

Mjerenje neelektričnih veličina

Kvesić, Tin

Undergraduate thesis / Završni rad

2018

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:835164>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-25**

Repository / Repozitorij:

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



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJ

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

Sveučilišni studij

MJERENJE NEELEKTRIČNIH VELIČINA

Završni rad

Tin Kvesić

Osijek, 2018.

Sadržaj

1. UVOD.....	1
1.1. Zadatak rada.....	1
2. OPIS I PRIMJENA METODA ZA MJERENJE NEELEKTRIČNIH VELIČINA.....	2
2.1. Mjerenje temperature.....	2
2.1.1. Mjerne metode zasnovane na radijaciji toplinske energije.....	3
2.1.2. Mjerne metode zasnovane na termoelektričnoj pojavi.....	3
2.1.3. Mjerne metode zasnovane na promjeni električnog otpora.....	5
2.1.4. Mjerne metode zasnovane na promjeni dimenzija.....	7
2.2. Mjerenje tlaka.....	10
2.2.1. Postupak mjerenja tlaka.....	12
2.3. Mjerenje protjecanja tekućine.....	15
2.3.1. Ultrazvučna metoda.....	16
2.3.2. Elektromehanička metoda.....	17
2.3.3. Metoda mjerenja protjecanja pomoću suženja cjevovoda.....	18
2.4. Mjerenje razine tekućine.....	20
2.4.1. Kapacitivna metoda.....	20
2.4.2. Ultrazvučna metoda.....	24
2.5. Mjerenje vlažnosti.....	25
2.5.1. Higrometar.....	25
2.6. Mjerenje toplinske energije.....	27
2.6.1. Kalorimetar.....	27
2.7. Mjerenje udjela produkata izgaranja u dimnom plinu.....	30

2.7.1. Analizator ispušnih plinova.....	30
3. OSNOVE MJERENJA NEELEKTRIČNIH VELIČINA PRETVORBOM U ELEKTRIČNE VELIČINE.....	33
3.1. Pasivni mjerni pretvornici.....	34
3.1.1. Otporni mjerni pretvornici.....	34
3.1.2. Induktivni mjerni pretvornici.....	35
3.1.3. Kondenzatorski mjerni pretvornici.....	35
3.2. Aktivni mjerni pretvornici.....	35
3.2.1. Indukcijski pretvornici.....	35
3.2.2. Termoelektrični pretvornici.....	37
3.2.3. Piezoelektrični pretvornici.....	37
4. ANALOGNO-DIGITALNA PRETVORBA I MJERNI SUSTAV.....	38
4.1. Analogno-digitalna pretvorba.....	38
4.1.1. Podjela pretvarača prema načinu rada.....	39
4.1.2. Senzori.....	39
4.2. Mjerni sustav.....	42
5. ZAKLJUČAK.....	43
LITERATURA.....	44
SAŽETAK.....	47
ABSTRACT.....	47
ŽIVOTOPIS.....	48

1.UVOD

U svakodnevnom životu se susrećemo sa neelektričnim veličinama, nerijetko ih koristimo, mjerimo i potrebni su nam u tijeku dana. U ovom završnome radu ćemo se baviti upravo mjerenjem tih veličina te posebnu pozornost obratiti na temperaturu, tlak, protok i razinu tekućine, vlažnost, toplinsku energiju te udio produkata izgaranja u dimnom plinu. Objasnit ćemo kako se i na koje načine mogu dobiti rezultati određenih mjerenja u industriji, gospodarstvima i slično te koja su prigodnija za određene slučajeve. Tema je jako korisna za studente koji se bave računanjem i koji rade u sličnim postrojenjima jer poznavanjem određenih uređaja i postupaka olakšava sami čin mjerenja te ga čini pouzdanijim i puno točnijim.

1.1. Zadatak rada

Opis i primjena metoda za mjerenje neelektričnih veličina (temperatura, tlak, protok, i razina tekućine, vlažnosti, toplinske energije, udjela produkata izgaranja u dimnom plinu). Interpretacija i analiza rezultata mjerenja. Osnove mjerenja neelektričnih veličina pretvorbom u električne veličine. Analogno-digitalna pretvorba i mjerni sustav.

2. OPIS I PRIMJENA METODA ZA MJERENJE NEELEKTRIČNIH VELIČINA

2.1. Mjerenje temperature

Temperatura (oznaka t , T , θ) je osnovna fizikalna veličina u SI sustavu jedinica a opisuje stupanj ili intenzitet topline koji je prisutan u tvari ili objektu. Toplina je oblik energije u prirodi a temperatura je mjera za određivanje toplinskog stanja nekog objekta. Temperatura nije u mogućnosti prelaziti s tijela na tijelo već to čini toplina. Iako nam se čini da se temperatura može otprilike očitavati vlastitom ljudskom rukom ipak se uvijek iskaže da takva procjena nije mjerodavna za procjenjivanja stanja nekog fizikalnog tijela. Stoga postoje razni načini, uređaji i mjerne jedinice koje olakšavaju posao.

Postoji više temperaturnih skala ili ljestvica. Najvažnije su naravno i najviše korištene Celzijeva relativna ljestvica u $^{\circ}\text{C}$ i Kelvinova apsolutna ljestvica K . Još se koriste i u upotrebi su Fahrenheitova u $^{\circ}\text{F}$, Reaumurova u $^{\circ}\text{Re}$ i Rankinova u $^{\circ}\text{R}$.

Toplina se prenosi s tijela na tijelo na sljedeće načine:

1. Vođenjem ili kondukcijom
2. Strujanjem ili konvekcijom u fluidima
3. Zračenjem, isijavanjem ili radijacijom u obliku elektromagnetskih valova

2.1.1. Mjerne metode zasnovane na radijaciji toplinske energije

Crno tijelo je idealizirano fizičko tijelo koje potpuno upija ili apsorbira svako elektromagnetsko zračenje na koje utječe. Temeljeno na saznanjima o mogućnostima crnog tijela razvijeni su mjerni uređaji za očitavanja vrlo visokih temperatura. Uređaji se zovu pirometri i koriste se pretežno za pečenje keramike ili u pećima za taljenje materijala. Ovisno o temperaturi tijela koje zrači mijenjat će se spektar elektromagnetskog zračenja. Pirometar omogućuje beskontaktno mjerenje temperature objekata u gibanju ili bilo koje površine koje se ne mogu dosegnuti niti dotaknuti te tijela koja imaju vrlo visoku temperaturu dovoljnu da uništi temperaturne senzore i poremeti očitavanja. Pirometri imaju više izvedbi:

1. Optički (svjetlosni) pirometri – rade na osnovi Planckovog zakona. Postoje monokromatski i dvobojni optički pirometar a sastoje se od žarne niti, dvije konveksne leće i filtra crvene boje te za dvobojni i filtra još jedne boje najčešće plave. Optički pirometar ima prednost u odnosu na monokromatski iz razloga jer nepouzdana vrijednost monokromatskog faktora emisije ϵ dovodi do krivo izmjerenih rezultata
2. Radijacijski pirometri – rade na osnovi Stefan-Boltzmannovog zakona. Mjerenje se određuje na temelju ukupnog iznosa elektromagnetskog zračenja. Također rezultat mnogo ovisi o faktoru emisije ϵ kao i kod optičkog pirometra no prednost radijacijskog je u tome što može mjeriti temperature i ispod 0 °C. Najčešće se koriste u pećnicama, procesnim trakama te sličnim uslugama kod kojih je potrebno izmjeriti temperaturu gibajućih tijela.

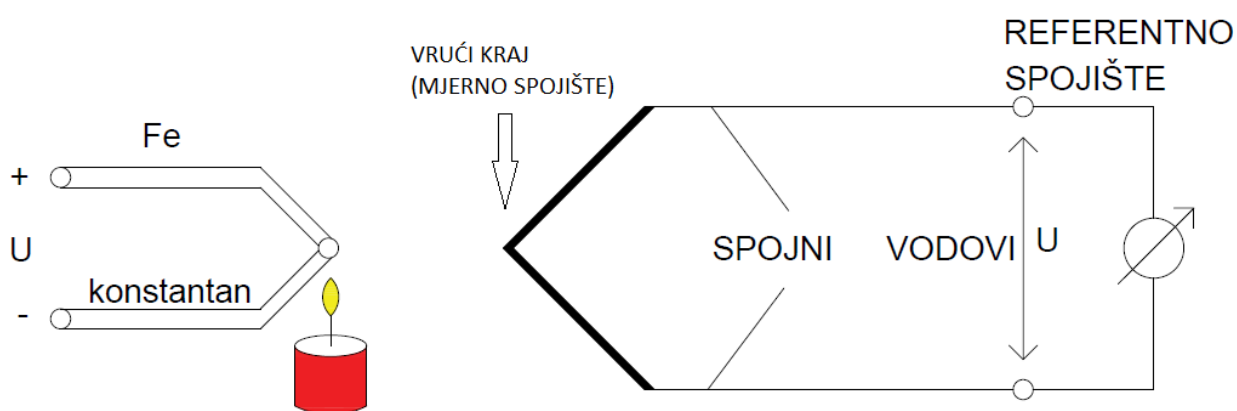
Obje metode se koriste i u znanstvene i u industrijske svrhe.

2.1.2. Mjerne metode zasnovane na termoelektričnoj pojavi

Seebeckov efekt je efekt pri kojem se pojavljuje električni napon u električnom strujnom krugu sastavljenom od dvaju različitih vodiča kada su im materijali vodiča na različitim temperaturama. Na temelju spomenutog svojstva Seebeckovog efekta nastao je uređaj zvan termopar. Termopar ili termoelement omogućava izravno pretvaranje razlike temperatura u električnu struju dakle neposredno pretvara toplinsku energiju u električnu i najčešće je upotrebljavani temperaturni senzor.

Kako bi dobili pojavu termonapona koriste se 2 različita materijala najčešće obične metalne slitine. Mjerno spojište jedan je kraj koji treba biti čvrsto spojen a drugi kraj vodova je referentno spojište gdje se mjeri napon. Ako se to spojno mjesto zagrijava na određenu temperaturu onda se pojavljuje napon između drugih, slobodnih krajeva žice. Napon je karakterističan za određene vodiče i mijenja se s promjenom temperature, nadalje, mjerenjem spomenutog napona se također može saznati točan iznos temperature spojnog mjesta. Ako je potreban veći napon, termočlanci se spajaju serijski u baterije.

Termoparovi imaju vrlo visoku točnost za određene mjerne opsege a njegove izvedbe su unaprijed određene normama.



Sl. 2.1. Načelni prikaz rada termopara [3]

Tab. 2.1. Tablica primjera termoparova i njihovih svojstava

oznaka	Legura +	Legura -	Mjerni opseg °C
E	kromel	konstantan	-200 do 1000
J	željezo	konstantan	-200 do 1200
K	kromel	Ni + Al	-270 do 1250
R	Pt + 13% Rh	Pt	-50 do 1400
S	Pt + 10% Rh	Pt	-50 do 1700
T	bakar	konstantan	-270 do 400

Napomena: kromel je legura nikla i kroma, konstantan je legura bakra, nikla i mangana
(55 % Cu, 44 % Ni, 1 % Mn)

Kada se dovodi u pitanje cijena termoparova, najjeftiniji je željezo-konstantan koji se upotrebljava u rasponu temperatura od $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ što je jako širok raspon temperatura za mjerenje s obzirom na cijenu. U praksi se često koriste i primjenjuju korekcijski mjerni mostovi zbog kompenziranja promjene temperature referentnog spojišta u situacijama kada je referentno spojište u termostatu ili kada se mijenja temperatura okoline. Ostali važni žičani termoparovi su Pt10Rh-Pt koji označava slitinu sastavljenu od 90 % platine i 10 % rodija. Sljedeći važni su bakar-konstantan, kromel-alumel, nikrom-nikal i volfram tantal za ekstremne temperature koje dosežu granicu od $2600\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Sl.2.2. Izvedba termopara [6]

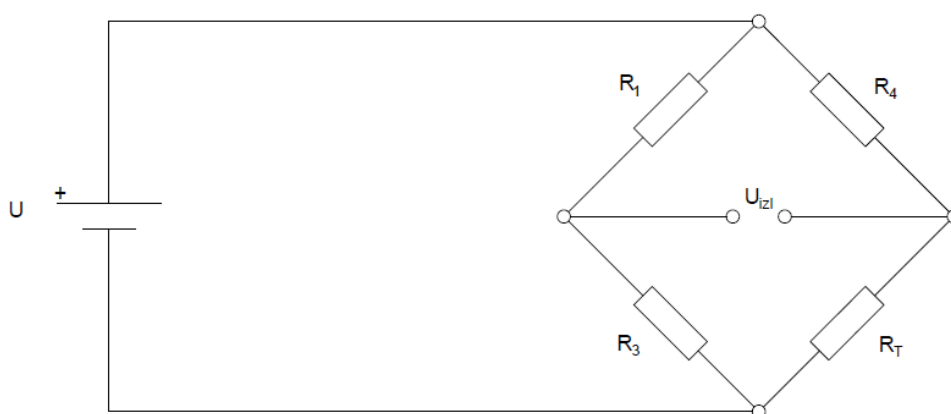
Unatoč visokoj točnosti, termostati imaju malu vremensku konstantu što znači da jako brzo reagiraju na promjenu temperatura.

