

Hidrostatsko mjerenje razine tekućina u industrijskim primjenama

Jakoubek, Krešimir

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:864924>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-08**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

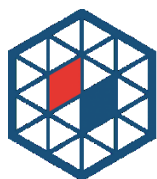
Stručni studij Automatike

**HIDROSTATSKO MJERENJE RAZINE TEKUĆINA U
INDUSTRIJSKIM PRIMJENAMA**

Završni rad

Krešimir Jakoubek

Osijek, 2022.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju

Osijek, 19.09.2022.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime Pristupnika:	Krešimir Jakoubek
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	A 4600, 20.09.2019.
OIB Pristupnika:	75755142137
Mentor:	Mr.sc. Dražen Dorić
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	Dr. sc. Krešimir Miklošević
Član Povjerenstva 1:	Mr.sc. Dražen Dorić
Član Povjerenstva 2:	Dr.sc. Venco Ćorluka
Naslov završnog rada:	Hidrostatsko mjerenje razine tekućina u industrijskim primjenama
Znanstvena grana završnog rada:	Automatizacija i robotika (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Hidrostatsko mjerenje razine tekućina u industrijskim sustavima je još uvijek široko u primjeni iako postoje modernije mjerne metode. Metoda se zasniva na načelu da različiti materijali i različite faze istog materijala imaju različite gustoće. U okviru završnog rada treba obraditi metode hidrostatskog mjerenja razine u industriji, te dati ilustrativne primjere.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Vrlo dobar (4)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 2 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 2 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	19.09.2022.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 01.10.2022.

Ime i prezime studenta:

Krešimir Jakoubek

Studij:

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

Mat. br. studenta, godina upisa:

A 4600, 20.09.2019.

Turnitin podudaranje [%]:

3

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Hidrostatsko mjerenje razine tekućina u industrijskim primjenama**

izrađen pod vodstvom mentora Mr.sc. Dražen Dorić

i sumentora ,

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. MJERENJE RAZINE TEKUĆINE	2
2.1. Odabir mjernih senzora razine	3
2.2. Izravne (kontinuirane) metode	6
2.2.1. Mjerenje razine pomoću uronjenih štapova.....	6
2.2.2. Mjerenje razine pomoću staklene cjevčice	6
2.2.3. Mjerenje razine pomoću plovka	7
2.2.4. Mjerenje razine pomoću ronila	8
2.3. Neizravne (diskretne) metode	9
2.3.1. Kapacitivno mjerenje razine tekućine.....	9
2.3.2. Ultrazvučno mjerenje razine tekućine	10
2.3.3. Optičko mjerenje razine tekućine	10
2.3.4. Konduktivno mjerenje razine tekućine	11
3. HIDROSTATSKO MJERENJE RAZINE TEKUĆINE	12
3.1. Mjerenje razine kod otvorenih spremnika	13
3.1.1. Mjerenja potopnim sondama	14
3.2. Mjerenje razine kod zatvorenih spremnika	15
3.3. Mjerenje razine pomoću mjehurića (Bubblers)	17
4. PRIMJENA UREĐAJA U INDUSTRIJI	19
4.1. Održavanje i kalibracija	24
5. ZAKLJUČAK	25
LITERATURA	26
Sažetak	28
Abstract	29
Životopis	30

1. UVOD

Kroz povijest čovjek je imao potrebu uspoređivati određene veličine te postizati što točnije i preciznije vrijednosti. Zamisliti svijet bez mjerenja je nemoguće, gotovo u svim područjima života postoje nekakvi oblici mjerenja. Izraz mjerenje može se definirati na više raznih načina. Mjeriti znači uspoređivati s mjernom jedinicom. Mjerenjem određujemo vrijednosti fizikalnih veličina kroz eksperimentalne operacije i uz odgovarajuća tehnička sredstva. Ljudi su razvili potrebu za poznavanje razine određenih tekućina i drugih sipina. Mjerenje razine je od velike važnosti u industrijskoj primjeni, što zbog sigurnosnih razloga što zbog povratnih informacija o količini i popunjenosti spremnika. Jedna od metoda mjerenja i kontrole razine je tema ovog završnog rada, hidrostatsko mjerenje razine tekućine.

Hidrostatsko mjerenje razine tekućina u industrijskim sustavima je još uvijek široko u primjeni iako postoje modernije mjerne metode. Metoda se zasniva na načelu da različiti materijali i različite faze istog materijala imaju različite gustoće. Postoje razne metode i svaka od tih metoda je specificirana za određeno područje. U okviru ovog završnog rada objašnjene su metode hidrostatskog mjerenja razine u industriji, te kroz ilustrativne primjere predloženi principi rada i njihova primjena. Kroz primjere metoda uspoređene su njihove prednosti i nedostaci te zašto su pojedine metode prihvatljivije i primjenjenije u industriji. Uvodno s temom mjerenja razine objašnjeno je zašto je važno mjeriti razinu te na koji način postupati s mjernim metodama. Zaključno su dani ilustrativni primjeri kojima je dočarana stvarna slika mjernih procesa koje koriste objašnjene i obrađene metode, kao i mjerne uređaje.

2. MJERENJE RAZINE TEKUĆINE

Mjerenja razine tekućine su od velike važnosti. Osim što se kontrolira razina kako bi se znala količina tekućine u određenom spremniku, služi i kao prevencija od neželjenih kvarova postrojenja, mogućeg prelijevanja tekućine ili npr. rada crpke na suho, ali i drugih većih posljedica na okolinu. Iz raznih primjera može se vidjeti da mjerenja razine mogu biti i puno složenija od jednostavnih određivanja prisutnosti ili odsutnosti. Godine 1979. dogodio se takav slučaj u Pennsylvaniji u blizini grada Harrisburga (SAD) na nuklearnoj elektrani Three Mile Island. Dogodila se opasna situacija kada je otkrivena prisutnost rashladne tekućine pri vrhu spremnika te je isključenjem protoka rashladne tekućine otkazao sustav za hlađenje nuklearnog reaktora. Krivac je bio sustav za kontrolu razine koji je isključio protok. Rashladna voda je dospjela na sami vrh spremnika reaktora jer je bilo tako malo vode da je proključala i nabubrila do vrha. Posljedice su bile takve da je tisuće ljudi moralo napustiti svoje domove i mjesto stanovanja. [1] Mjerenje tekućine se odvija u raznim spremnicima koji mogu biti različitih oblika, volumena i masa, karakteristika tvari, ali i različitih uvjeta. Treba obratiti pažnju i na fizikalna svojstva tekućine, gustoću i temperaturu. Svi navedeni faktori utječu na složenost zadatka mjerenja. Postoje razne metode mjerenja razine tekućina od kojih je veća podjela na kontinuirane (izravne) i diskretne (neizravne) metode koje također imaju svoje potpodjele. U današnje vrijeme postoji veliki broj tehnologija i metoda za izradu pretvornika mjerne razine.

Mjerenje razine dijelimo na dvije kategorije metoda prema učestalosti mjerenja. Izravna metoda je kontinuirana ili analogna metoda, temelji se na stalnim i neprekidnim mjerenjima. Izravne metode promatraju parametre mjerenja kroz cijelo vrijeme te time imaju potpuni nadzor nad razinom tekućine. Za ovakvu vrstu mjerenja postoje mnoge metode, no objašnjene su neke najčešće i najkorištenije u primjeni. Neke od metoda za izravna mjerenja su mjerenja pomoću uronjenih štapova, staklene cjevčice, plovka i ronila. Druga kategorija mjerenja razine su neizravne ili diskretne metode. Princip rada ovih metoda je da ne mjere samo u određenoj točki nego je mjerenje u rasponu mjerenja te se zbog toga nazivaju i točkaste metode. Ovakve metode još nazivamo signalizacijom ili digitalnim mjerenjem jer se koriste kako bi signalizirali postojanje podešenih visokih ili minimalnih stanja razina. [2]

Kontinuirane metode su u značajnijoj prednosti u odnosu na diskretne jer postoji vizualna kontrola razine u svakom trenutku. Također postoje razne diskretne metode, no najviše će se govoriti o hidrostatskom mjerenju razine.

