u Rijeci, nastavni materijali: https://www.veleri.hr/files/datotekep/nastavni_materijali/k_informatika_s1/Predavanje_7_a.pdf (pristupljeno 21.5.2019.).

[14] Wikipedia, *Električni kapacitet*, https://hr.wikipedia.org/wiki/Električni_kapacitet, (pristupljeno 21.6.2019.).

[15] Wikipedia, *Level sensor conductive*, https://en.wikipedia.org/wiki/Level_sensor#Conductive, (pristupljeno 11.6.2019.).

[16] Morris, A. S.: *Measurement and Instrumentation Principles*, 3rd Edition, Butterworth Heinemann, Woburn, 2001.

[17] *Procesna mjerenja* (podloge za vježbe), Tehničko Veleučilište u Zagrebu, Elektrotehnički odjel

[18] Bolf, N.: Mjerenja i automatsko vođenje procesa, Mjerenje protoka

[19] Coulton,*Guided wave radar level transmitter,* https://www.coulton.com/guided_wave_radar.html, (pristupljeno 11.6.2019.).

[20] Bahunek Z., *Usporedba metoda unapređenja proizvodnog procesa,* završni rad http://repozitorij.fsb.hr/2740/1/03_03_2014_Zoran_Bahunek_Zavrsni_rad_4_A.pdf, (pristupljeno 11.6.2019.).

[21] *Funkcija kontrole upravljanja,* Sveučilište u Zadru, nastavni materijali, http://www.unizd.hr/Portals/1/nastmat/RT1/Dio2-11.pdf, (pristupljeno 14.6.2019.).

[22] Špečić, M.: *Uvođenje automatizacije u poslovne procese radi povećanja sigurnosti*, završni rad, Karlovac, 2016.

[23] Petrić, J.; Cipek, M.: *Osnove automatizacije*, prezentacija nastave, FSB, Zagreb, 2012.

[24] Piljac I.,*Senzori fizikalnih veličina i elektroanalitičke metode,* https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Ivan_Piljac__Senzori_fizikalnih_velicina_i_elektroanaliticke_metode.pdf, (pristupljeno 16.6.2019.).

[25] Inženjerski priručnik – Temelji inženjerskih znanja, Školska knjiga, Zagreb,1996.

[26] Runje, B.: *Predavanja iz kolegija Teorija i tehnika mjerenja*, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2014., dostupno na: https://bib.irb.hr/datoteka/764412.Predavanja_TTM.pdf (pristupljeno 12.6.2019.).

[27] WIKA Corporate Website, *Hydrostatic level measurment,* https://en.wika.com/newscontentgeneric_ms.WIKA?AxID=475, (pristupljeno 12.6.2019.).

POPIS SLIKA

Slika 1. Izravno mjerenje [26] 3
Slika 2. Usporedbena metoda mjerenja [26] 4
Slika 3. Posredna metoda mjerenja [26] 4
Slika 4. Mjerenje neelektričnih veličina [18] 7
Slika 5. Strukture nekih mjernih pretvornika [6] 8
Slika 6. Tehnološki process [25] 9
Slika 7. Prikazi procesa prema normi [23] 10
Slika 8. Ulazno/izlazni procesni signal [10] 11
Slika 9. Mjerna igla [2] 15
Slika 10. Prikaz mjerila s plovkom [20] 15
Slika 11. Mjerač razine pomoću ronila [20] 16
Slika 12. Mjerni uređaj sa staklenom cjevčicom [18] 17
Slika 13. Spojene posude 18
Slika 14. Limnigraf [1] 18
Slika 15. Mjerenje hidrostatskog tlaka: a) na referentnoj razini, b) propuhivanjem zraka, c) u zatvorenoj posudi [20] 19
Slika 16. Hidrostatski senzor razine s kompenzacijom gustoće [20] 20
Slika 17. Mjerenje razine zatvorenog spremnika [1] 21
Slika 18. Mjerenje razine otvorenog spremnik [1] 21
Slika 19. Mjerenje razine pomoću mjehurića zraka [1] 21
Slika 20. Mjerenje razine pomoću konduktivnog mjerenja [3] 22
Slika 21. Kapacitivni senzori razine [3] 24
Slika 22. Mjerni uređaj iznad mjerne tvari [20] 25
Slika 23. Radarski senzor razine [2] 25
Slika 24. Mjerenje mikrovalnim radarom [19] 26
Slika 25. Prostiranja ultrazvučnog vala [20] 27
Slika 26. Lasersko mjerenje razine [1] 28
Slika 27. Optički mjerni pretvornik Honeywell LLN [2] 28
Slika 28. Smještaj senzora za mjerenje razine [11] 30
Slika 29. Sustav radarskog sustava mjerenja sa procesorskom jedinicom 31
Slika 30. Kapacitivne sonde za mjerenje razine goriva u spremniku [20] 32

POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrste mjernih etalona [18] 5
Tablica 2. Razlika upravljanja i regulacije [22] 11

POPIS KRATICA

A/D (engl. *Analog to Digital Conversion*)	analogno-digitalna pretvorba
D/A (engl. *Digital to Analog Conversion*)	digitalno-analogno pretvorba
MUR	Mjerni, Upravljački i Regulacijski uređaji
SI (fra. *Système International d'Unités*)	Međunarodni sustav jedinica