2.1.3. Mjerne metode zasnovane na promjeni električnog otpora

Temperatura se može mjeriti na razne načine pa je sljedeće na redu mjerenje pomoću temperaturno ovisnog otpora preko kojeg se može saznati njezin iznos. Otpornički pretvarači posjeduju mjerno osjetilo koje mijenja iznos električnog otpora s promjenom temperature a mogu biti poluvodički ili metalni. Materijali koji se koriste za metalne žičane otpornike su bakar, volfram, platina i nikal. Slojne izvedbe nastaju naporivanjem metala na keramiku dok su metalne izvedbe otpornije na temperaturu i stoga imaju veliki mjerni opseg od $-265\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1100\text{ }^{\circ}\text{C}$, naravno ovisno o vrsti materijala.



Sl. 2.3. Primjer temperaturno promjenjivih otpornika [7]



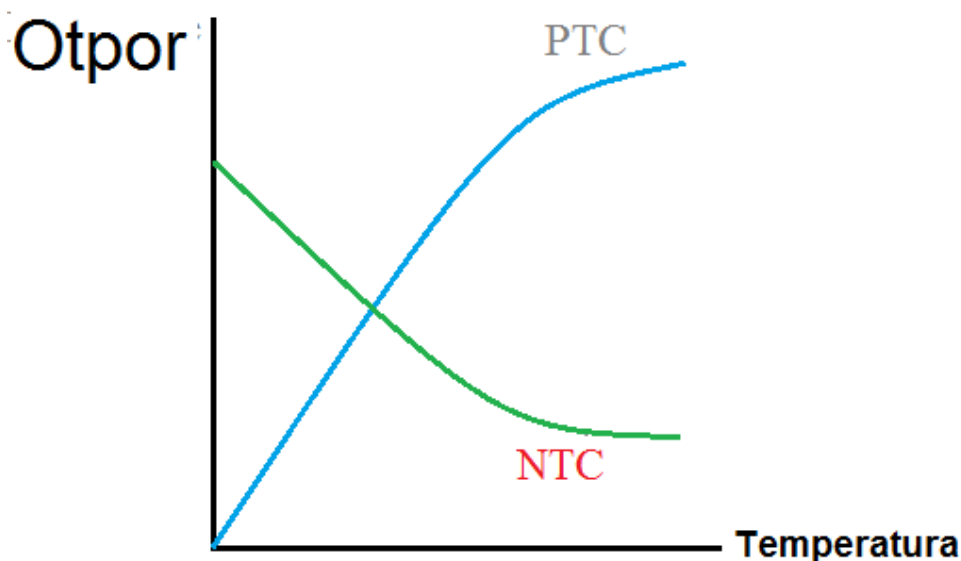
Sl. 2.4. Načelo mjerenja temperature po promjeni električnog otpora

Postoje i poluvodičke izvedbe te su one nelinearni otpornici. Podijeljeni su na termistore (NTC) koji označavaju negativni temperaturni koeficijent električnog otpora i pozistore (PTC) za pozitivni temperaturni koeficijent električnog otpora. Kako se temperatura povećava otpor NTC-a ili termistora opada a otpor PTC-a ili pozistora raste. PTC-i se nerijetko mogu pronaći u televizorima gdje u spoju rade na zaustavljanju kratkotrajnog strujnog udara dok je televizor uključen dok se NTC-i češće nalaze u temperaturnim detektorima i senzorima te mjernim instrumentima. Postoji i formula za temperaturni koeficijent električnog otpora a glasi:

$$R(T) = R_0 \cdot [1 + \alpha \cdot (T - T_0)] \quad (2-1)$$

gdje je:

- α – temperaturni koeficijent električnog otpora
- T_0 – početna temperatura (najčešće se uzima oko 20 °C)
- R_0 – električni otpor pri temperaturi T_0 .



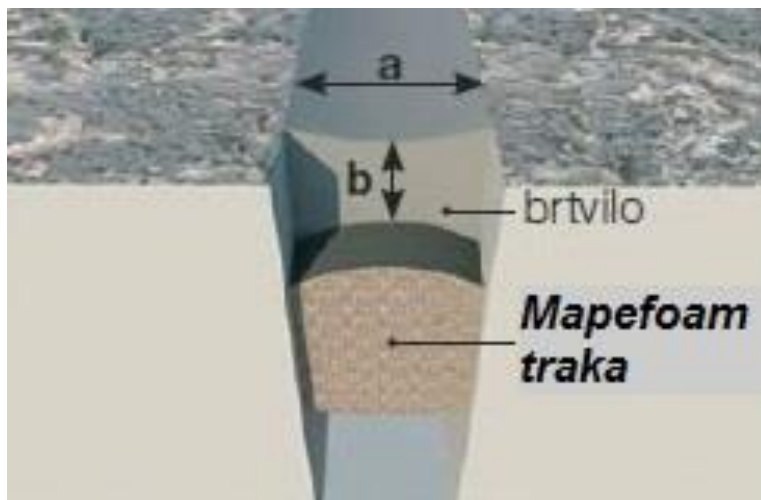
Sl. 2.5. Porast električnog otpora PTC-a odnosno opadanje električnog otpora NTC-a s porastom temperature [8]

Iako je mjerno područje NTC-a manje nego za metale, ima veliku točnost i malu vremensku konstantu koja potvrđuje dobru dinamiku pretvarača. Postoje i mikro izvedbe do 0,1 mm a za mjerenje najnižih temperatura od -272,15 °C do -253,15 °C primjenjuju se mjerni članovi od ugljika.

2.1.4. Mjerne metode zasnovane na promjeni dimenzija

Veličina i dimenzije tijela, ako se gleda u detalje, uvelike ovise o temperaturi iste. Određeni materijali promjenom temperature mijenjaju i dimenzije više ili manje ovisno o svojim karakteristikama. Volumen i duljina za štapove i žice ovise o temperaturi i njenoj promjeni. Ovisnost dimenzija tijela o temperaturi ispituju se za svaki pojedini materijal te su podaci

zapisani u tablicama. Promjena dimenzija se naziva dilatacija a u praksi se koristi promjena dimenzija metala, tekućina i plinova.



Sl. 2.6. Primjer dilatacije [9]

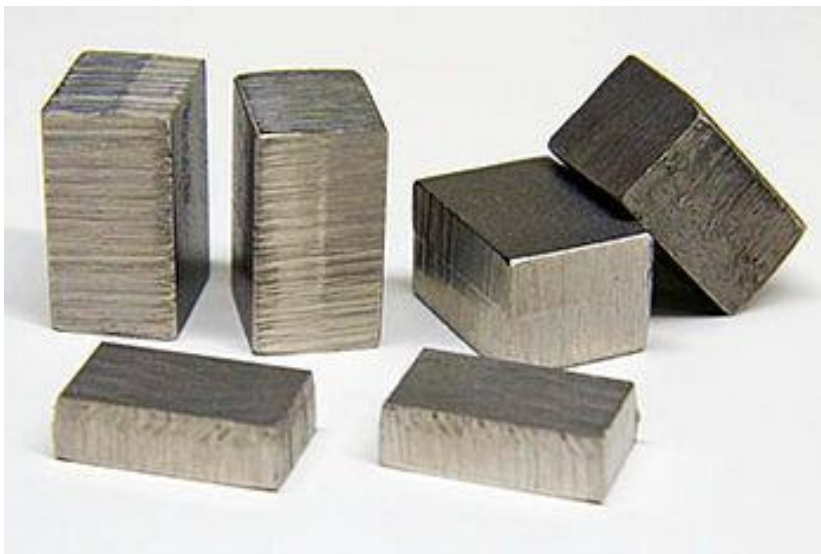
Tab. 2.2. Dilatacija u brojkama na primjeru Sl. 2.6. [9]

a – širina dilatacije	b – dubina dilatacije
0 – 4 mm	izvesti širu dilataciju
5 – 9 mm	$b = a$
10 – 20 mm	$b = 10 \text{ mm}$
21 – 40 mm	$b = a/2 \text{ mm}$
više od 40 mm	izvesti užu dilataciju

Na slici 2.6. i tablici 2.2. se može vidjeti primjer izračuna i plana dilatacije na balkonima. Slični se izračuni vode kada su u pitanju promjena dimenzija na mostovima kao što je primjer u mom rodnom Osijeku Dravski most, gdje se mora uzimati u obzir širenje dimenzija tijekom toplih ljeta kao i skupljanje tijekom hladnih zima.

Vrlo čest slučaj za jednostavnije primjene jest termobimetal zvani još bimetalni mjerni član. To je dilatacijsko mjereno osjetilo koje se sastoji od dviju vrpce od različitih metalnih slitina, najčešće bude INVAR. INVAR je legura čelika s niklom, ima nizak koeficijent toplinskog istezanja i najpoznatiji je po svojstvu od kojeg je dobio i ime (engl. *invariable* = nepromjenjiv) a to je da se neznatno širi ili skuplja pri promjenama temperature. Najbitnije je da materijali budu s različitim

koeficijentom toplinskog rastezanja. Oni su čvrsto spojeni te im je jedan kraj učvršćen a drugi se može slobodno pomicati. Naposljetku pomak ovisi o temperaturi.



Sl. 2.7. Uzorci legure INVAR [10]

Radi dobivanja većeg zakreta umjesto linearne trake mogu se koristiti i spiralne i helikoidalne izvedbe. Njihov mjerni opseg se nalazi između $-185\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ a mjerna pogreška oko $\pm 1\text{ }%$. Oni su prirodniji za jednostavniju regulaciju temperature kao što je primjer u hladnjacima ili u stanu.

2.2. Mjerenje tlaka

Tlak (oznaka p) je fizikalna veličina koja predstavlja silu F primjenjivanu okomito na jedinicu površine A na koju se ta sila distribuira. Mjerna jedinica je paskal (Pa) a u nekim izračunima N/m^2 i bar ($1\text{bar} = 100\,000\text{ Pa}$). Tlak ili pritisak kako se nerijetko izgovara, je često spomenuta veličina i ljudi se susreću s njom u svakodnevnom životu. Najšira podjela je ona između tlaka plina i tlaka kod tekućina. Tlak plina prouzrokovan je udarcima molekula plina na površine stijenke nekakve posude koja zadržava plin u određenom vremenu. Sve to povezuje plinski zakon koji glasi:

$$pV = nRT \quad (2-2)$$

gdje je:

- p – apsolutni tlak plina (Pa)
- V – obujam plina (m^3)
- n – broj molova plina
- R – univerzalna plinska konstanta ($8,314\text{ J/Kmol}$)
- T – apsolutna temperatura (K).

Prema izrazu (2-2) zaključuje se kako je tlak proporcionalno veći što je temperatura T viša a volumen V manji.

Poznati su još atmosferski tlak te parcijalni tlak.

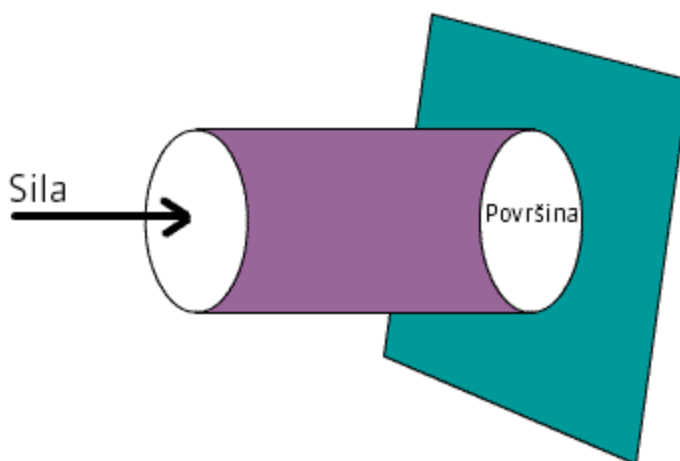
Tlak kod tekućina će se pojaviti u određenim situacijama s pomoću gravitacije, inercijalnih sila ili prilikom gibanja odnosno strujanja tekućine. Najzastupljeniji je hidrostatski tlak odnosno tlak mirnog fluida uzrokovanog samom njegovom težinom a njegova formula glasi:

$$p = \rho gh \quad (2-3)$$

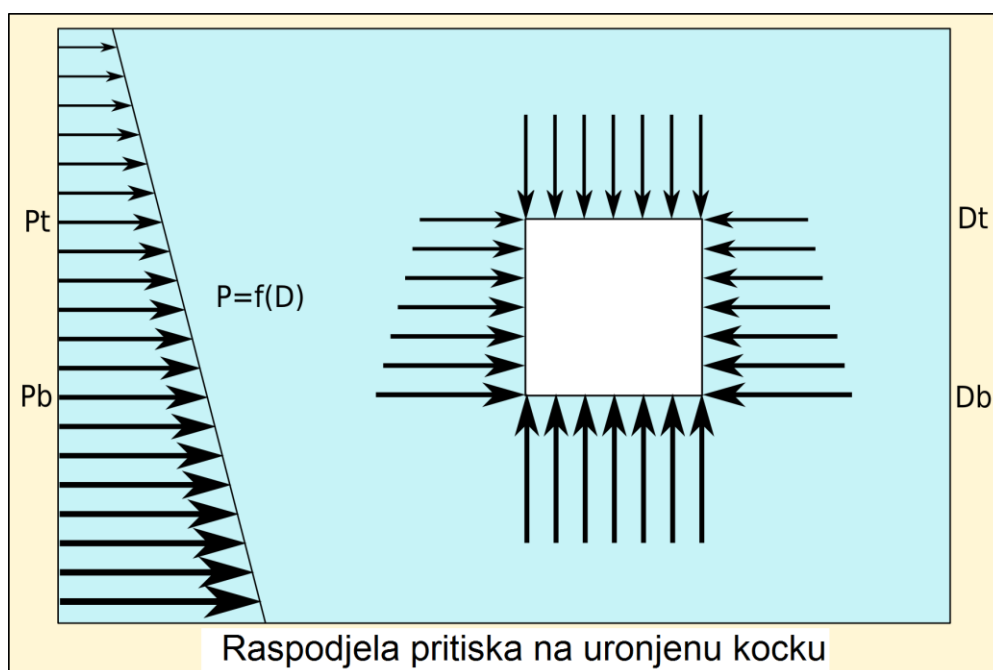
gdje je:

- ρ – gustoća fluida
- g – ubrzanje gravitacijske sile
- h – dubina na kojoj se mjeri.