2.1. Odabir mjernih senzora razine

Jedna od jako bitnih stavki prilikom mjerenja razine na koju treba obratiti pozornost je odabir odgovarajućeg mjernog uređaja i senzora. Postavljaju se razna pitanja koja utječu na odabir senzora. Prvo što treba odrediti za koju je primjenu, a zatim se postavlja pitanje gdje će se senzor razine nalaziti, unutar spremnika ili izvan spremnika. Također, pitanje je smije li on biti u dodiru s procesnom tekućinom, je li potrebno izravno mjerenje razine ili neizravno, mjerimo li razinu kontinuirano ili u određenim točkama i razna druga pitanja. Procjenom navedenih pitanja smanjujemo popis senzora i znatno olakšavamo njihov odabir. Dodatno sužavamo izbor uzimajući u obzir one izvedbe koje se mogu osigurati samo u određenim materijalima i koje mogu funkcionirati na traženoj točnosti, radnim temperaturama, itd. Za olakšani izbor senzora postoje tablice koje prikazuju primjenjivost senzora (Tablica 2.2.) te za koje procesne medije i njihove karakteristike (Tablica 2.1.). [1]

TIP	MAKS. TEMP. (F)	RASPOLOŽIVO BESKONTAKTNO	NETOČNOST 1in. = 25.4 mm	PRIMJENE								OGRAIČENJA TDR = Time Domain Reflectometry PDS = Phase Difference Sensors AS = Postotak aktualnog raspona E = Odličan FS = Postotak pune skale F= Korektan G = Dobar L = Ograničen P = Slabo UL = Neograničen	
				TEKUĆINE					KRUTINE				
				ČISTE	VISKOZNE	EMULZIJA / MULJ	SUČELJE	PJENA	PRAH	ZRNASTE	LJEPLJIVE		
Mjehurići zraka	UL		1-2% FS	G	F	P	F						Uvođenje novih tvari u proces, visoko održavanje
Kapacitivni	2000		1-2% FS	G	F-G	F	G-L	P	F	F	P		Sučelje između vodljivih slojeva i problem detekcije pjene
S vodljivom sklopkom	1800		1/8 in	F	P	F	L	L	L	L	L		Može detektirati sučelje samo između vodljive i nevodljive tekućine
Membranski	350		0.5% FS	G	F	F			F	F	P		Mijenja se samo kod krutina
Diferencijalni tlak	1200		0.1% AS	E	G-E	G	P						Samo vanjska membranska brtva može eliminirati začepljenja
S istiskivanjem	850		0.5% FS	E	P	P	F-G						Ne preporučuje se primjena za mulj ili emulziju
Plutajući	500		1% FS	G	P	P	F						Pokretni dijelovi ograničavaju većinu dizajna za čišćenje
Laserski	UL	X	0.5 in	L	G	G		F	F	F	F		Ograničeno za neprozirne tekućine i čvrste tvari u prozirim spremnicima
Sa stalnom razinom	700		0.25 in	G	F	P	F						Staklo nije dozvoljeno u nekim procesima
Mikrovalne sklopke	400	X	0.5 in	G	G	F	G		G	G	F		Debeli premaz je ograničenje
Optičke sklopke	260	X	0.25 in	G	F	E	F-G	F	F	P	F		Tip loma za čiste tekućine; Tip refleksije zahtijeva čisti prostor
Radarski	450	X	0.12 in	G	G	F	P		P	F	P		Smetnje od premaza, od lopatice mješalice, spreja i pretjerane turbulencije
Radijacijski	UL	X	0.25 in	G	E	E	G	F	G	E	E		Zahtijeva NRC licencu
S otpornom trakom	225		0.5 in	G	G	G							Ograničeno za tekućine blizu atmosferskog tlaka i temperature
S rotirajućom lopaticom	500		1 in						G	F	P		Ograničeno za detekciju suhih tvari, nekorozivne i krutine niskog tlaka
S kliznim cijevima	200		0.5 in	F	P	P							Nesiguran za ručnu uporabu
Trakasti senzori razine	300		0.1 in	E	F	P	G		G	F	F		Samo induktivno spregnuti plovak je pogodan za mjerenje. Plutajuća prepreka je potencijalni problem kod većine izvedbi
Termalni	850		0.5 in	G	F	F	P	F					Pjena i međusklop detektiraju ograničenu toplinsku vodljivost
TDR/PDS	221		3 in	F	F	F			G	G	F		Ograničena učinkovitost na ljepljivim procesnim materijalima
Ultrazvučni	300	X	1% FS	F-G	G	G	F-G	F	F	F	G		Prisutnost prašine, pjene i vlage u prostoru pare.
Vibracijske sklopke	300		0.2 in	F	G	G	F		F	G	G		Pretjerane naslage materijala mogu spriječiti rad

Tablica 2.1. Odabir senzora razine pomoću orijentacijske tablice [1]

KEY: C = Continuous, P = Point, 1 = Good, 2 = Fair, 3 = Poor, - = Not applicable																			
		TEKUĆINE		TEKUĆINA/ TEKUĆA SUČELJA		PJENA		MULJ		SUSPENDIRANE KRUTE TVARI		KRUTE TVARI U PRAHU		ZRNASTE KRUTE TVARI		MASIVNE KRUTE TVARI		LJEPLJIVE VLAŽNE KRUTE TV.	
		P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C	P	C
S prekidačem		-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	1	-	3	-	1	-
S mjehurićima		1	1	-	-	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Kapacitivni		1	1	1	1	1	2	1	2	-	-	2	2	1	2	2	2	1	2
Provodni		1	-	2	-	1	-	1	-	-	-	3	-	3	-	3	-	1	-
Diferencijalni tlak		2	1	2	2	-	-	2	2	-	-	3	3	-	-	-	-	-	-
Elektromehanički	Membranski	1	1	2	-	-	-	2	2	-	-	1	3	1	-	3	-	2	3
	S istiskivanjem	1	2	2	2	-	-	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Plutajući	1	-	2	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Plutajuće/ Trake	3	1	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	S lopaticom	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	2	-	1	-	3	-	2	-
	Težina/ Kabel	3	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1
Mjerila	Staklo	1	1	2	2	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Magnetski	1	1	-	-	3	3	3	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Induktivni		-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	2	2	2	2	2	2	3	3
Mikrovalni		1	1	-	-	-	-	1	1	-	-	1	2	1	1	1	1	1	1
Radijacijski		1	1	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1	1	1	1	1	1	1
Zvučni odjek	Sonarni	-	-	2	2	-	-	-	3	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Zvučni	1	1	3	3	-	-	1	1	2	2	-	3	1	1	1	1	2	1
	Ultrazvučni	1	2	2	2	-	-	1	2	1	1	-	3	2	2	1	2	2	2
Toplinski		1	-	1	-	2	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vibracijski		2	-	3	-	-	-	2	-	1	-	1	-	1	-	2	-	1	-

Tablica 2.2. Prikaz primjenjivosti senzora razine za različite namjene [1]

Kod odabira senzora razine, u slučaju da senzor zadovoljava zahtjeve primjene, u obzir se uzima i učestalost u primjeni te koliko je sklono pojedinom postrojenju ili procesnoj industriji zbog dostupnosti rezervnih dijelova. Razne industrije koriste razne senzore razine, primjena je velika.

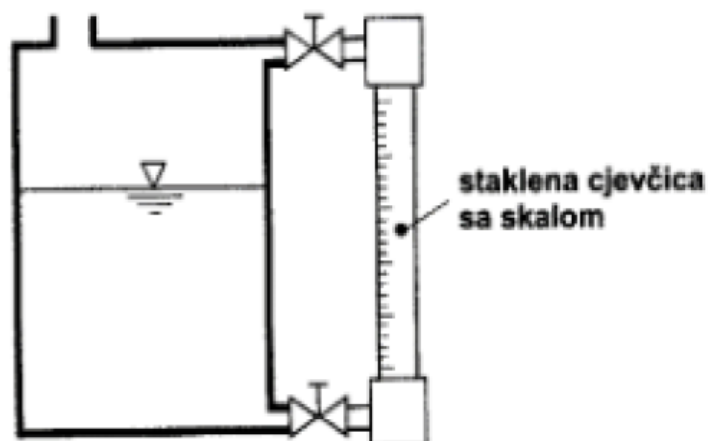
2.2. Izravne (kontinuirane) metode

2.2.1. Mjerenje razine pomoću uronjenih štapova

Jedna od jednostavnijih metoda u čovjekovom okruženju je mjerenje razine pomoću uronjenih štapova. Princip ove metode je vrlo jednostavan, štap koji na sebi ima mjernu skalu uranjamo u tekućinu te očitavamo visinu tekućine. Rezultat mjerenja može ovisiti o raznim faktorima kao npr. vidljivost brojčane skale ili mirnoća vode prilikom očitavanja. Osim štapova koriste se i druge njegove izvedbe u obliku vodomjerne letve ili mjerne igle koja se uglavnom upotrebljava u laboratorijima. Također, osnovna primjena mjerne igle je u slučajevima kada su sve potrebne karakteristike spremnika (oblik, volumen) unaprijed dobro poznate. [6]

2.2.2. Mjerenje razine pomoću staklene cjevčice

Jedna od najjednostavnijih metoda mjerenja razine je pomoću staklene cjevčice. Ova metoda se temelji na zakonu spojenih posuda koji pripada zakonima hidrostatičke. Princip ove metode je da imamo kalibriranu staklenu cjevčicu koja predstavlja tzv. bypass - komore koja se nalazi izvan spremnika te ima stakleni prozor po svojoj dužini u obliku trake. Posude su uglavnom povezane te se tekućina giba, a visina tekućine u svakoj posudi je jednaka. Rezultat mjerenja očitavamo direktno sa skale otisnute na cjevčici. Ovakve metode se primjenjuju u vakuumu ili spremnicima s niskim tlakom ili bez tlaka zbog problema koji se može pojaviti u slučaju krivog očitavanja rezultata sa mjerne skale. [2]

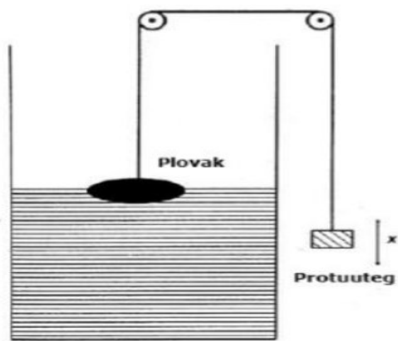


Slika 2.1. Prikaz uređaja za mjerenje razine staklenom cjevčicom (Bypass) [2]

2.2.3. Mjerenje razine pomoću plovka

Mjerenje razine pomoću plovka se temelji na Arhimedovom zakonu koji glasi: Tijelo uronjeno u tekućinu lakše je za težinu istisnute tekućine.¹ Prema ovome, plovak se izrađuje od materijala koji ima manju gustoću nego tekućina u koju je uronjen. Princip rada ovakvog načina mjerenje razine je da plovak pluta na površini tekućine te prati razine tekućine (Slika 2.3.). Na taj način šalje pomake na pretvornik koji pomake pretvara u električni signal. Plovak može biti u različitim dimenzijama i izvedbama. Za one manjih promjera postoje komore smještene na vanjskoj strani spremnika, dok one većih se vežu utegom kako bi se uspostavilo ravnotežno stanje kada razina raste, a uteg kreće prema dolje.

Uteg se kreće na određenu dubinu h_1 koja predstavlja minimalnu vrijednost nivoa mjerenja. Upravo se tom uspostavom ravnotežnog stanja izračunavaju parametri plovka (Slika 2.2.). [6]



$$F_{ut} = F_p - A \cdot h_1 \cdot \rho \cdot g$$

- F_{ut} – težina protuutega
- F_p – težina plovka
- A – površina poprečnog presjeka
- h_1 – dubina do koje je potopljen plovak
- ρ – gustoća kapljevine čija se razina mjeri

Slika 2.2. Prikaz mjernila s plovkom i formula za izračun parametara plovka [6]



Slika 2.3. Primjena mjernila s plovkom [17]

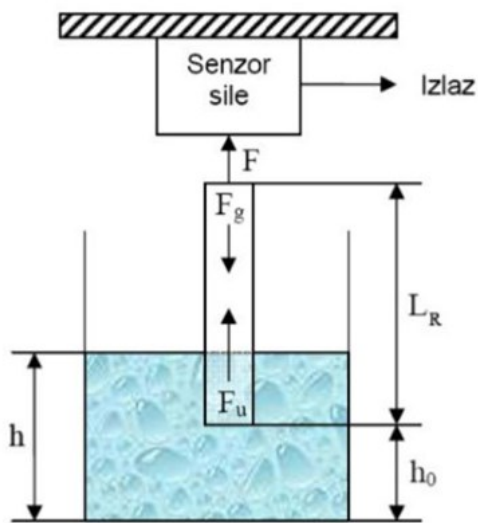
¹ https://hr.wikipedia.org/wiki/Arhimedov_zakon

2.2.4. Mjerenje razine pomoću ronila

Mjerenje razine pomoću ronila je slična metoda kao i metoda mjerenja pomoću plovka te se temelje na istom fizikalnom zakonu. U odnosu na plovak, ronilo mora imati veću gustoću od tekućine tako da bude uronjeno i lebdi u tekućini. Plovak je u obliku štapa izrađen od cilindričnog presjeka učvršćenog na senzoru sile (Slika 2.4.). Princip ovakvog načina mjerenja je promjena razine koja djeluje na sustav ronilo-pero, tj. ravnotežu sila tog sustava te tada pomaci ronila su mjera razine. Prema navedenim formulama, porastom razine tekućine na ronilo djeluje sila uzgona (2-1) te razlika težine ronila G_R i sile uzgona F_u jednaka je sili koju ronilo prenosi na pretvornik (2-2). [6]

$$F_u = \rho * g * A(h - h_0) \quad (2-1)$$

$$F = G_R - F_u \quad (2-2)$$



- 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.

Slika 2.4. Prikaz mjerenja pomoću ronila [6]

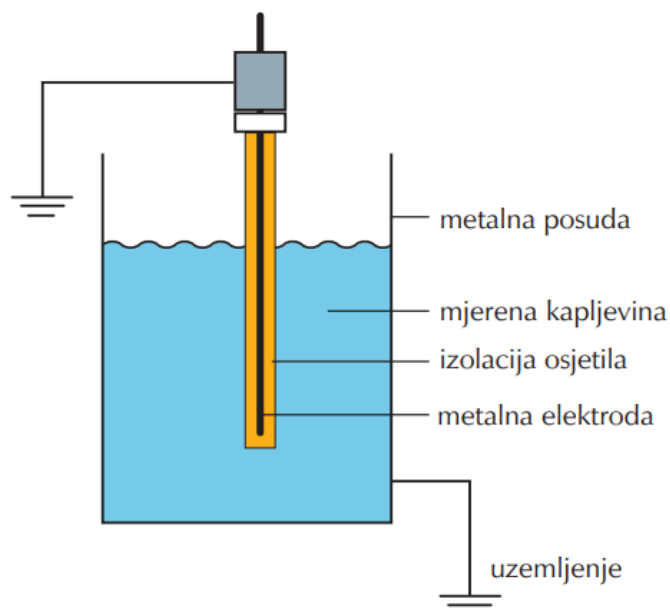
2.3. Neizravne (diskretne) metode

Diskretnim metodama ne mjerimo samo u jednoj točki te nemamo direktnu kontrolu razine prilikom mjerenja. Određenim metodama pretvaramo signale u razinu tekućine. Jedno od važnih svojstava ovih metoda mjerenja je korištenje fizikalnih svojstava tekućina.

2.3.1. Kapacitivno mjerenje razine tekućine

Kapacitivno mjerenje razine tekućine se temelji na razlici između relativnih dielektričnosti promatranih tekućina i zraka ili plina iznad te tekućine. U posudu s tekućinom se stavlja jedna ili slog dvije izolirane elektrode koje tvore kondenzator, tj. kapacitivno osjetilo razine kod kojeg je dielektrik jednim dijelom tekućina, a drugim plin ili zrak. Njihov odnos će ovisiti o razini pa će tako i kapacitet osjetila ovisiti o razini. Kada stavimo osjetilo u mjerni spoj on tvori kapacitivni pretvornik koji elektronički pretvara promjene u kapacitet koji se zatim pretvara i u analogni signal (Slika 2.5.).

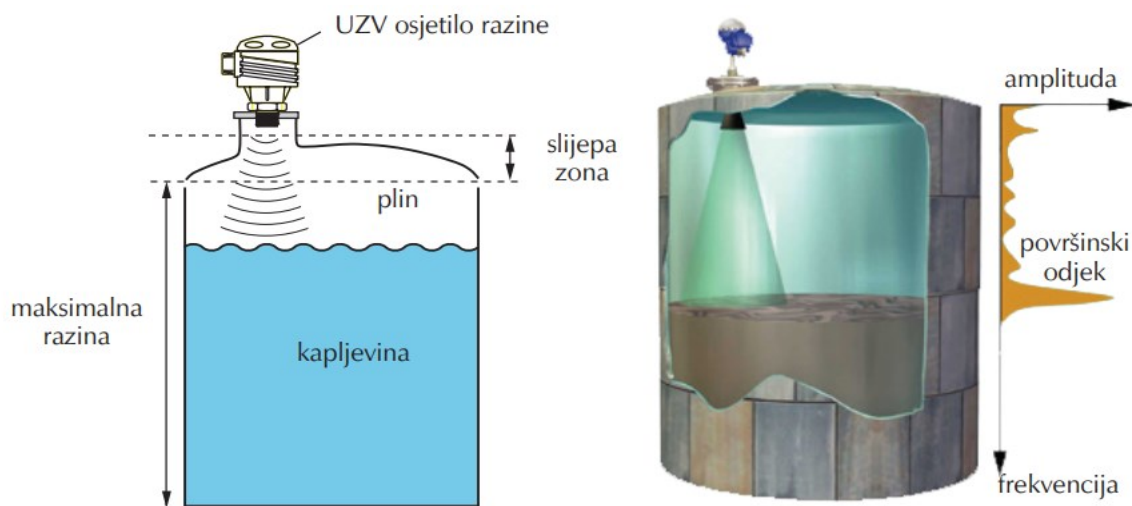
Promjenu osjeća sonda koja je ugrađena u spremniku s tekućinom te zajedno sa stjenkom posude čini dvije ploče kondenzatora, dok tekućina predstavlja dielektrik. Kapacitivna osjetila razine se koriste za mjerenje dielektričnih i slabo vodljive tekućine. [3]



Slika 2.5. Kapacitivno mjerenje razine tekućine [3]