U tlaku kod tekućina potrebno je spomenuti još i hidraulički, hidrodinamički, kohezijski te i krvni tlak koji može očitati hipertenziju ili hipotenziju koji upućuje na ubrzan rad srca ili neki drugi poremećaj u tijelu koji treba odmah prijaviti liječniku.



Sl. 2.8. Prikaz djelovanja tlaka na površinu [11]



Sl. 2.9. Hidrostatički tlak, prikaz i sile uzgona koji nastaje na donjem dijelu kocke zbog razlike tlaka [12]



Sl. 2.10. Krvni tlak [13]

Tab. 2.3. Stupnjevi krvnog tlaka [14]

KRVNI TLAK	SISTOLIČKI TLAK (mm Hg)	DIJASTOLIČKI TLAK (mm Hg)
OPTIMALAN	< 120	< 80
NORMALAN	120 - 129	80 - 84
GRANIČNO NORMALAN	130 - 139	85 - 89
I.STUPANJ HIPERTENZIJE	140 - 159	90 - 99
II. STUPANJ HIPERTENZIJE	160 - 179	100 - 109
III. STUPANJ HIPERTENZIJE	> 180	> 110

2.2.1. Postupak mjerenja tlaka

Tlak mjeren u odnosu na vakuum odnosno prazan prostor je apsolutni tlak, a relativni tlak je tlak izmjeren s obzirom na standardni atmosferski tlak i tako razlikujemo nadtlak i podtlak. Nadtlak ili pretlak je razlika ukupnoga tlaka nekoga plina i atmosferskog tlaka dok je podtlak vrijednost za koliko je tlak u posudi manji od atmosferskog tlaka. Analogno tome apsolutni tlak ima vrijednost zbroja pretlaka i atmosferskog tlaka ili razlike atmosferskog tlaka i podtlaka.

Tlakovi se mjere od 0,1 Pa pa sve do 10^8 Pa. Standardom se podrazumijeva da je vakuum tlak ispod 133 Pa, a visoki vakuum tlak ispod 0,1 Pa. Mjerni pretvarači vakuuma su specifični instrumenti i nazivamo ih vakuummetrom. Najpoznatiji vakuummetar za mjerenje vrlo niskih iznosa tlakova je U-cijev. U-cijev je jednostavan instrument oblika slova U i napunjen je živom a

razlikuje se od klasičnog hidrauličnog manometra po tome što je otvoreni kraj cijevi umjesto atmosferskom tlaku izložen tlaku u posudi – u kojoj se određuje vakuum.



Sl. 2.11. U-cijev [15]

Mjerenje tlaka se općenito svodi na mjerenje sile.

U stvarnosti postoji mnogo instrumenata koji mjere tlak putem mjerenja sile, pomaka i uravnoteženja tlakova. Najpoznatiji od svih i sinonim za mjerenje tlaka je manometar. Manometar je mjerni instrument namijenjen za mjerenje tlaka u sva 3 agregacijska stanja (tekuće, kruto, plinovito). Pod manometar se svrstavaju i spomenuti vakuummetar, barometar itd.

Manometre možemo svrstati u 3 skupine a to su hidraulični, mehanički i električni. Hidraulični su najstabilniji i najtočniji, najčešće U-cijevi ispunjene tekućinama a mjerenje se izvodi dovođenjem različitih tlakova na otvore cijevi. Tekućina se pomjera u smjeru manjeg tlaka sve dok se ne dosegne određena razina tekućine koja će uspostaviti ravnotežu sila. Mehanički su prikladniji pri primjeni a djeluju na temelju ovisnosti elastične deformacije izvedenih senzora i tlaka. Primjenjuju se u industrijskim krugovima. Električni su specifični i ne koriste se u uobičajenim mjerenjima već samo za ekstremno niske ili visoke tlakove.



Sl. 2.12. Manometar [16]

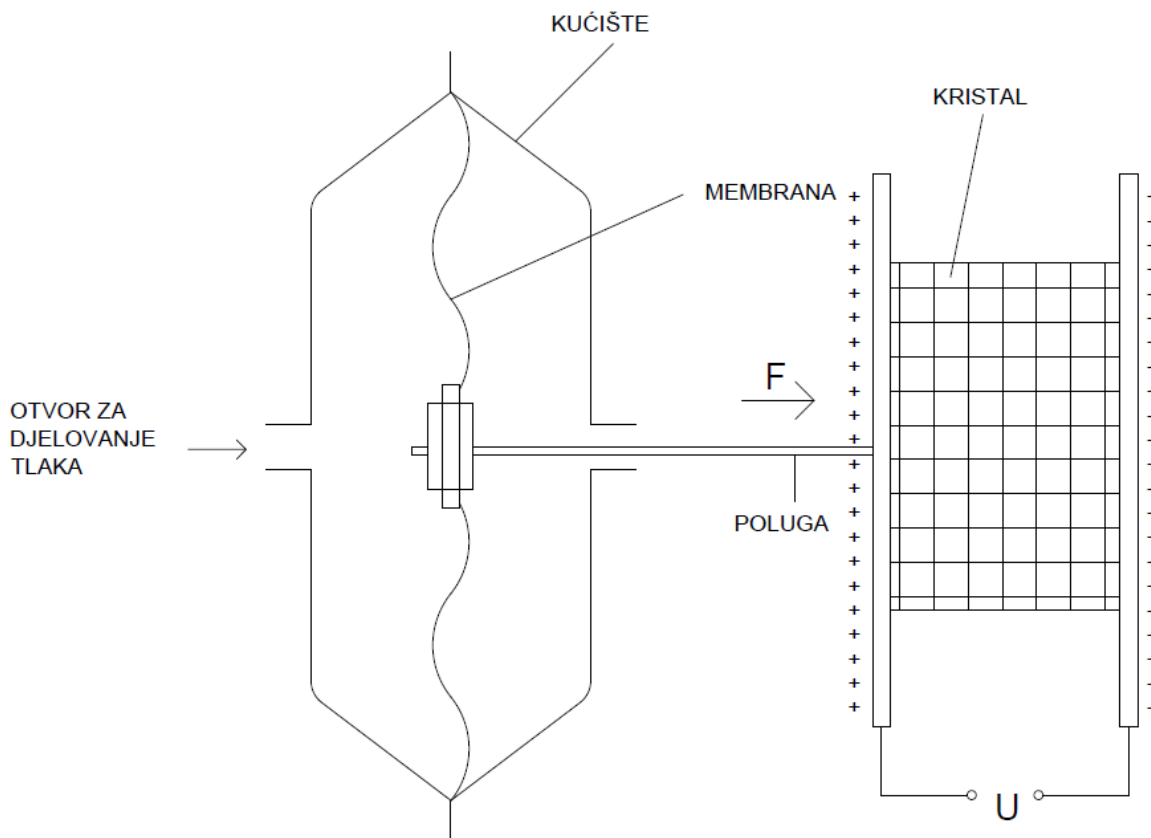
Manometar također može biti otvoreni, zatvoreni i metalni. Najviše se upotrebljavaju metalni, dok su zatvoreni namijenjeni za mjerenje većih tlakova. Za manje tlakove manometar se puni vodom a za veće tlakove puni se živom.

Potrebno je spomenuti i piezometar koji služi za mjerenje tlaka tekućina na određenome mjestu u stupcu. Može biti cijev, vibrirajuća žica ili pak manometar.

Upotrebljavane su i membrane i mjehovi uz otporne, kapacitivne, piezoelektrične i induktivne pretvarače.

Redovito je primijenjena kapsula s membranom koja se pomiče zbog promjene tlaka. Napon nastaje zbog sile prouzrokovane pomakom membrane koja utječe na piezoelektrični kristal. Mjerenjem napona indirektno se mjeri i tlak a iz razloga što kristal može izdržati ogromna opterećenja, možemo mjeriti i visoke tlakove. Postoji mogućnost da se u blok benzinskog motora ugradi kristal u obliku svjećice te se tako onda mogu bilježiti promjene tlaka za vrijeme četverotaktnog perioda. Na taj način se obavlja mjerenje tlakova u pneumatici, hidraulici, u topovskim cijevima, pri nadzvučnim brzinama i eksplozijama. Kapacitivna metoda mjerenja tlaka je ako pomična poluga djeluje na pomične ploče kondenzatora umjesto na kvarc. Nadalje, u otpornoj metodi poluga pomiče kliznik potencijometra dok u induktivnoj metodi poluga pomiče željeznu jezgru. Za mjerenje sile upotrebljavaju se poluvodiči kao silicij (Si) i germanij (Ge)

(otporna metoda – koriste se tenzootpornici) jer su osjetljivi na naprezanje duž jedne osi. Za mjerenje hidrauličkog tlaka u tekućinama primjenjuju se poluvodiči koji su osjetljivi na volumno naprezanje – galij antimonid (GaSb).

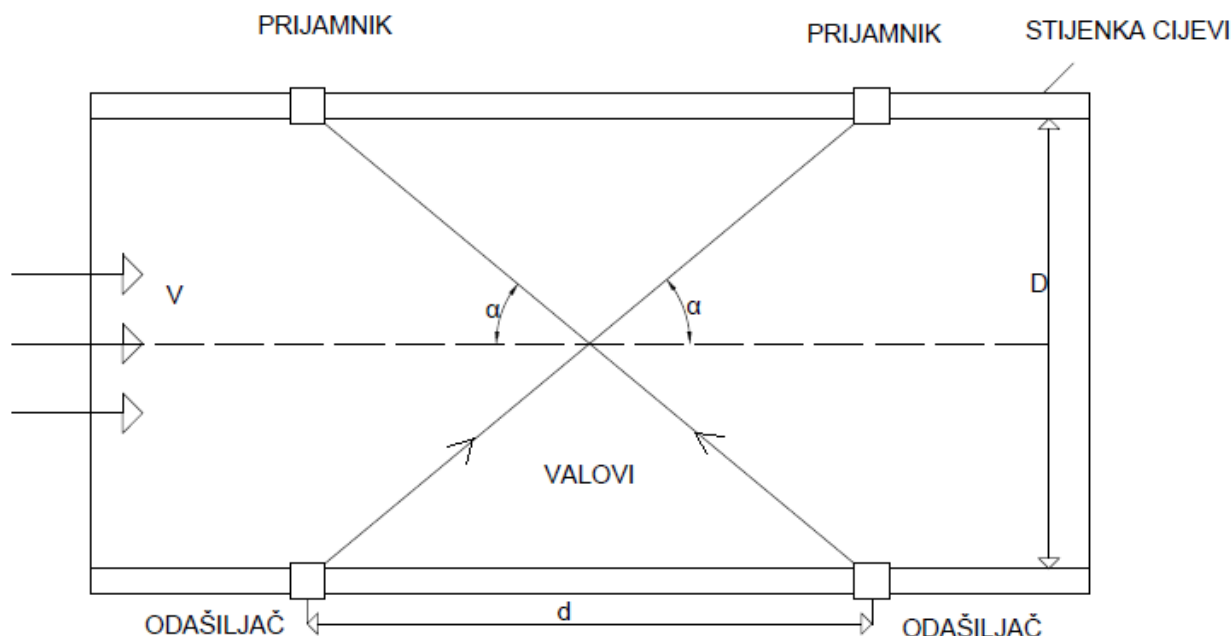


Sl. 2.13. Načelni prikaz piezoelektričnog pretvarača za mjerenje tlaka [3]

2.3. Mjerenje protjecanja tekućine

Protok je osnovna fizikalna veličina u industrijskom pogonu jer uvelike određuje produktivnost proizvodnje. Mjerenje protoka je vrlo važan dio svakog proizvodnog procesa. To je vrlo opsežno područje rada i široko je zastupljeno u tehničkoj praksi u rafinerijama, plinovodima, vodovodima, elektranama, naftovodima, toplanama, kemijskoj industriji, rudarstvu, vozilima i mnogim drugim postrojenjima. Provodi se mjerenje masenog protoka s jedinicama kg/h, kg/min, kg/s te volumnog protoka s jedinicama m³/h, m³/min i m³/s. Radi složenijeg načina mjerenja podložniji je pogreškama i stoga su razvijeni mnogi mjerni postupci ovisno po potrebi i industriji. Stoga se izdvajaju 3 važnije izvedbe mjerenja protjecanja koje će se pobliže objasniti.