2.3.2. Ultrazvučno mjerenje razine tekućine

Ultrazvučno mjerenje razine tekućine (Slika 2.6.) se temelji na vremenu potrebnom za slanje i primanje ultrazvučnih pulsnih signala koji se šire brzinom zvuka. Signali dolaze do određenog dijela tekućine i odbijaju se nazad u prijemnik, tj. signal dolazi do površine i reflektira se nazad. Povratkom na prijamnik signal se obrađuje i pretvara u izlazni signal pretvornika. [2] Ova metoda mjerenja je pogodna za beskontaktna mjerenja razine kod tekućine velike viskoznosti kao što su masnoće, teška ulja, kaše i lateks, ali i određene krute tvari. Brzina zvuka ovisi o temperaturi, vlažnosti i tlaku tekućine pa zbog toga može doći i do promjena frekvencije emitiranog signala. Ponekad zbog prevelike amplitude impulsa dolazi do mehaničkog vibriranja osjetila koja mogu prigušiti obradu signala. Zbog toga je uvedena tzv. „slijepa zona“ u kojoj se ne mjeri te ona predstavlja udaljenost koju treba ostaviti između mjesta emitiranja signala do maksimuma razine tekućine. [3]

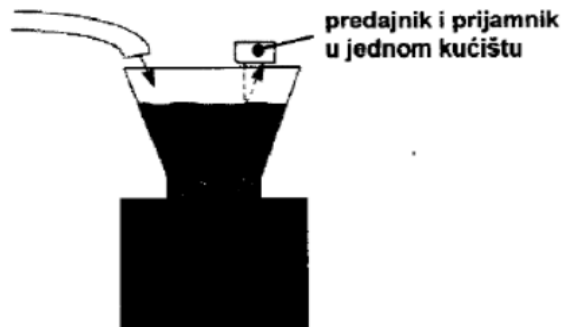


Slika 2.6. Prikaz ultrazvučnog mjerenja razine tekućine [3]

2.3.3. Optičko mjerenje razine tekućine

Kod metode optičkog mjerenja razine svjetlosne zrake se apsorbiraju u tekućini ili se odbijaju (reflektiraju) od površine tekućine (Slika 2.7.). Ova metoda omogućuje mjerenje uz veliku točnost, posebno uz upotrebu laserskog izvora svjetlosti. Laserski izvor svjetlosti lakše prodire i reflektira na većini kapljeviti i čvrstih površina.

Preciznim mjerilom vremena može se izmjeriti vrijeme putovanja zraka svjetlosti te odrediti udaljenosti mjernih površina od senzora. Ovakvo mjerenje je dosta skupo zbog troškova i održavanja laserskih pretvornika te je u industriji dosta ograničena njihova upotreba.



Slika 2.7. Prikaz optičkog mjerenja razine tekućine [2]

2.3.4. Konduktivno mjerenje razine tekućine

Konduktivno mjerenje razine se temelji na promjeni vodljivosti koju stvara tekućina između dvije elektrode (Slika 2.8.). Porastom razine elektrode ulaze u tekućinu te elektronički sklop registrira promjenu otpora. Zbog promjene otpora, konduktivne pretvornike se svrstava u skupinu otporničkih pretvornika.



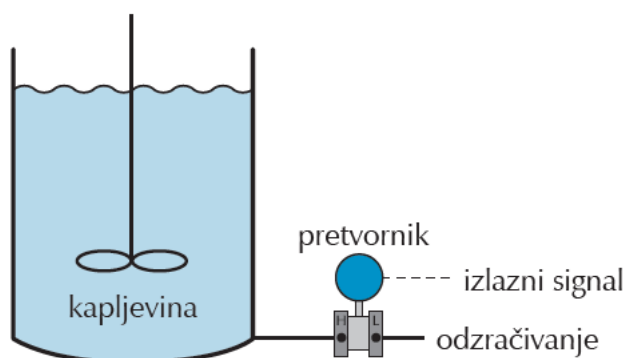
Slika 2.8. Prikaz konduktivnog mjerenja razine [4]

3. HIDROSTATSKO MJERENJE RAZINE TEKUĆINE

Hidrostatsko mjerenje razine tekućine je jedno od najstarijih, ali i najčešćih metoda mjerenja razine zbog svoje jednostavnosti i primjene u različitim tekućinama. Hidrostatska mjerenja razine su mjerenja visoke preciznosti kod različitih volumena. Stupac tekućine stvara tlak koji se mjeri te izravno mjerenje tog tlaka predstavlja hidrostatsko mjerenje razine. Zasniva se na Pascalovom zakonu, koji dokazuje da stupac zraka pritišće zemlju i stvara atmosferski tlak. Isto vrijedi i za tekućine gdje stupac tekućine stvara pritisak na dno spremnika zbog težine tijekom djelovanja gravitacije (Slika 3.1.). Što je veća visina tekućine bez obzira na oblik spremnika i njegovu širinu to je veći tlak. Poznavajući gustoću tekućine i mjerenjem tlaka, možemo zaključiti o razini, tj. visini tekućine u spremniku. Mjerenjem hidrostatskog tlaka prema izrazu (3-1) određuje se razina tekućine:

$$p = \rho * g * h \quad (3-1)$$

Pri čemu p predstavlja hidrostatski tlak, ρ gustoću tekućine s mjernom jedinicom kg/m^3 , g akceleraciju sile teže te h visinu stupca tekućine. [3]



Slika 3.1. Mjerenje hidrostatskog tlaka na dnu spremnika [3]

Pretvornici tlaka koriste se za mjerenje tlaka pare, tekućine i plinova u raznim industrijskim postrojenjima. Najčešće se primjenjuju u mjerenjima protoka i razina tekućina u spremnicima. Senzori hidrostatskog tlaka se mogu pronaći u različitim izvedbama primjene. Mogu biti uronjeni u tekućini ili ugrađeni s vanjske strane spremnika. Također, potrebno je obratiti pažnju na kemijski prihvatljive materijale senzora i uređaja koji će biti u kontaktu s procesnim medijima. Pretvornici moraju biti umjereni za pojedini medij ovisno o njihovoj gustoći koja može varirati ovisno o temperaturi uzrokujući promjenu gustoće.

Primjena ovakve metode je prikladna za razne spremnike ili brane te određene ekvilizacijske bazene koji dosežu visine i do 275 m.

Prednosti hidrostatskih mjerenja razine su niska cijena, jednostavnost pri odabiru te univerzalna tehnologija koja je dobro poznata u industriji. Na mjerenje i pouzdanost ne utječu ni pjenjenja tekućine, promjene vodljivosti ili dielektrične konstante. Miješanjem tekućina različitih gustoća dolazi do promjene tlaka, a time i do promjene razine tekućine.

Kod hidrostatskog mjerenja razine postoji podjela na tri različite izvedbe mjerenja razine. Razlikujemo mjerenja razine u otvorenim spremnicima koja je više manje općenito hidrostatsko mjerenje razine, hidrostatsko mjerenje razine u zatvorenim spremnicima u kojoj se mjeri razlika tlakova te pomoću mjehurića zraka (Bubbler).

3.1. Mjerenje razine kod otvorenih spremnika

Hidrostatsko mjerenje razine u otvorenim spremnicima (Slika 3.2.) temelji se na određivanju hidrostatskog tlaka koji je generiran visinom stupca tekućine (3-2). Kod mjerenja u otvorenim spremnicima uzimamo u obzir i atmosferski tlak te razlikom hidrostatskog i atmosferskog dobivamo razinu tekućine otvorenog spremnika.

$$p = p_0 + \rho * g * h \quad (3-2)$$

Visina razine tekućine u spremniku:

$$h = \frac{p - p_0}{\rho * g} \quad (3-3)$$

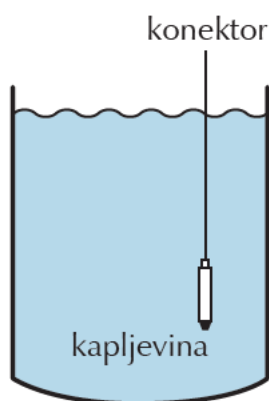
Promjena gustoće tekućine promjenom temperature ili nekim drugim utjecajem može izazvati mjerne pogreške. Ovakav problem rješavamo primjenom drugog osjetila. Jedna od najprimjenjenijih metoda s otvorenim spremnikom je Bubbler metoda mjerenja razine ili metoda propuhivanja mjehurića.



Slika 3.2. Hidrostatsko mjerenje razine u otvorenom spremniku [7]

3.1.1. Mjerenja potopnim sondama

Potopne sonde služe za mjerenje hidrostatskog tlaka tekućine na temelju kojeg se određuje razina tekućine (Slika 3.3.). Pri mjerenju razine otvorenih spremnika potopne sonde vise na kablu te se uranjaju na dno spremnika ili određene posude. Elektronički dio sonde mora biti dobro zabrtvljen od tekućine u kojoj se nalazi. U spremnicima u kojima se nalaze mali tlakovi važno je odzračiti stražnji dio pretvornika na atmosferski tlak jer će se promjenom barometarskog tlaka uzrokovati mjerna pogreška. [3]

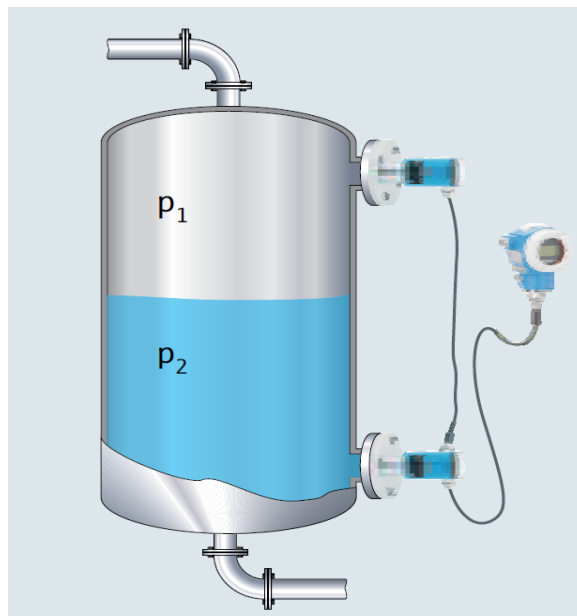


Slika 3.3. Mjerenje tlaka potopnom sondom [3]

3.2. Mjerenje razine kod zatvorenih spremnika

Kod mjerenja razine tekućine u zatvorenim spremnicima mjerimo razliku tlakova (Slika 3.4), tj. diferencijalni tlak Δp prema izrazu (3-4). Pretvornik mjeri tlak pri dnu spremnika i iznad najveće razine tekućine. Razlika tih tlakova predstavlja razinu tekućine. Ovakve metode se primjenjuju kada je neizbježno njihovo korištenje jer su cijene senzora previsoke. Mjerenja razine u zatvorenim spremnicima se koriste za spremnike ukapljenih plinova ili spremnika u kojima se nalaze pare fluida poput benzina. Kod zatvorenih spremnika treba obratiti pozornost na temperaturu para/plina u spremniku.[5] Kod manjih temperatura primjenjuje se tzv. suhi spoj pri čemu je dijafragma mjernog pretvornika u izravnom doticaju sa plinom ili parom. Dok kod visokih temperatura se koristi mokri spoj koji kojih se vod puni određenim medijem koji služi za izoliranje pretvornika od topline. Standardni pretvornici podnose temperature i do 120 °C. [3] Jedan od pretvornika je i Deltabar koji može podnijeti temperature i do 400 °C te tlak do 420 bara. Otporan je na utjecaj temperature okoline, dielektrične konstante, pjene, turbulencija i prepreka te ima visoku otpornost na preopterećenja.

$$\Delta p = p_2 - p_1 \quad (3-4)$$



Slika 3.4. Mjerenje razine u zatvorenom spremniku [7]

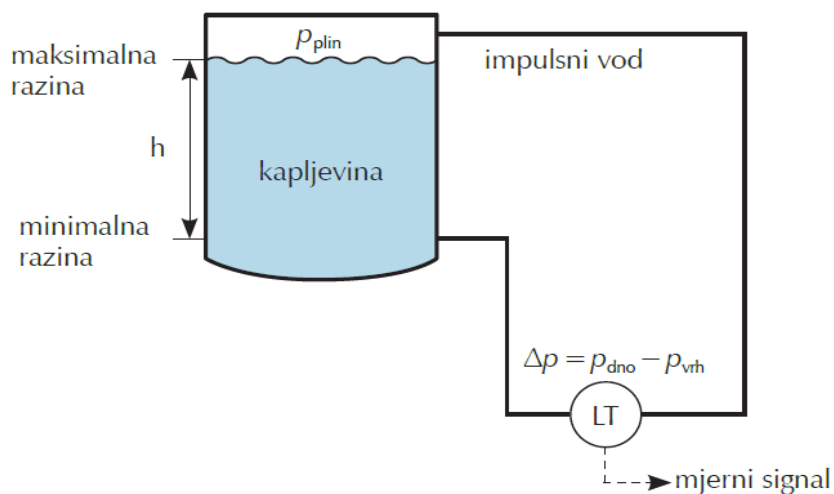
U slučaju još većih temperatura pri ovoj metodi mjerenja razine postoje bolja, ali i skuplja rješenja. U takvim slučajevima koristimo daljinske membranske brtve koje se uz previsoku temperaturu primjenjuju i kada procesni medij sadrži krute čestice ili je viskoznan.



Slika 3.5. Vodovi i priрубnice za daljinska mjerenja razlike tlakova [3]

Kod daljinskih pretvornika tlaka s tzv. dijafragmom u zatvorenim spremnicima može se mjeriti razlika tlakova te se koriste dvije brtve dijafragme dok u slučaju otvorenih spremnika samo jedan relativni tlak sa jednom brtvom dijafragme. Na slici 3.5., prikazani su vodovi i priрубnice koje se spajaju na udaljene brtve dijafragme pomoću impulsnih vodova ispunjenih kapljevnom poput silikona.

Način na koji to funkcionira je ispunjen s puno pritiska. Tlak uzrokovan plinom ili parama pritišće membranu udaljene dijafragme te ona pritišće tekućinu. Zatim, tekućina pritišće membranu pretvornika koje u konačnici pritišću osjetilni element pretvornika.



Slika 3.6. Mjerenje razine zatvorenih spremnika primjenom pretvornika razlike tlakova [3]

U zatvorenim spremnicima su mogući različiti načini izvedbe mjernih senzora. Moguće ih je montirati na stropu spremnika s visećom sondom te pri dnu spremnika. (Slika 3.7.).



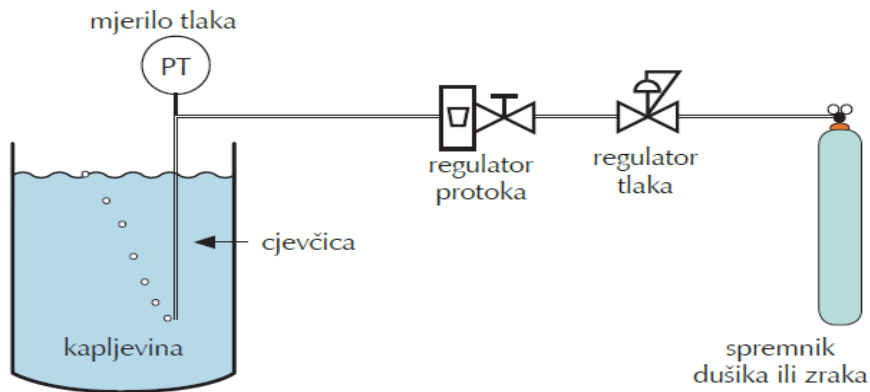
Slika 3.7. Izvedbe hidrostatskih mjerila razine [4]

3.3. Mjerenje razine pomoću mjehurića (Bubblers)

Metode mjerenja razine nisu uvijek jednostavne kao i ugradnja mjerila tlaka. Zbog nemogućnosti ugradnje mjerila na dno spremnika potrebno je „prenijeti“ hidrostatski tlak s dna spremnika na površinu tekućine. Metoda se temelji na stvaranju mjehurića koji nastaju kada se izjednače hidrostatski tlak i tlak u sustavu zbog upuhivanja zraka ili nekog drugog plina pod tlakom pomoću zračnog kompresora. Tlak u cjevčici je manji od hidrostatskog tlaka dok se ne otvori ventil te se tlak u cjevčici povećava dok ne bude isti kao i hidrostatski. Izjednačavanjem tlakova počinju izlaziti mjehurići te se dio zraka koji je višak ispusti u okolinu, a drugi dio ima tlak proporcionalan mjernoj razini (Slika 3.8.). Da bi mjerenje bilo točno mora se održavati protok regulatorom protoka uz varirajući nizvodni tlak. Na taj način se minimalizira tzv. offset i poboljšava mjerenje. Promjenom razine tekućine mijenjaju se i mjereni tlakovi. Na mjerilu protoka tlak treba biti postavljen na dovoljno visoku vrijednost da prevlada povratni tlak razine tekućine i tlak koji ima minimalan pad na regulatoru protoka. Za mjerenje razine do 10 m dovoljan je dovodni tlak od približno 2 bara.