2.3.1. Ultrazvučna metoda



Sl. 2.14. Prikaz rada ultrazvučnog mjernog pretvarača protoka [3]

Poznato je da je ultrazvuk, po čemu je spomenuta metoda nazvana, zvučni val koji je frekvencijom iznad gornje granice osjetljivosti ljudskog uha. Dakle tu su 2 para predajnika (odašiljača) i prijamnika. Promjer cijevi D , razmak d i brzina emitiranog mehaničkog ultrazvučnog vala c su poznati pa je jedina nepoznanica brzina fluida v .

Na slici 2.14. se može primijetiti kako će doći do promjene frekvencija valova to jest Dopplerovog efekta: brzina valova u suprotnom smjeru gibanja je manja od brzine onoga u smjeru gibanja fluida. Mjeri se vrijeme koliko je potrebno za valove da prođu kroz cijev i njihova razlika daje brzinu protjecanja. Kašnjenje je u obliku faznog pomaka ako se radi o sinusoidalnim valovima. U modernoj elektronici uređaj za mjerenje vremena je malen i jeftin a smatra se i najtočnijom vrstom mjerenja. Završno s mjerenjem, podaci se ubacuju u računalo koji preračunava podatke i daje konačni prikaz brzine ili u ponekim slučajevima podatke prosljeđuje u nadređeno računalo. Zbog kosog kretanja valova u odnosu na gibanje fluida u obzir se mora uzeti samo vodoravna komponenta vala.

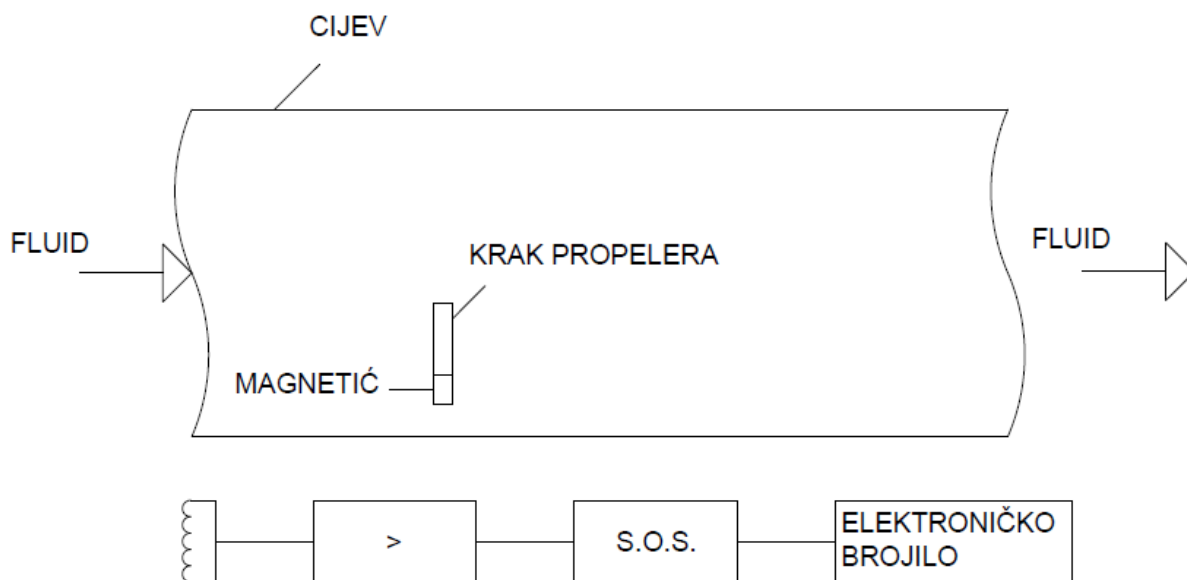
Osobine ultrazvučne metode su jako dobre: visoka točnost, brzi odziv, nema ometanja protjecanja, linearnost, možemo mjeriti protok za različite vrste fluida itd. Pomoću spomenutih

ultrazvučnih pretvarača može se mjeriti protjecanje u širokom spektru područja kao što su naftovodi ali i u općoj medicini za protok krvi u žilama.

2.3.2. Elektromehanička metoda

Cilj ove metode je dobiti rezultate u električnom obliku. Sadržaj i postupak metode je sljedeći: propeler se stavi u cjevovod, a na vrhuncu njegovog kraka je postavljen magnet; odmah uz rub stijenke cjevovoda je smještena zavojnica unutar koje se inducira impuls svaki put kada magnet prođe kraj njega zahvaljujući elektromagnetskoj indukciji. Dobiveni naponski impuls se pojačava te se očitava u S.O.S-u – Schmittovom okidnom sklopu. Na kraju je elektroničko brojilo zaduženo za brojanje rezultatnih impulsa čiji je iznos proporcionalan brzini vrtnje propelera dok ista brzina određuje traženi volumni protok.

Moguća je, a i češća izrada u kojoj se koristi turbina umjesto propelera u cijevi. Ključ je u zakretanju lopatica turbine na čijim su krajevima magneti, koje su pokrenute zbog gibanja fluida.



Sl. 2.15. Prikaz rada mjerenja protoka s propelerom [3]



Sl. 2.16. Primjer modernog turbinskog plinomjera [17]

Osim elektromagnetskog prijenosa postoji i mehanički prijenos. Mjerenje protoka se svodi na mjerenje brzine vrtnje koja je već određena tako što je postavljena osovinu koja prenosi vrtnju izvan cjevovoda okomito na osovinu turbine.

2.3.3. Metoda mjerenja protjecanja pomoću suženja cjevovoda

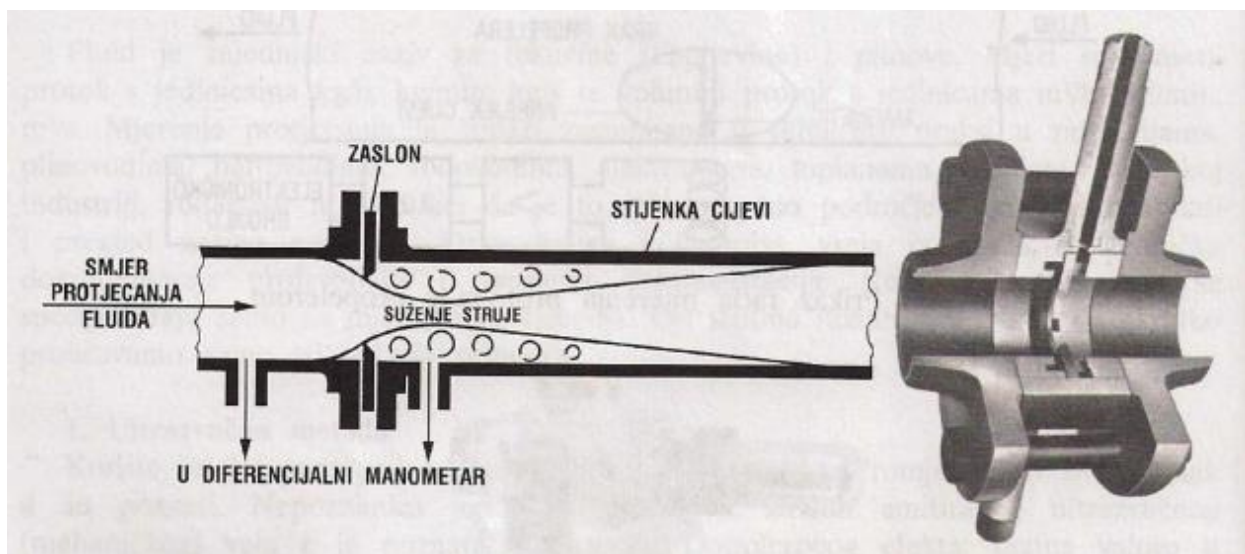
Ova metoda mjerenje protjecanja svodi na mjerenje tlaka. Dok fluid protječe kroz suženi dio, nastaje pad tlaka ovisan o protoku. Svrha metode je da je zbroj statičkog i dinamičkog tlaka konstantan po Bernoullijevoj jednažbi:

$$0.5 \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot h + p = \text{const.} \quad (2-4)$$

gdje je:

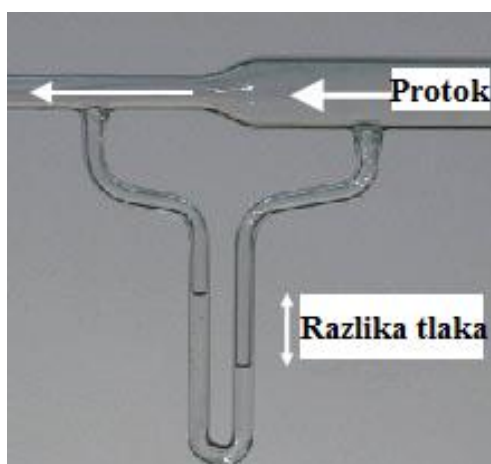
- p – tlak fluida
- ρ – gustoća fluida
- v – brzina fluida
- h – visina težišta poprečnog presjeka fluida u odnosu na neku vodoravnu ravninu.

Mjeri se razlika tlakova, jer kako se cijev sužava tako mora i brzina fluida rasti a s njom i dinamički tlak, dok se statički tlak snižava. Nedostatak je ometanje protjecanja fluida i dosta složena formula za računanje protoka.



Sl. 2.17. Načelni prikaz rada i presjek mjerne prigušnice [3]

Metoda je vrlo raširena u praksi te postoje mnoge izvedbe od kojih se još primjenjuju Venturijeva cijev, Dallova cijev i mlaznica. Kod mjernih prigušnica dolazi do pada tlaka i do 50 % te u slučaju kada taj broj postane neprihvatljiv onda se koriste Venturijeve i Dallove cijevi.



Sl. 2.18. Prikaz Venturijeve cijevi [18]

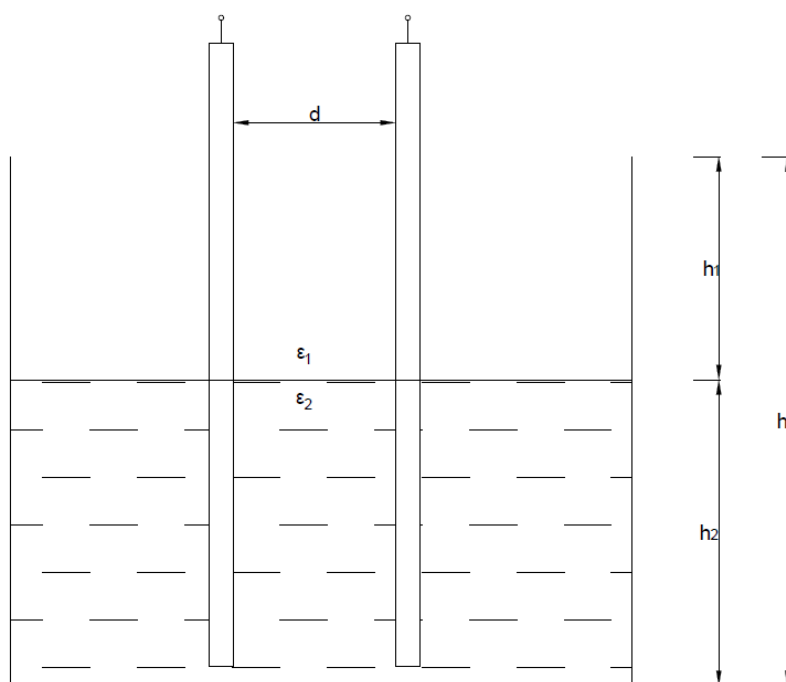
2.4. Mjerenje razine tekućine

Mjerenje razine tekućine se često primjenjuje u praksi što dovoljno pokazuje kako je ova tema široko zastupljena u društvu. Ovisno o situaciji gleda se podatak razine ili volumena tekućine. U praksi je najpoznatije mjerenje razine goriva u spremnicima ili rezervoarima vozila a slično se mjeri i u termoelektranama, rafinerijama, vodospremniciima itd. Razvijanjem tehnologija i unaprjeđivanjem znanosti o fizici dovelo je do oblikovanja velikog broja različitih postupaka mjerenja razina fluida i pretvaranje iste informacije u električni signal.

Popularne metode su: piezoelektrična, radioaktivna, optička, pomoću mehaničkog plovka, ultrazvučna, kapacitivna, otporna i induktivna metoda.

Uz mjerenje uvijek se vodi i mjera opreza te se tako prije početka procesa provjerava je li spremnik zatvoren ili otvoren, pod tlakom i je li tekućina u spremniku eksplozivna, zapaljiva, električki vodljiva ili pak korozivna. Najzastupljenije je mjerenje volumena i razine vode i nafte a svrha je izmjeriti bez pokretnih dijelova i dodira uz što veću točnost.

2.4.1. Kapacitivna metoda



Sl. 2.19. Prikaz kapacitivnog načina mjerenja razine tekućine [3]

Imamo 2 elektrode, između kojih se nalaze 2 dielektrika: tekućina i zrak, a mjeri se razina tekućine. 2 elektrode su potopljene u fluid u posudi a izrazi za kapacitete su sljedeći:

$$C_1 = \varepsilon_1 \cdot \frac{S_1}{d} \quad C_2 = \varepsilon_2 \cdot \frac{S_2}{d} \quad (2-5)$$

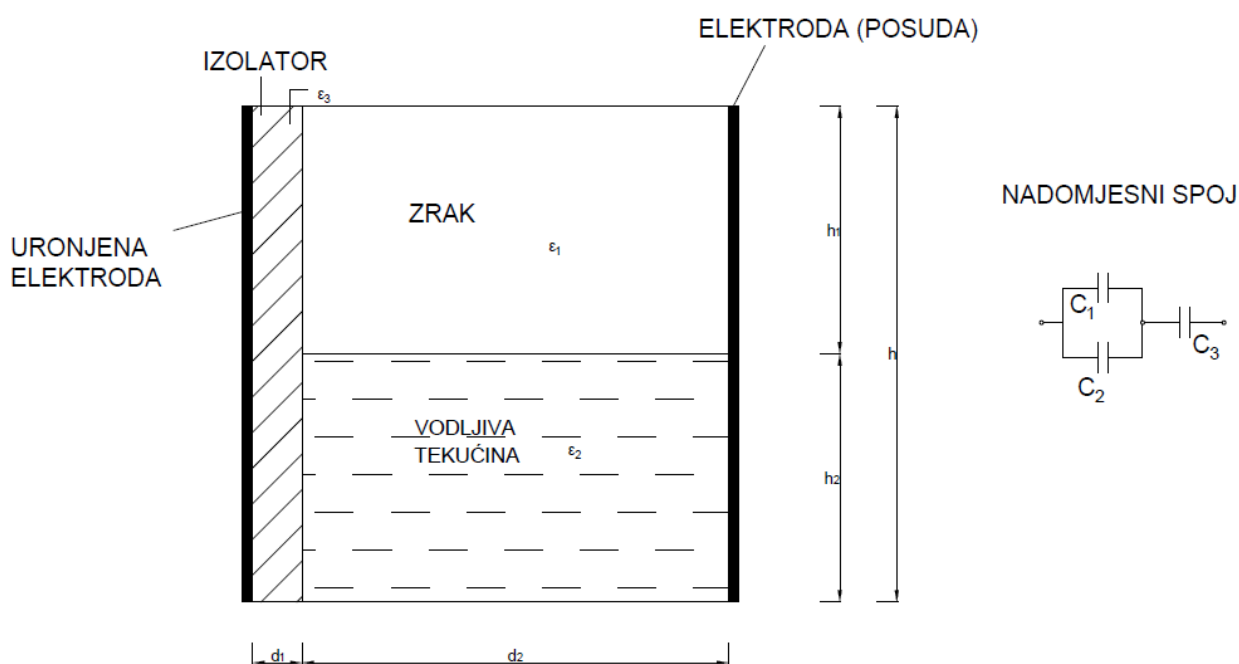
gdje je:

- ε – dielektrična konstanta izolatora
- d – razmak među pločama
- S_1 – površina ploče u zraku
- S_2 – površina ploče u tekućini.

Uronjene elektrode prema slici 2.19. se ponašaju kao 2 paralelno spojena kondenzatora:

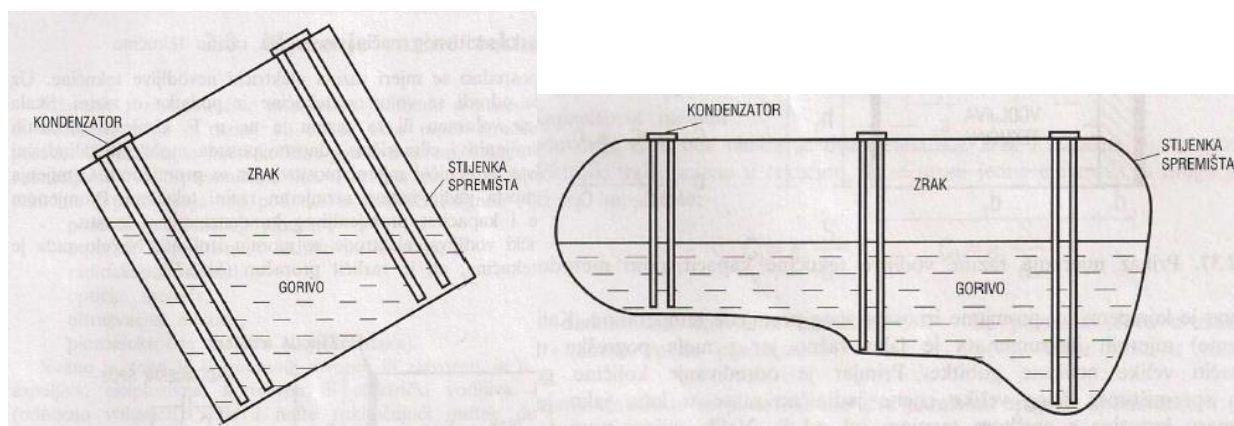
$$C = C_1 + C_2 \quad (2-6)$$

Uz mjerenje kapaciteta provodi se i mjerenje razine električki nevodljive tekućine te uz poznate proporcije posude određuje se obujam tekućine iz podatka o razini. Skala se ne podešava u faradima (F) nego u jedinicama za volumen ili razinu (m^3 , l). Elektrode se moraju izolirati ukoliko je tekućina električki vodljiva. Princip rada je identičan kao za električki nevodljive tekućine no proračun je drukčiji.



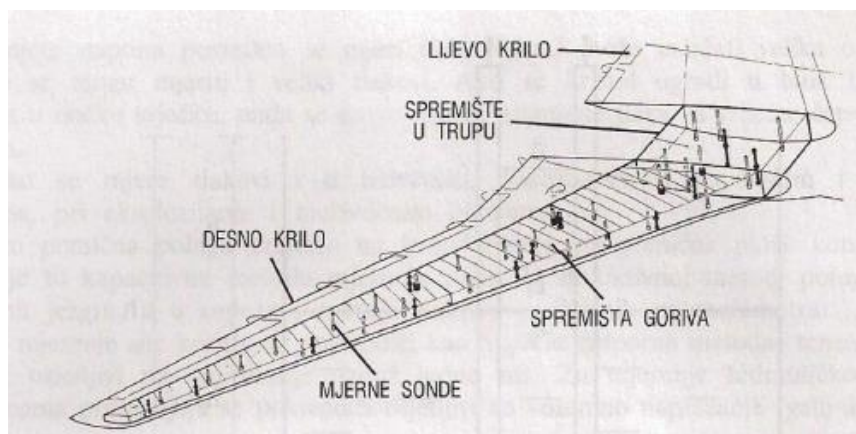
Sl. 2.20. Prikaz mjerenja razine električki vodljive tekućine kapacitivnom metodom [3]

Potrebno je kompenzirati promjene iznosa ε radi promjena temperatura. Ova metoda mjerenja razine je od iznimne važnosti u današnjem svijetu jer porastom tehnologije se izrađuju puno više prijevoznih sredstava u kojima je ova metoda nužna kako bi transport funkcionirao. Ulozi su visoki a toga su i svjesni sami čelni ljudi autokompanija, aviokompanija i slično. Za primjer se može uzeti avionski spremnik goriva. Avion zbog visoke cijene jedinične mase u letu je podložen velikom novčanom gubitku ukoliko se potkrade i jako mala greška u mjerenju razine goriva. Veliki avioni nose i po 100 tona goriva, a 1 tona tereta u prekooceanskom letu košta do 20 000 \$ što znači da i svaki kilogram manje znači uštedu kompaniji. Stoga je iznimno važno pravilno kalibriranje mjernih instrumenata kako bi se mogla odrediti masa kerozina u rezervoaru s greškom manjom od ± 1 %. Pri kalibriranju uzima se vrijednost kada je rezervoar pun i kada je prazan.



Sl. 2.21. Određivanje razine goriva u nagnutom zrakoplovu pomoću više osjetila i u spremištu nepravilnog oblika [3]

Sve razine se proračunaju u računalu. U zrakoplovima također moraju postojati više odvojenih spremišta goriva u krilima i trupu radi sigurnosti i uravnoteženja zrakoplova. Računalo upravlja crpkom za gorivo pomoću kojeg se gorivo premješta po spremištima radi balansiranja zrakoplova tijekom leta.

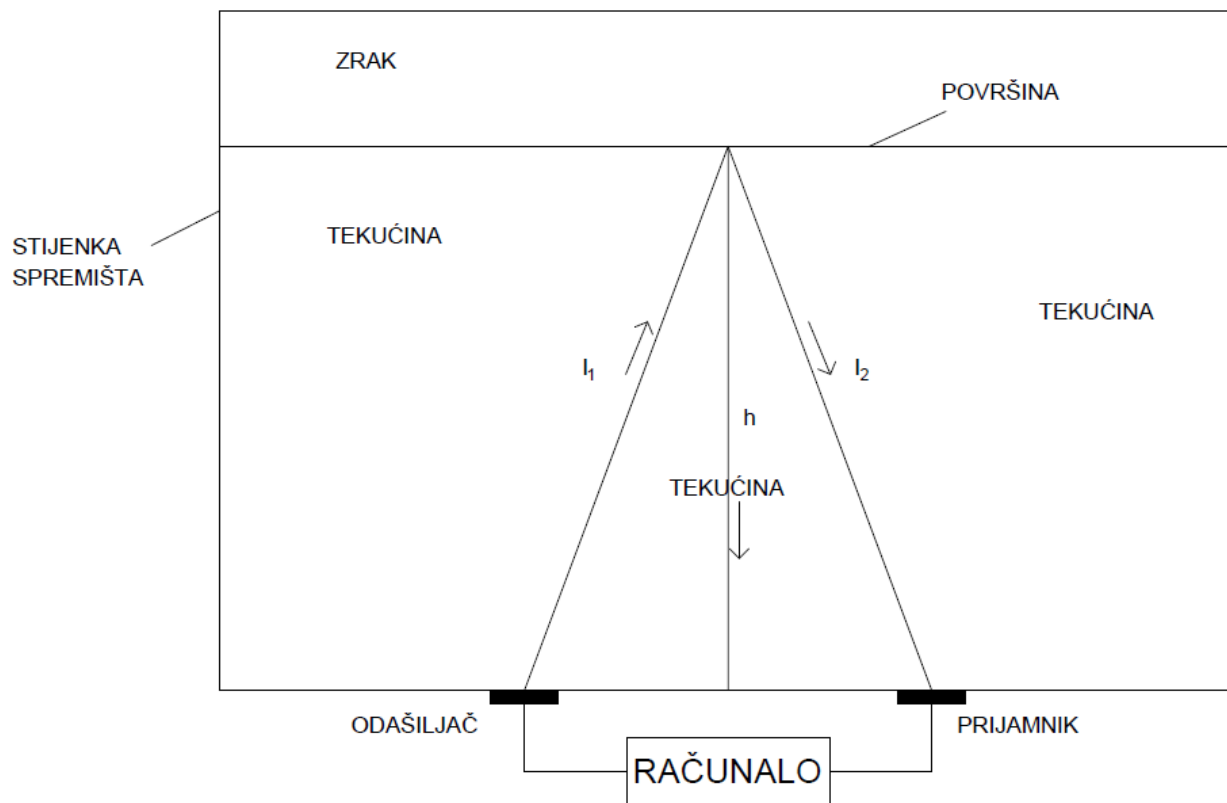


Sl. 2.22. Smještaj goriva u putničkom zrakoplovu [3]

Slično se odvija u podmornicama i brodovima. Kod podmornica postoji još složenija struktura u kojoj postoji više različitih tipova spremnika a jedan od njih za primjer je kompenzacijski spremnik. Kako podmornice ulaze u veće dubine tako raste i sila uzgona zbog različite gustoće morske vode pri većim dubinama. Budući da je gustoća proporcionalna uzgonu, uzgon se povećava i stvara silu suprotnog smjera kojim se giba podmornica. Tu nastupa kompenzacijski spremnik koji uzima vodu iz mora do određene razine kada težina poništi uzgon i uspostavi ravnotežu.

2.4.2. Ultrazvučna metoda

Jedan od novijih načina mjerenja je ultrazvučna metoda koja se koristi za velika spremišta tekućine.



Sl. 2.23. – Prikaz mjerenja razine tekućine pomoću ultrazvuka [3]

Instrument je nalik sonaru za mjerenje dubine vode ispod broda, ultrazvučni generatori su piezoelektrični a mjeri se vrijeme između slanja i prijama mehaničkih ultrazvučnih valova. Na površini tekućine dolazi do refleksije valova kao što je prikazano na slici 2.23. a brzina rasprostiranja valova kroz tekućinu mora biti poznata.

Račun za prijeđeni put ultrazvučnih valova glasi:

$$l = c \cdot t \quad (2-7)$$

$$l = l_1 + l_2 \quad (2-8)$$

gdje je:

- c – poznata brzina valova za pojedinu tekućinu
- l – put valova pomoću kojega se može izračunati nepoznanica h
- t – vrijeme putovanja signala.

Trigonometrijski se lako odredi visina h pomoću poznatih stranica jednakokračnog trokuta. Posude su najčešće okrugle a skala se podešava u metrima (m) ili metru na kub (m^3). Elektronički uređaj sa računalom daje konačni rezultat te nije potrebno ručno računanje. Nekada se koristi i daljinsko mjerenje.