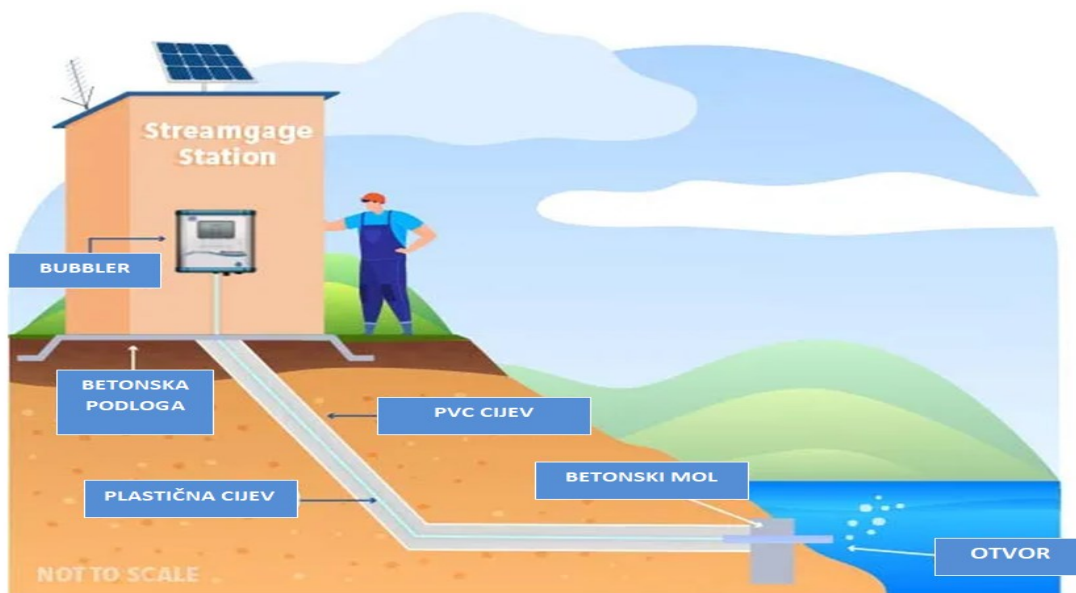
Mjerni senzori kod ovakvog načina mjerenja nisu u direktnom dodiru s tekućinom. Također, ne sadrži električke komponente pa se može koristiti i u opasnim zonama.

Sustavi za mjerenje ovom metodom ne sadrže pokretne dijelove osim cjevčice kroz koju izlaze mjehurići te im to daje prednost u mjerenjima razine odvodnih voda, kanalizacije i mulja iz kanalizacija, septičkih jama ili voda s velikim količinama odbačenih krutina. Metoda ima veliku točnost te se koristi i u spremnicima ili branama i ekvilizacijskim bazenima do 135 m.



Slika 3.8. Mjerenje razine bubbler tehnikom [3]

Kao i svaka metoda i ova ima svoje prednosti i nedostatke. Prednost bubbler metode je da sa stajališta održavanja nije potreban rad unutar spremnika tj. na strani spremnika čime se smanjuje vrijeme izloženosti radnika plinu pohranjenom u spremniku. Nedostatak ove metode može biti problem smanjenja tlaka u mjehurićima što može uzrokovati smanjenje točnosti mjerenja razine. Također, nedostatak je zastarijevanje ovakvih sustava, pojavljuju se problemi sa zamjenskim dijelovima jer se sustavi povlače iz proizvodnje, a zalihe se smanjuju. [8]



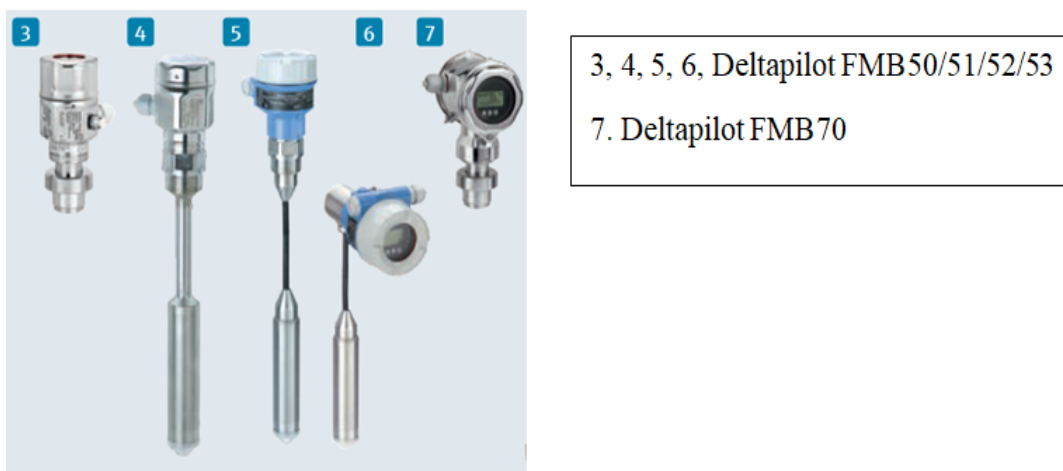
Slika 3.9. Primjer mjerenja razine bubbler tehnikom [19]

4. PRIMJENA UREĐAJA U INDUSTRIJI

Prvi koraci u bilo kakvom mjerenju je izbor i odabir uređaja koji je od velike važnosti. Pojedine metode i tehnike imaju većih izbora uređaja za tu metodu, time daju i više mogućnosti korisniku. Pri odabiru uređaja bitno je specificirati područje primjene kako uređaj prilagoditi mjerenjima. Hidrostatska mjerenja imaju razne faktore na koje treba obratiti pažnju prilikom odabira uređaja. Različite uređaje koristimo za mjerenja u otvorenim i zatvorenim spremnicima te Bubbler tehnikom, ali i za različite vrste tekućina zbog karakteristika samog uređaja. Karakteristike po kojima se uređaji razlikuju mogu se razlikovati u stupnju točnosti i ograničenju temperature uređaja.

U Republici Hrvatskoj često se koriste uređaji tvrtke Endress+Hauser za hidrostatsko mjerenje razine tekućine u otvorenim spremnicima jer su uređaji dobro dokumentirani. Neki od takvih uređaja su Cerabar i Deltapilot. Otporni su na razne vrste pjena i turbulencija, nema utjecaja dielektričnih konstanti. Otporni su na kondenzaciju, vodonepropusni te imaju dugotrajno stabilne mjerne ćelije s optimiziranim ponašanjem temperaturnog šoka.

Deltapilot hidrostatski uređaji za mjerenje razine (Slika 4.1.) rade u rasponu $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Raspon tlaka je od 100 mBar do 20 Bar. Dok Cerabar PMP75 (Slika 4.2.) radi u rasponu $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ i tlaka od 400 mBar do 400 Bar. [9]



Slika 4.1. Modeli Deltapilot transmitera [9]



Slika 4.2. Cerabar PMP75 transmitera [9]

NIVOPRESS-D je hidrostatski transponder razine koji radi pomoću dvije žice i konvertira apsolutni ili relativni tlak koji predstavlja ulazni signal, u 4-20 mA izlazni signal. Mjeri hidrostatski tlak i uspoređuje ga s atmosferskim. Izrađen je od nehrđajućeg čelika te ima mogućnost udaljenog programiranja HART komunikacijom. Pogodan za mjerenje tlaka i razine u spremnicima, posudama i cijevima. Procesna temperatura je u rasponu $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, a maksimalni tlak doseže 400 bara. Nivopress ima i drugih izvedbi kao što su Nivopress-N i Nipress za mjerenje tlaka. Imaju široko polje primjene u raznim granama industrije. Primjenjuju se i u procesima vodoopskrbe i otpadnih voda (Slika 4.3.). [11]



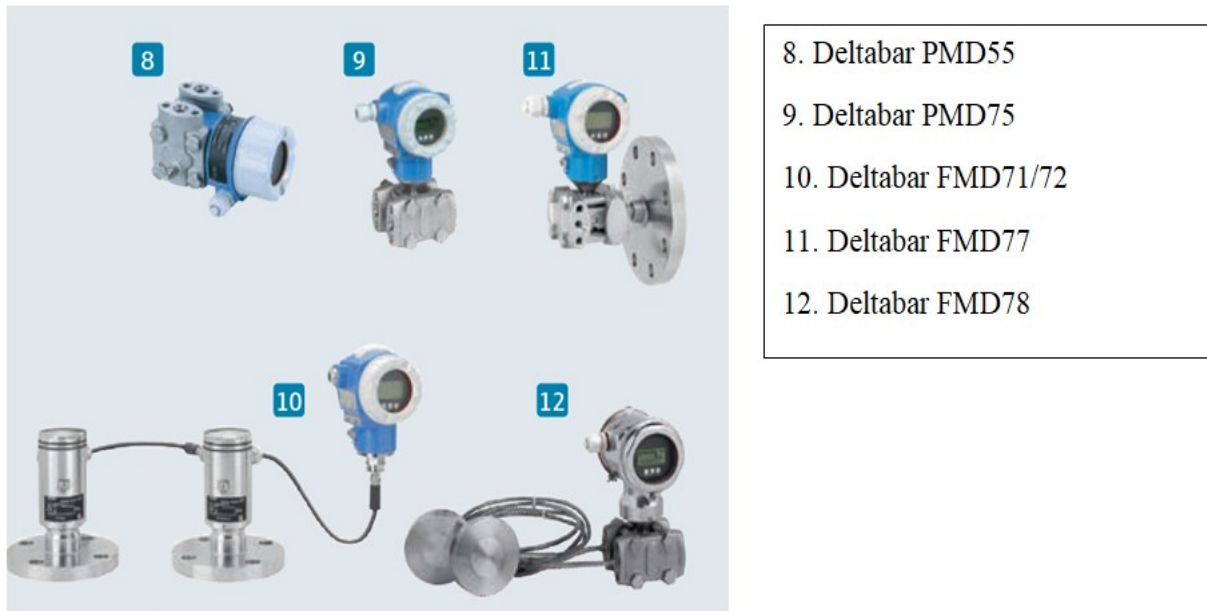
Slika 4.3. Hidrostatski transponder razine NIVOPRESS-D [11]

U sljedećoj tablici se nalaze tehnički podatci i specifikacije hidrostatskog transmitera NIVOPRESS-D u dvije izvedbe, tj. modela (Tablica 4.1.). Pojedini tehnički podatci se mogu razlikovati u odnosu na prikazanu tablicu ovisno o zahtjevima klijenata i narudžbenom kodu.

TIP		NIVOPRESS-D 500	NIVOPRESS-D 600
Mjerni procesi		Nivo, tlak	
Senzor		Piezootporni silikonski senzor sa ravnom dijafragmom od nehrđajućeg čelika	
Sustav		2-žice	
Napajanje		10 ... 36 V DC	
Mjerni raspon		-1 ... 400 bar	
Nadpritisak		0.5 ... 600 bar	
Offset nulte točke		50% mjernog opsega	
Točnost (linearna greška)		$p > 0.4 \text{ bar} \pm 0.25\%$, $p \leq 0.4 \text{ bar} \pm 0.5\%$	
Izlaz	Analogni	4-20 mA	
	Displej	SAP-203 – 6-digit plug-in LCD display	
	Digitalna komunikacija	4-20 mA + HART	
Temperatura okoline		-40 °C ... +70 °C, Sa displejem: -25 °C ... +70 °C	-30 °C ... +70 °C, Sa displejem: -25 °C ... +70 °C
Temperatura medija		-25 °C ... +125 °C	
Materijal uronjivih dijelova	Zaštitna dijafragma	1.4435 (316L) nehrđajući čelik	
	Meh. spoj		
	Brtva	p < 100 bar: Viton; p > 100 bar: NBR;	
Materijal kućišta		Obojani aluminij	Plastika (PBT)
Električna konekcija		2 x NPT ½ zaštitna cijev s unutarnjim navojem i terminalni blok za 0.5 ... 1.5 mm ² presjek kabela	
Električna zaštita		Klass III.	
Mehanička zaštita		IP 65	
Težina		≈ 2 kg	≈ 1.6 kg

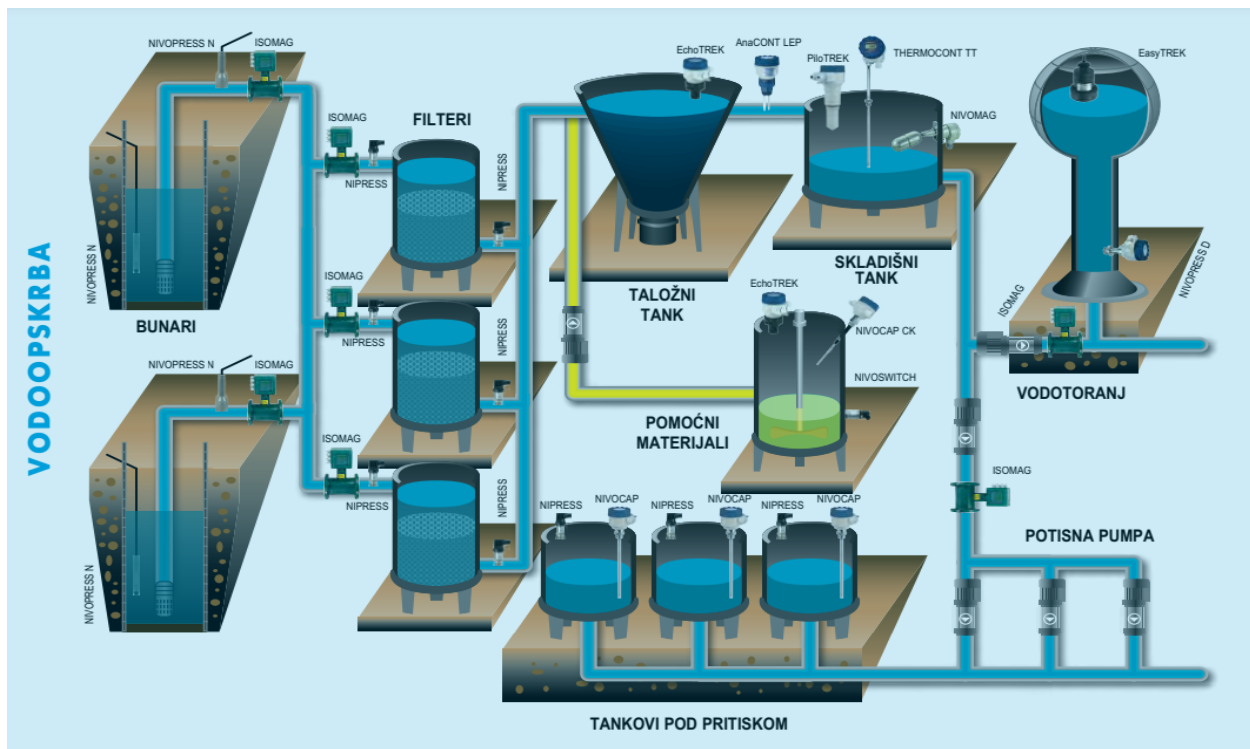
Tablica 4.1. Tehnički podatci uređaja NIVOPRESS-D [11]

Deltabar je jedan od najprimjenjenijih uređaja hidrostatskog mjerenja u zatvorenim spremnicima. Različite izvedbe ovog uređaja imaju različite karakteristike (Slika 4.4.). Raspon temperatura koje podnose ovakvi modeli su od -40°C do 400°C . Tlakovi se kreću od 10 mBar do 420 bara. Ovakvi uređaji su velike točnosti koja se kreće od $\pm 0.05\%$ do 0.2% . Otporni su na prepreke i utjecaj pjena, turbulencija i dielektričnih konstanti te utjecaj temperature okoline. [9]



Slika 4.4. Modeli Deltabar transmitera [9]

Primjenjuju se i drugi mjerni uređaji razine osim hidrostatskih mjerila, kao ultrazvučna mjerila i radarska mjerila. Uređaji za mjerenje tlaka i razine imaju veliku primjenu u raznim granama industrije. Primjena ovakvih uređaja je zastupljena u gotovo svim industrijama, od prehrambene, kemijske, petrokemije, građevinskoj industriji pa i u procesima vodoopskrbe i preradnih voda. U prehrambenim industrijama se mjere razine pića i određenih vrsta hrane u spremnicima, tipa mlijeka i alkoholnih pića. U proizvodnji slada, sirovine za pivo i viski mjeri se tlak u silosima pomoću NIPRESS transmitera i razine pomoću vođenih radara. U procesima vodoopskrbe i prerade otpadnih voda mjeri se razina i tlak tankova tekućine (Slika 4.5.). U naftnim kompanijama mjere razinu nafte spremnika ili spremnicima goriva. Veliku primjenu imaju i u proizvodnji jestivog ulja, pa čak i u konzerviranju hrane.



Slika 4.5. Primjena mjernih uređaja razine u procesima vodoopskrbe [13]

U procesima vodoopskrbe buše se bunari na mjestima bogatim vodom te se u njih spuštaju pumpe koje pumpaju neobrađenu vodu. Kako bi se saznala razina tekućine bunara koristi se potopni transponder NIVOPRESS N pogodan za mjerenje razine i temperatura u dubokim bunarima. Iz bunara vodu pod pritiskom u cjevovodu mjeri se pomoću NIPRESS transpondera. Nakon obrade vode mehaničkim filterima prljavština se odvaja, a razina se ponovno mjeri. Ovaj put kontinuirano pomoću EchoTREK/ PiloTREK uređaja. Distribuciju vode do korisnika se vrši pomoću pumpi, tankova pod pritiskom i vodotornjeva. Razina tekućine vodotornjeva se može mjeriti s vrha pomoću ultrazvučnih transpondera (npr. EasyTREK), ili s dna hidrostatskim transponderom NIVOPRESS D. [13]

4.1. Održavanje i kalibracija

U današnjem modernom svijetu postupno dolazi do digitaliziranja i tehnološkog napretka u svim područjima industrije. Takve tehnološke pomake je potrebno pratiti kako bi se uvelike povećala pouzdanost i sigurnost postrojenja. Javljaju se problemi kod procesa održavanja zbog starih i dotrajalih sustava i nedostatka izloženosti novim tehnologijama. Tipične strategije održavanja izvode se planskom rutinom održavanja tek kada oprema zakaže do mjere da se dovodi pitanje sigurnosti i pouzdanosti sustava. U međuvremenu se proces gasi te tim za održavanje žurno mijenja uređaj ako je dostupan ili na stanju. Instrumentacija postaje pametnija s određenim funkcijama, ali većina postrojenja tu prednost ne iskorištava. Takve funkcije su praćenje stanja i samodijagnostika. Samodijagnostika predstavlja sposobnost instrumenta da sam otkrije kada ima problem s praćenjem parametara. Cilj ovih funkcija je zamijeniti spore i neučinkovite strategije planiranog i reaktivnog održavanja koje zahtijevaju puno vremena te koštaju previše novaca. Moderniji instrumenti uz dostupne dijagnostičke informacije omogućavaju pravovremeno održavanje i izbjegavanje prekomjerno održavanje opreme kojoj to nije potrebno te time povećati pouzdanost i dostupnost postrojenja dijagnostikom i predviđanjem mogućih kvarova prije zaustavljanja procesa.