Moguća je i druga izvedba u kojoj je uređaj postavljen na krov spremišta i služi mjerenje udaljenosti između površine zraka i tekućine. Tada se uzimaju drukčije vrijednosti jer valovi sada putuju kroz zrak.

2.5. Mjerenje vlažnosti

Vlažnost je pojam vezan za opisivanje količine vodene pare koja se nalazi u nekom sredstvu. Vodena para je generalno ne vidljiva ljudskom oku no njezina prisutnost ukazuje na vjerojatnost oborine, rose ili magle. Često se ljudi susreću s tim pojmom u vremenskim prognozama. Razlikujemo apsolutnu, relativnu i specifičnu vlažnost.

Kada govorimo o mjerenju vlažnosti treba napomenuti kako se ona mjeri najčešće uz pomoću higroskopnih tvari odnosno tvari koje nisu u plinovitom stanju a imaju svojstvo da zadržavaju ili upijaju vodu iz okoline, primjerice drvo.

2.5.1. Higrometar

Higrometar ili vlagomjer ili Haarov vlagomjer je mjerni instrument koji se koristi za mjerenje udjela vodene pare u nekakvom najčešće plinovitom sredstvu. Zastupljen je u kućanstvima a razlog zbog kojeg se koristi je kako bi izbjegli neželjenu plijesan u kući koju bi prouzrokovao visok udio vlage u zraku. Radi izbjegavanja velike novčane štete, tvrtke proizvode jeftine higrometre koje pomažu u ovakvim situacijama. Danas postoji mnogo različitih vrsta higrometara u funkciji pa tako imamo za primjer higrometar termometar.



Sl. 2.24. –Prikaz higrometra termometra [19]

Radi na vrlo jednostavnom principu a kao što se može primijetiti na slici 2.24. imaju 2 jednostavne skale u kojoj su iskazane vrijednosti temperature i postotak vlage u zraku prostorije u kojoj je uređaj postavljen. Dokle god su temperatura i vlažnost u sigurnim zonama označenim zelenom bojom na higrometru, ne treba brinuti za crnu plijesan ili slične probleme. Za primjer ako je postotak vlažnosti previsok jedan od načina za rješavanje ove situacije je izračiti prostoriju.

Jedan od također zanimljivih vrsta higrometara jest i psihrometar. Pomoću njega se može izračunati vlažnost a i temperatura kondenzacije.



Sl. 2.25. – Prikaz psihrometra [20]

Sastoji se od 2 jednaka precizna termometra, prvi termometar je suhi termometar a drugi je obavijen mokrom krpicom pa se naziva mokri termometar. Način mjerenja je zanimljiv a prvi korak je uhvatiti ručkicu i zavrtjeti je u zraku slično kao pračkicu ili nunčaku. Tijekom vrtnje zbog strujanja zraka krpica se brže isparava i nakon predviđenih 5 minuta zaustavljamo vrtnju te se očitava temperatura na obje skale. Primjetiti će se pad temperature na mokrom termometru a što je zrak suši to će i razlika u temperaturama dvaju termometara biti veća. Do još točnijih podataka o vlažnosti i temperaturi kondenzacije se može doći uz pomoću stalnih referentnih tablica s kojima uspoređujemo rezultate i dobivamo točne vrijednosti.

2.6. Mjerenje toplinske energije

Toplina (oznaka Q) je fizikalna veličina koja opisuje energiju koja se prenosi iz jednog sustava u drugi kao rezultat toplinske interakcije. Službena mjerna jedinica je džul (J) ali nekada se koristi i stara jedinica kalorija ($1 \text{ cal} = 4186 \text{ J}$). Kada u kontakt dođu 2 tijela različite temperature, toplina spontano prelazi s toplijeg na hladnije tijelo.

Toplina se najčešće računa pomoću poznate formule:

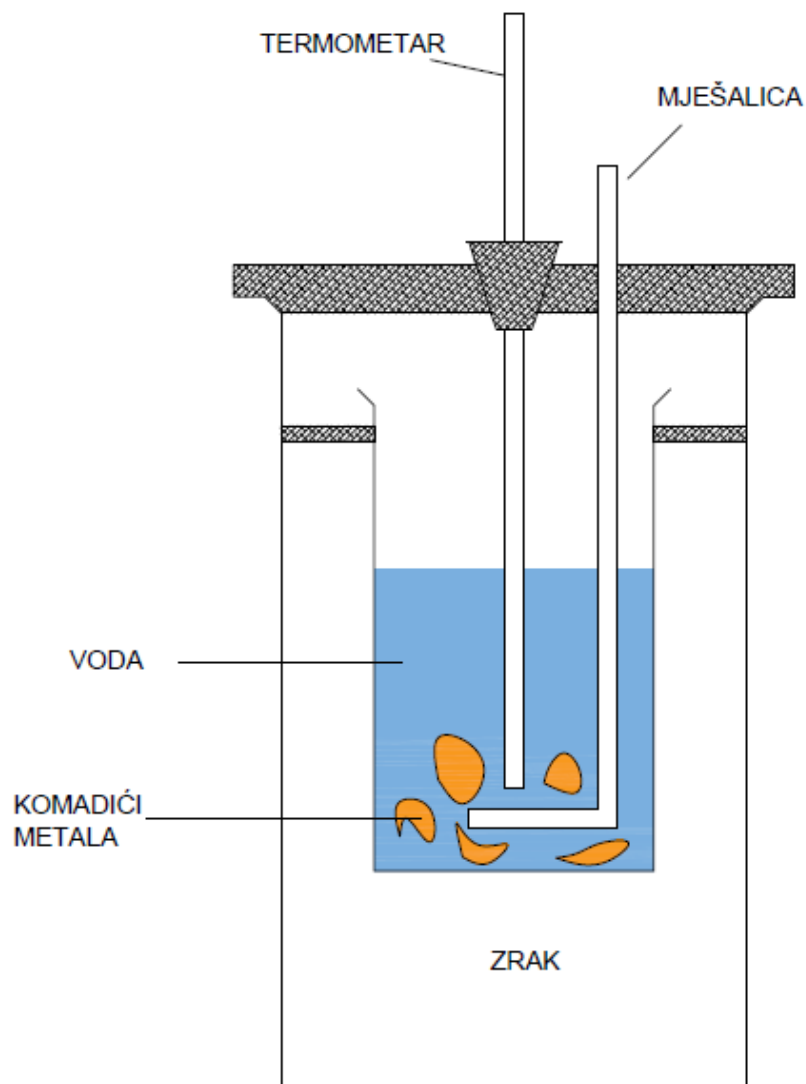
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (2-9)$$

gdje je:

- m – masa tijela
- c – specifični toplinski kapacitet
- ΔT – temperaturna razlika.

2.6.1. Kalorimetar

Kalorimetrija je proces kojim se dolazi do određivanja količine topline koja se oslobodi ili potroši tijekom nekakve fizikalne promjene ili kemijske reakcije. Glavni mjerni instrument u tom procesu je kalorimetar. Uz pomoću tog uređaja i uz poznate vrijednosti iz opće poznate formule (2-9) može se jednostavno izračunati oslobođena ili potrošena toplinska energija u procesu.



Sl. 2.26. – Prikaz kalorimetra u funkciji [21]

Kalorimetar funkcionira na sljedeći način. Koriste se 2 posude, vanjska i manja unutarnja između kojih se nalazi zrak kao izolator. Posudu zatvara dodatni poklopac načinjen od materijala koji je također izolator kako bi spriječili okolinu da utječe na proces. U ovom slučaju sa slike 2.26. imamo vodu kojoj se mjeri temperatura i onda se ubacuje za primjer nekakav metal i pričekava se dok se nova temperatura ne utvrdi. Termometrom se mjeri nova temperatura, oduzima od temperature vode na početku procesa te dobiva ΔT . ΔT se uvrsti u izraz (2-9) i dobije se traženi iznos. Ako se temperatura povećala u odnosu na početnu to znači da ΔT ima pozitivnu vrijednost odnosno sustav je dobio energiju, no ako je negativan znači da je oslobodio energiju.



Sl. 2.27. – Prikaz praktičnog kalorimetra [22]

Kalorimetar je vrlo praktičan i može ga svatko u bilo kojem trenutku napraviti. Dovoljni su samo termometar i 2 prazne čašice kave koje se stavljaju jedna u drugu kako bi vanjska poslužila kao izolator a ostatak procesa se odrađuje na sličan način kao što je objašnjeno. Rezultat bi mogao biti malo nepouzdaniji od pravog kalorimetra zbog brojnih nepogodnosti kao što je nedovoljna izolacija od okoline no trebali bi dobiti okvirno točnu vrijednost.

Princip kalorimetrije se temelji na jednostavnoj jednadžbi a to je da je toplinska energija koju je izgubilo toplije tijelo jednaka toplinskoj energiji koju je dobilo hladnije tijelo, što i ima smisla jer uz idealnu pretpostavku zatvorenog sustava na koji ne utječu vanjski čimbenici, energija ne može nestati niti stvoriti, no može mijenjati oblike i prebacivati iz jednog sustava u drugi što i naglašava zakon očuvanja energije.

2.7. Mjerenje udjela produkata izgaranja u dimnom plinu

Mnoge tvornice imaju neizbježnu poveznicu sa zagađenjem okoliša i ovisno o tvornici više ili manje njihovi energetske objekti utječu na klimatske uvjete i okoliš. Kemijski procesi u atmosferi su veoma zamršeni stoga i ne treba prirodu uzimati zdravo za gotovo. Sve ima svoje posljedice kao što su za primjer ozonska rupa (najveća je na Antarktici), ali zdravim ekološkim djelovanjem može se puno promijeniti utjecaj na okoliš primjenom Montrealskog sporazuma i smanjenjem upotrebe štetnih freona. Kako bi se znalo što se dobiva izgaranjem, specifičnim instrumentima se mjere udjeli u plinovima.

2.7.1 Analizator ispušnih plinova

Češće i nazivan kao analizator ugljikova monoksida je instrument koji mjeri ugljikov monoksid među ostalim spojevima u ispušnim plinovima uzrokovan neispravnim izgaranjem. Najčešće se provodi mjerenje Lambda koeficijenta (λ). 2 tipa senzora se koriste a to su infracrveni senzori plina (engl. NDIR – *NonDispersive InfraRed*) te kemijski plinski senzori. Ovakvi analizatori se najčešće koriste u postrojenjima za automobile i ostala vozila gdje se mjeri štetnost ispušnih plinova barem jednom godišnje.

Lambda koeficijent ima najvažniju ulogu i njezino mjerenje je neophodno. To je koeficijent koji prikazuje prisutnost kisika u ispušnim plinovima i ukazuje za koliko izgaranje nije bilo savršeno. Provođenje ovog mjerenja se može primijetiti i na servisu vlastitog automobila. A zašto se lambda koeficijent mjeri dokazuje činjenica da je koncentracija ugljikova monoksida u ispušnim plinovima gotovo proporcionalna sa lambdinim koeficijentom pogotovo u bogatijim zemljama.

Dakle na testu u savršenom slučaju lambda koeficijent će imati vrijednost 1.

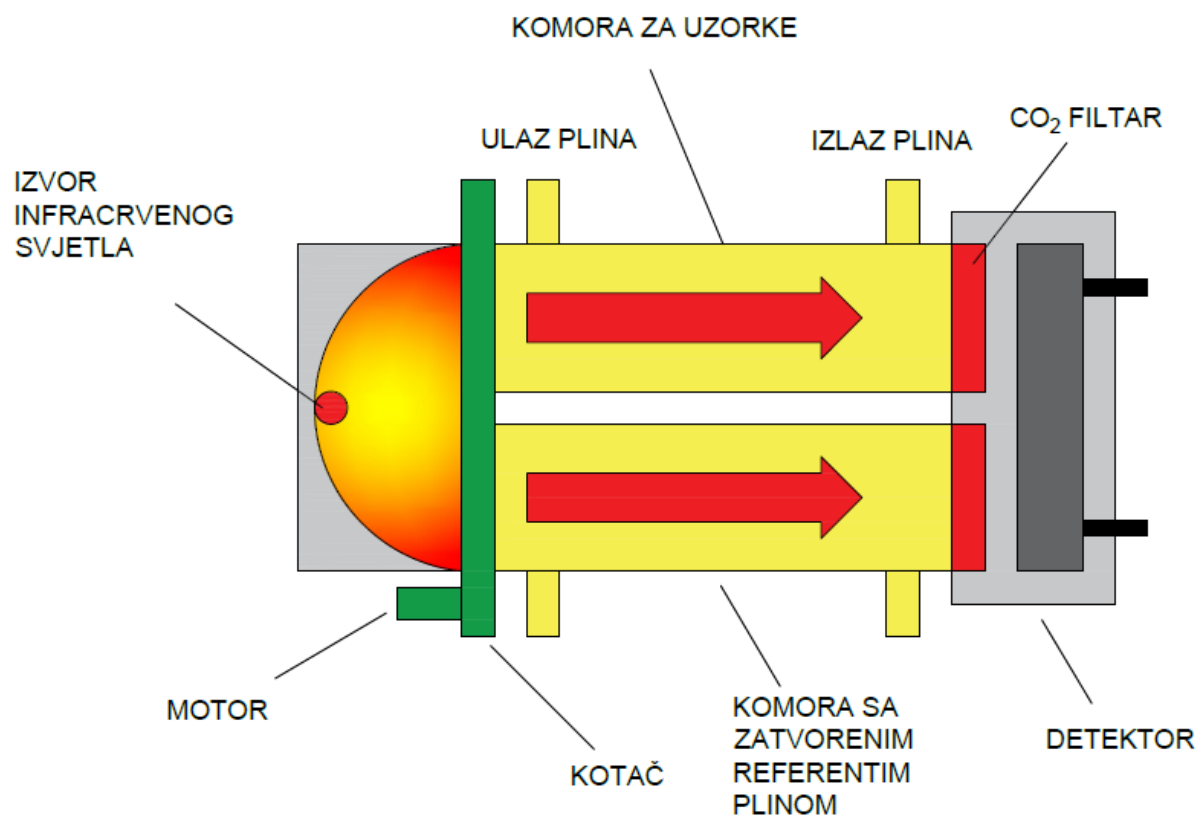
Ako je lambda veći od 1 onda se utvrđuje višak zraka što znači da će kisik reagirati sa dušikom u dušikov oksid ukoliko je temperatura dovoljno visoka.