Kalibriranje instrumenata ovisi od postrojenja do postrojenja. Instrumenti se povremeno moraju kalibrirati radi točnijih i preciznijih očitavanja. Starijom praksom kalibracija se zakazivala svakih šest mjeseci. U tim periodima procesi su se gasili, uređaji skidali s linije i odnosili na kalibriranje, a zatim ponovno instalirali. S jedne strane, instrumenti mogu biti daleko od kalibracije i davati pogrešna očitavanja dok s druge strane postoje uređaji koji su savršeno kalibrirani te bi proces kalibracije bio potpuni gubitak vremena i novca. Upravo samodijagnostikom bi se spriječili ovakvi nepotrebni postupci. [20]

5. ZAKLJUČAK

Mjerenje razine tekućine imaju veliku važnost u industrijskim, ali i drugim primjenama u svakodnevnom životu. Kontrola razine, osim uvida u popunjenost spremnika, služi kao i kontrola od kvarova. Prilikom mjerenja potrebno je prikupiti što više informacija o uvjetima rada, ograničenjima i karakteristikama mjernih procesa kako bi se znatno olakšalo provođenje odabira metoda i uređaja te samog mjerenja procesa. Pravilnim odabirom smanjuju se dodatni troškove održavanja i montaže, a povećava pouzdanost proizvodnih procesa i mogućnost buduće nadogradnje. U današnje vrijeme postoji veliki broj tehnologija i metoda za izradu pretvornika mjerne razine. Kroz ovaj rad objašnjene su one najosnovnije i najprimjenjenije metode koje se koriste. Iako metoda hidrostatskog mjerenja razine tekućina u industrijskim primjenama nije najmodernija i dalje je još u širokoj primjeni zbog svoje jednostavnosti i niskih cijena te dostupnosti uređaja. U Republici Hrvatskoj često su u primjeni uređaji tvrtke Endress+Hauser za hidrostatsko mjerenje razine tekućine jer imaju provjerene uređaje koji su dobro dokumentirani. Kroz godine razvoja i unaprjeđivanja metoda mjerenja razine postaju modernija, dolazi do tehnološkog razvoja u vidu ugradnje predajnika s odgovarajućom elektronikom kako bi se mjerni rezultati prenosili bežičnim putem i imali mogućnost udaljenog kontroliranja. Također, modernijom opremom i instrumentima postoji opcija samodijagnostike kojom je lakše otkloniti kvarove, a time i povećati pouzdanost i sigurnost instrumenata. Na kraju kroz ilustrativne primjere iz raznih industrija koje nas svakodnevno okružuju može se zaključiti da će metoda hidrostatskog mjerenja razine i dalje imati veliku primjenu u budućnosti zbog svoje jednostavnosti i niske cijene.

LITERATURA

- [1] Transactions in measurement and control, Volume IV; Flow & level measurement
- [2] Markić, N.: Sustav za mjerenje i kontrolu razine, Završni rad, Osijek, 2016.
- [3] Bolf, N.: Mjerna i regulacijska tehnika, Mjerenje razine, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta, Zavod za mjerenja i automatsko vođenje procesa, Zagreb
- [4] Boni, R.: Odabir instrumenata za mjerenje razine u procesnoj industriji, Završni rad, Osijek, 2017.
- [5] D. R. Gillum: Industrial Pressure, Level, and Density Measurement, drugo izdanje, 2019.
- [6] Rihtarić D.: Mjerenje protoka i razine kapljevine u zrakoplovstvu, Diplomski rad, Zagreb, 2011.
- [7] Endress + Hauser: Continuous level measurement in liquids and bulk solids
- [8] Instrumentation Tools: Bubbler Level Sensors,
dostupno na: <https://instrumentationtools.com/bubbler-level-sensor/>, 8.8.2022.
- [9] Endress + Hauser: Level Measurement
- [10] Wim van de Kamp: Level Handbook, Endress+Hauser, 25th Edition, Barneveld, 2014.
- [11] Nivelco: NIVOPRESS-D, Hidrostatski transmitter za mjerenje razine,
dostupno na: https://nivelco.com/public/files/documents/cd8f8b6d-d3b7-4349-86bf-68f1844b193e/NIVELCO_NIVOPRESS_D_hr.pdf, 25.5.2022.
- [12] NIVELCO: Pregled proizvoda 2021.,
dostupno na: <https://www.nivelco.com/hr/>, 25.5.2022.
- [13] NIVELCO: Instrumentacija u vodoopskrbi i odvodnji ,
dostupno na: <https://www.nivelco.com/hr/>, 25.5.2022.
- [14] Wikipedija: Hydrostatic pressure, 2022.,
dostupno na: https://en.wikipedia.org/wiki/Level_sensor#Hydrostatic_pressure, 17.4.2022.
- [15] Mjerenja razine, predavanja FER,
dostupno na: https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/Mjerenje-Razine.pdf , 17.4.2022.

- [16] SensorsOne, Hydrostatic Liquid Level Sensors, 2022.,
dostupno na: <https://www.sensorsone.com/hydrostatic-liquid-level-sensors/>, 1.8.2022.
- [17] Zagrel Rittmeyer: Mjerenje razine vode: Moderna rješenja prilagođena zahtjevima korisnika, Zagreb, dostupno na: <https://www.zagrel-rittmeyer.com/EasyEdit/UserFiles/rittmeyer-mjerenje-razine.pdf>, 8.8.2022.
- [18] Wikipedija: Arhimedov zakon,
dostupno na: https://hr.wikipedia.org/wiki/Arhimedov_zakon, 17.4.2022.
- [19] YSI Parameters Series: Water level measurement,
dostupno na: <https://www.ysi.com/parameters/level>, 17.9.2022.
- [20] Endress + Hauser: Modern Instrumentation Simplifies Maintenance

Sažetak

U okviru završnog rada opisan je princip rada hidrostatskog mjerenja razine tekućina u industriji te oblici hidrostatskog mjerenja razine koji mogu biti u različitim uvjetima. Hidrostatsko mjerenje razine može se mjeriti u otvorenim spremnicima, propuhivanjem zraka (Bubbler metodom) te u zatvorenim spremnicima. Objašnjena je podjela na izravne metode, kod kojih se mjerenja odvijaju stalno i neprekidno kako bi se imao potpuni nadzor nad razinom te neizravne metode koje signaliziraju postojanje podešenih stanja razine. Podjelom na ove dvije veće stvari se podjela na veliki broj različitih metoda koje se koriste u određenim uvjetima od kojih je i hidrostatsko mjerenje razine. Odabirom mjerne metode stavka na koju treba obratiti pažnju prilikom mjerenja je i odabir odgovarajućih mjernih uređaja i senzora. Za različite uvjete se koriste različiti senzori zbog faktora koji utječu na ispravnost mjerenja, ali i zaštitu mjernih uređaja od kvarova. Primjena metoda mjerenja razine je rasprostranjena u različitim industrijama što govori da je mjerenje razine od velike važnosti.

Ključne riječi:

Hidrostatsko mjerenje, mjerenje razine, mjerni pretvornici, spremnici, senzori razine

Abstract

Title: Hydrostatic measurement of liquid levels in industrial application

This final paper describes the working principle of hydrostatic level measurement of liquids in industry and the forms of hydrostatic level measurement that can be in different conditions. Hydrostatic level measurement can be measured in open tanks, by blowing air (Bubbler method) and in closed tanks. The division into direct methods, in which measurements take place constantly and continuously in order to have complete control over the level, and indirect methods, which signal the existence of adjusted level conditions, is explained. The division into these two larger ones creates a division into a large number of different methods that are used in certain conditions, one of which is hydrostatic level measurement. By choosing a measurement method, the item that should be paid attention during measurement is the selection of suitable measuring devices and sensors. Different sensors are used for different conditions due to factors that affect the correctness of measurements, but also the protection of measuring devices against failures. The application of level measurement methods is widespread in various industries, which means that level measurement is of great importance.

Keywords:

Hydrostatic measurement, level measurement, level sensors, measuring transducers, tanks

Životopis

Autor ovog završnog rada, Krešimir Jakoubek, je student Sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija. Rođen 30.4.2000. u Požegi. Osnovnu školu završio u Jakšiću te srednju tehničku školu smjer Tehničar za Računalstvo u Požegi. Godine 2019. započinje školovanje na FERIT-u, stručni studij Elektrotehnike, smjer Automatika.

Potpis autora