Ako je lambda manji od 1 onda se utvrđuje višak benzina a manjak kisika što znači da cijela količina goriva neće izgorjeti do kraja tj. da će nešto goriva ostati ugljikovodik ili će reagirati samo sa ugljikovim monoksidom.



Sl. 2.28. – Primjer rezultata odrađenog testa ispušnih plinova [23]

Jedan od zanimljivih senzora je i infracrveni senzor plina koji se temelji na principu spektrometrije. Infracrveno svjetlo je usmjereno prema detektoru i prolazi kroz komoru za uzorke. Paralelno se nalazi još jedna komora sa zatvorenim referentnim plinom koji je najčešće dušik. Plin u komori za uzorke uzrokuje apsorpciju specifičnih valnih duljina a slabljenje tih valnih duljina se mjeri detektorom kako bi odredili koncentraciju plina. Detektor sadrži optički filter ispred sebe koji uklanja sva svjetla osim valne duljine koje odabrane molekule plina mogu apsorbirati. U idealnom slučaju molekule drugih plinova ne mogu apsorbirati svjetlo na odabranoj valnoj duljini.



Sl. 2.29. – Princip rada infracrvenog senzora plina [24]

3. OSNOVE MJERENJA NEELEKTRIČNIH VELIČINA PRETVORBOM U ELEKTRIČNE VELIČINE

Brzi rast tehnologije donosi novi i brži napredak. Jednako tako je i sve veća potražnja i primjena električnih mjernih instrumenata i metoda koje se mogu prenijeti i na mjerenja najraznolikijih neelektričnih veličina ukoliko se one na temelju fizikalnih zakonitosti prethodno pretvore u električne veličine. Razlog je očit, sve veće tehničko značenje ovakve solucije bazira se na mnogobrojnim privilegijama koje električna mjerna metoda nudi.

Pretvaranje neelektričnih veličina u električne ostvaruje se pomoću pretvornika – aktivnog i pasivnog.

Kod pasivnih pretvornika mjerena neelektrična veličina izaziva neposrednu ili posrednu izmjenu prikladnog kapaciteta, otpora, induktiviteta ili međuinduktiviteta pa je tu za proces mjerenja nužan pomoćni izvor mjerne struje.

Dok se kod aktivnih pretvornika odvija pretvorba toplinske, svjetlosne, mehaničke ili kemijske energije u električnu u principu nije potreban izvor pomoćne mjerne struje.

Tab. 3.1. Djelomični pregled pretvornika [5]

Mjerene veličine	Aktivni pretvornici	Pasivni pretvornici
pomak	pomaćni generator (npr. impulsa)	otporni, kapacitivni, induktivni, fotootporni, kontaktni pretvornik
brzina, brzina vrtnje	Indukcijski pretvornik	otporni, induktivni, kapacitivni pretvornik
ubrzanje, kutno ubrzanje	piezoelektrični, indukcijski pretvornik	otporni, induktivni, kapacitivni pretvornik
sila, tlak	piezoelektrični pretvornik	otporni, induktivni, kapacitivni pretvornik
temperatura	termoelement	otporni pretvornik
kemijske	galvanski pretvornik	otporni pretvornik
optičke	fotoelement	fotootporni pretvornik

Djelovanje pretvornika se osniva na mnoštvu fizikalnih pojava pa se ista zadaća može često riješiti na više načina kao što je vidljivo na tablici 3.1.. Bitno je odabrati rješenje koje omogućuje jednostavniju i pouzdaniju konstrukciju te koje najbliže osigurava linearnu ovisnost između mjerene neelektrične i dobivene električne veličine.

3.1. Pasivni mjerni pretvornici

Postoje mnogobrojne izvedbe koje se koriste za mjerenja raznovrsnih neelektričnih veličina a pobliže će se objasniti nekoliko.

3.1.1. Otporni mjerni pretvornici

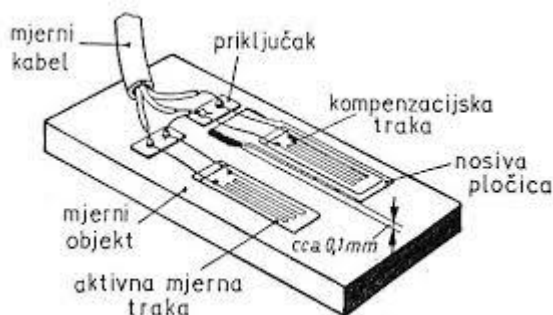
Najpoznatiji otporni mjerni pretvornici su otporni pretvornik s kliznikom, otporni pretvornik s prstenastom cijevi i živom te otporni termometri

Kod otpornog pretvornika s kliznikom, mjerena veličina (npr. pomak) uzrokuje pomicanje kliznika a samim time i promjenu otpora među završecima kliznika i otpornika, a izmjena tog otpora se mjeri uobičajenim postupcima za mjerenje otpora. Da bi pokazivanje bilo točno i precizno vodi se računa o otpornim žicama neznatnog temperaturnog koeficijenta, otporu i momentu trenja između kliznika i žice kako se ne bi djelovalo na rezultat mjerene veličine.

Otporni pretvornik s prstenastom cijevi i živom je pretvornik koji se sastoji od staklene cijevi unutar koje se nalazi tanka platinska žica otpora oko 10 Ω . Prstenasta je cijev do pola ispunjena živom a iznad nje se nalazi vodik. Ova izvedba je zaštićena od onečišćenja i ima pouzdan kontakt no osjetljiva je na trešnju.

Otporni termometri služe jasno za mjerenje temperature koji su nalik opisanima ranije (poglavlje 2.1.). Mjerena temperatura izaziva promjenu otpora žičanog ili poluvodičkog otpornika. U elektrotehnici se malo manje bavimo poluvodičkim otpornicima jer oni služe za mjerenja malih temperaturnih promjena. Žičani otporni termometar se upotrebljava na temperaturama u rasponu od -220 °C do 750 °C, izrađen je od nikalne ili platinske žice a zahtijeva se da otpor bude 100 Ω pri 0 °C. Treba obratiti pozornost na točnost mjerenja koja se može ugroziti iz raznih razloga. Mjerenje se najčešće provodi pomoću instrumenata s unakrsnim svitcima i Wheatstoneovim mostom.

Potrebno je spomenuti i rastezne mjerne trake koje služe za mjerenje mehaničkih naprezanja.



Sl. 3.1. – Prikaz mjerne trake [25]

3.1.2 Induktivni mjerni otpornici

Zasniva se na promjeni njihova induktiviteta pod djelovanjem mjerene veličine te se upotrebljavaju u različitim oblicima. Promjena induktiviteta se postiže promjenom reluktancije svitka ili promjenom broja zavoja a kod nekih slučajeva i promjenom permeabilnosti jezgre

3.1.3. Kondenzatorski mjerni otpornici

Zasniva se na promjeni njihova kapaciteta pod utjecajem mjerene veličine. Do promjene kapaciteta dolazi zbog promjene razmaka elektroda ili zbog promjene njihovih djelujućih površina a u nekim izvedbama i promjenom dielektričnosti. Služe za mjerenje pomaka, sile, brzine, ubrzanja, debljine tvari, razine tekućine i slično.

3.2. Aktivni mjerni pretvornici

3.2.1. Indukcijski pretvornici

Baziraju se na osnovi elektromagnetske indukcije pri kojoj se događa pretvorba mehaničke energije u električnu. U svitku ovakvih pretvornika se inducira napon koji je razmjern brzini promjene magnetskoga toka Φ kojega obuhvaća N zavoja svitka.

Slijedi par primjera indukcijskih pretvornika koji su najzastupljeniji.

Pretvornik brzine vrtnje funkcioniра tako što rotirajući permanentni magnet s velikom koercitivnom silom inducira napon a frekvencija i napon induciranog u svitku su proporcionalni brzini vrtnje permanentnog magneta.

Zatim se ovakvi pretvornici mogu upotrebljavati i kao vibrometri. Vibrometri služe za mjerenje relativnih vibracija. Neke vrste se upotrebljavaju i za mjerenje amplituda vibracija i akceleracija. Ovisno o slučaju vibrometri se obično učvršćuju na nekakvu mirnu podlogu no ukoliko to nije moguće onda su prikladniji vibrometri za mjerenje apsolutnih vibracija koje se učvršćuju na sami mjereni objekt. Danas se ljudi susreću i sa laserskim vibrometrom s kojim nije potrebno omogućiti kontakt s površinom koja vibrira jer se zasniva na Dopplerovom efektu. Interferometar koristi 2 objektiva kojima dijeli svjetlo na 2 dijela. Prva referentna zraka ide direktno u detektor dok se druga mjerena zraka upire u mjereni objekt gdje se svjetlo raspršuje zbog pomične površine. Ovisno o brzini i pomicanju, povratno raspršeno svjetlo je promijenjeno u frekvenciji i fazi. Signali se analiziraju te se dobiva traženi rezultat. Razni uređaji su napravljeni u svrhu mjerenja vibracija za zgrade, vozila, mostova i slično.

Indukcijski tahometri s permanentnim magnetom služe za neizravno mjerenje brzine vrtnje a postoje i pretvornici koji se koriste kao davači protoka gdje se protok mjeri u izoliranoj cijevi kroz koju protječe fluid a koja se nalazi u magnetskom polju dvaju svitaka.



Sl. 3.2. – Primjer laserskog vibrometra [26]

3.2.2. Termoelektrični pretvornici

Kao što je pobliže objašnjeno ranije (potpoglavlje 2.1.2.) mjerenje se zasniva na termoelektričnom efektu a upotrebljavaju se za mjerenje temperatura od $-200\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zagrijavanjem mjesta na kojem se dodiruju 2 različite legure ili metala dolazi do pojavljivanja termoelektričnog napona na slobodnim krajevima koji ovisi i temperaturnoj razlici između hladnih krajeva i toplog spojišta. Upotrijebljeni metali u procesu bitno određuju visinu napona te odgovarajuće kombinacije ovise o visinama mjerenih temperatura i otpornostima termoparova prema mjerenom mediju, za primjer bakar-konstantan ili željezo-konstantan. Razlika temperature toplog i hladnog kraja određuje napon termoelementa no treba pripaziti na zagrijavanje priključne glave termoelementa pri mjerenju. Zato se termoelement produžuje s pomoću „voda izjednačenja“ najčešće do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, do „usporedbenog mjesta“ sobne temperature od $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dijagonala Wheatstoneovog mosta se nalazi između termoelementa i mjernog instrumenta te odgovarajućim dimenzioniranjem mosta napon dijagonale može nadoknaditi promjenu napona termoelementa. Mali napon termoelementa iznosa 5 mV do 50 mV se mjeri milivoltmetrima ili kompenzatorima. Milivoltmetri su temperaturno ovisni stoga se mjerenje može provesti samo vrlo osjetljivim instrumentima malog potroška dok kompenzatorima postizemo veću točnost.

3.2.3. Piezoelektrični pretvornici

Upotrebljavaju se za mjerenje sile i tlaka pogotovo kada se brzo mijenjaju. Zasniva se na pojavi da se na površinama nekih tipova kristala pojavljuju određeni naboji kada se oni mehanički preoptereće s obzirom na osi kristala u određenom smjeru. Koriste se kvarc, turmalin, barijev titanat i neki drugi spojevi jer posjeduju dobra piezoelektrična svojstva dok se za mjerne namjene najviše koristi kvarc zbog smanjenog temperaturnog koeficijenta, velike mehaničke čvrstoće i elastičnosti. Ovisno o veličini mjerenih sila, potrebno je upotrijebiti manje ili više osjetljivo elektroničko pojačalo.

4. ANALOGNO-DIGITALNA PRETVORBA I MJERNI SUSTAV

4.1. Analogno-digitalna pretvorba

Analogno-digitalna pretvorba je proces pretvorbe analognog signala u digitalni zapis. U tu svrhu se rabe analogno-digitalni (A/D) pretvornici. A/D pretvarači služe za pretvaranje analogne veličine (napon) u ekvivalentnu digitalnu vrijednost no ne pretvara cjelokupni analogni signal već njegove uzorke u vremenu. Osnovni parametri A/D pretvarača su brzina pretvorbe (broj uzoraka po sekundi) te razlučivost (broj bitova). Zbog Niquistova kriterija brzina pretvorbe bi trebala biti bar dvostruko veća od najveće frekvencije koja je prisutna u signalu.

Ovaj proces je sastavni dio današnjih sustava za obradu, pohranu i prijenos informacija. Digitalna informacija je pri prijenosu i obradi puno manje podložnija smetnjama, oštećenju, izobličavanju i sličnim aspektima koji mogu donijeti krivi rezultat u odnosu na analognu informaciju. A/D pretvornikom se odrađuje pretvorba po koracima procesa a to su uzorkovanje, kvantizacija i kodiranje. Uzorkovanjem dobivamo diskretizaciju po vremenu i prostoru, kvantizacija omogućava diskretizaciju po amplitudi a kodiranje vrši pretvorbu diskretnih vrijednosti amplituda u digitalne vrijednosti. Ukoliko je frekvencija uzorkovanja neadekvatna, postoji mogućnost pojave aliasinga koji označava izobličenje audiosignala i videosignala.

3 svojstvena načina pretvorbe su: sukcesivna aproksimacija, integracija i neposredna usporedba. Pretvornik sa sukcesivnom aproksimacijom je brži u radu. Analognom integracijom se mjeri vrijeme kada se kondenzator nabije od nepoznatog napona, a isprazni od poznatog napona, dakle omjer vremena jednak je omjeru napona. Metoda integracijom je veoma spora ali poprilično precizna. Metoda neposredne usporedbe je najbrža ali nije najbolja u svim slučajevima.

Analogni signal se pretvara u digitalni prilikom npr. prilagođavanja analognog videosignala ili tonskog signala na ulasku u digitalnu napravu te se tako zaštićuje izvornik a povećava dostupnost, dok se digitalni signal pretvara u analogni za potrebe monitoringa ili obrade digitalnog signala u analognom uređaju te za primjer slušanja glazbe koja je pohranjena u digitalnom obliku.

4.1.1. Podjela pretvarača prema načinu rada

Postoje više vrsta pretvarača koji se razlikuju prema načinu rada

Paralelni (engl. *flash*) pretvarač posjeduje vrlo veliku brzinu pretvorbe veću od 1 Gsp/s te ima malu razlučivost do 8 bita. Obavljanje pretvorbe se odrađuje u jednom koraku, pretvarač se sastoji od $2^N - 1$ komparatora a naponsko djelilo sa 2^N otpornika proizvodi referentne napone s kojima uspoređujemo ulazni napon.

Cjevovodni (engl. *pipelined*) pretvarači su prilagođeni pa tako imaju brzinu pretvorbe od otprilike 200 Msps, razlučivost od 8 - 16 bita te je jako široko zastupljen među aplikacijama. Budući da se svaki uzorak mora propagirati kroz cijeli cjevovod prije nego što su svi povezani bitovi dostupni za kombiniranje u logici digitalne ispravke pogrešaka, dolazi do kašnjenja (engl. *latency*).

Pretvarač sa sukcesivnom aproksimacijom ima brzinu pretvorbe do 5 Msps, razlučivosti od 8 - 16 bita a pretvorba se zasniva na postupku binarnog pretraživanja.

Sigma-delta pretvarači imaju brzinu pretvorbe do 1 Msps a razlučivost između 14 bita i 20 bita. Ulazni se signal tako u ovoj metodi nadoknađuje u povratnoj vezi preko jednobitnog A/D i D/A pretvarača sa višestruko većom frekvencijom od osnovne frekvencije A/D pretvarača. Vrijednost ulaznog signala proporcionalna je gustoći logičkih jedinica u signalu.

4.1.2. Senzori

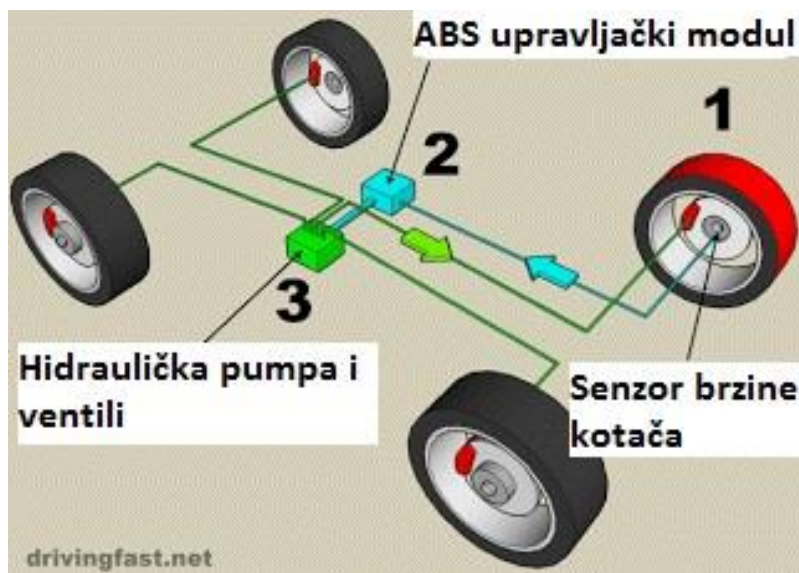
Senzor ili pretvornik je dio mjernog sustava koji je u izravnom dodiru s mjerenom veličinom i daje izlazni, najčešće električki mjerljiv signal ovisan o njenom iznosu.

Senzori su široko zastupljeni u raznim granama današnjeg društva pa će se objasniti i par primjena istih.

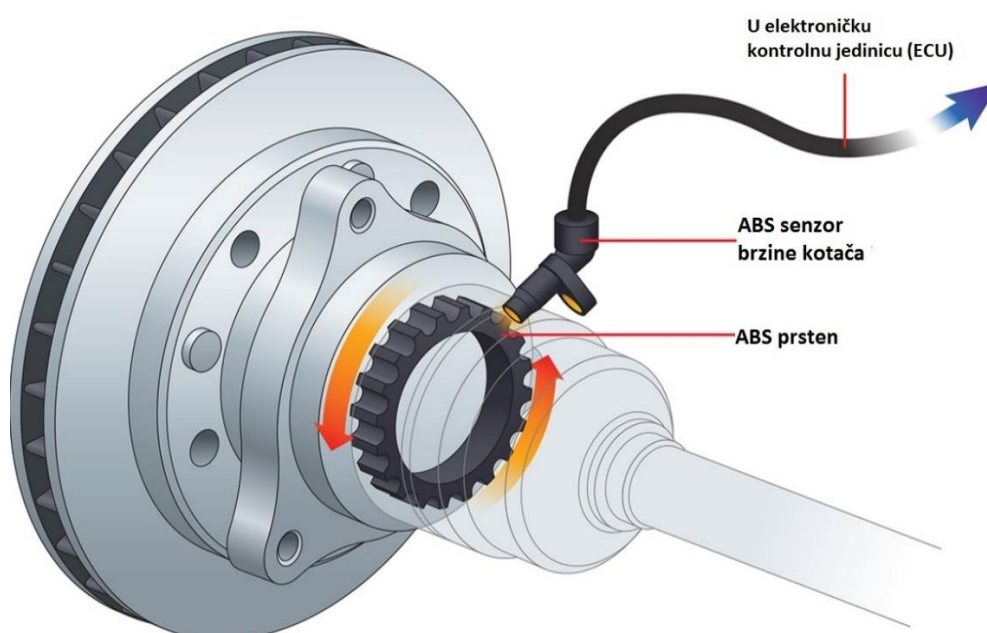
U automobilskoj je industriji trenutno nemoguće zamisliti vozilo bez senzora. Tehnologija napreduje iz dana u dan a automobili se sve više nadograđuju. Senzori omogućavaju poboljšane performanse i sigurnost, povećavaju cijenu automobila ali i složenost.

Poznati ABS (engl. *Anti-lock breaking system*) je sigurnosni sistem koji sprječava blokiranje kotača prilikom kočenja. Poboljšava kontrolu posebice pri kočenju na skliskim, ledenim i suhim

podlogama te skraćuje put kočenja. ABS ima jedan senzor u svakom kotaču koji mjeri i računa brzinu vozila te pomak svakog kotača a osim njega ima i senzor kuta upravljanja kao i senzor stope promjene smjera. Sistem prepoznaje i kada se jedan kotač rotira sporije od ostalih, tada ABS otpušta kočnice s tog kotača sve dok se ne stabilizira na podlozi. Ovime postizemo optimalne moći kočenja, bočnu stabilnosti i kontrolu okretaja.

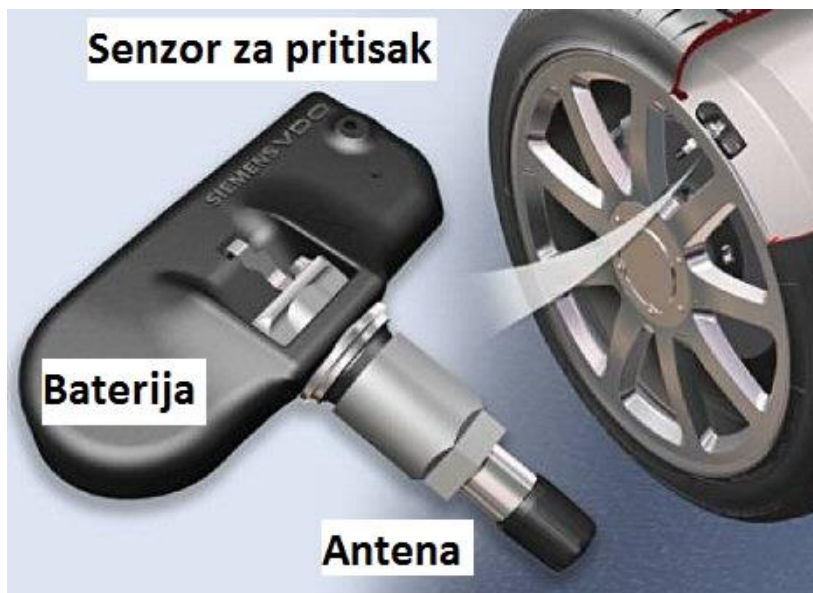


Sl. 4.1. –ABS u automobilu [27]



Sl. 4.2. – ABS senzor primijenjen na kotaču u automobilu [28]

Nadalje, mjerenje tlaka guma je također zanimljivo područje u pitanju senzora. Senzor u gumi služi za mjerenje unutrašnjeg tlaka zraka a osjetilni moduli se sastoje od senzora za tlak, temperaturnog senzora, signalnog procesora, RF (engl. *radio frequency*) odašiljača i baterije. Ovdje senzori rade u 4 načina: standby, mjerenje tlaka, mjerenje temperature te čitanje.



Sl. 4.3. – Senzor tlaka gume [29]

Senzori za detekciju sudara se zasnivaju na senzoru pritiska unutar ploče vrata te se detektira promjena pritiska tijekom udarca. Očitavanje senzora se izvršava pomoću A/D pretvornika a za dobivanje najveće točnosti se odabiru pretvornici rezolucije 10 bita.

Široka je uporaba i u medicini gdje se senzori koriste za medicinska pomagala koja su praktična za uporabu te služe za pretvorbu raznoraznih vrsta podražaja u električni oblik. Primjer može biti uređaj za kontrolu inkontinencije dizajniran za potkožnu uporabu. Digitalni kompas je također zanimljiv primjer primjene senzora u modernom obliku.

4.2. Mjerni sustav

Mjerenje i regulacija su glavni organizatori suvremenih postrojenja, nešto oko čega se sve svodi. Mjerni sustavi prate i vode procese koji bi se inače teško toliko efektivno i pravilno odvijali uz ispunjavanje uvjeta niskih troškova i visoke kvalitete. Za pojavu proizvoda na tržištima je potrebno dokazati njegovu kvalitetu i usklađenost s propisima a to se dobiva s mjerenjem. Mjerenje je posredno ili neposredno određivanje brojčanih vrijednosti u odnosu na jedinicu mjere. Neke vrijednosti veličina nije moguće pronaći u literaturi niti izračunati pa ih zato mjerimo. Rezultat mjerenja obuhvaća: vrijednost veličine koja je jednaka brojčanom iznosu, mjernoj pogrešci i jedinici. To je proces koji zahtijeva provedbu a zatim i obradu i prikaz rezultata mjerenja. Za mjerenje se koriste mjerni instrumenti koji zamjenjuju čovjekova osjetila. Vrsta mjernih instrumenata danas ima bezbroj, zahvaljujući stalnom čovjekovom potrebom za napretkom svaki dan se izumi novi način za mjerenje. Tijekom mjerenja je važno ne zanemariti pogreške mjerenja (grube, sustavne i slučajne) jer je gotovo nemoguće dobiti 100% točan rezultat, uvijek će postojati barem sitno, nekad i neznatno odstupanje.

Struktura mjernih sustava je prikazana od mjernog objekta do ciljnog objekta. Između se nalaze 3 glavne funkcije mjernog sustava: prikupljanje podataka, obrada podataka i slanje podataka. Prikupljanje podataka je potrebno da se dobiju sve potrebne informacije o objektu mjerenja te da se mjerni signal pretvori u električni signal. 3 glavne funkcije podsustava za prikupljanje podataka su transformacija, prilagodba i AD pretvaranje. Obrada podataka obuhvaća obradu, odabir ili neki drugi način manipulacije mjerenim podacima na propisani način te taj zadatak obavlja mikroprocesor, mikrokontroler ili računalo. Zadnji korak je slanje odnosno distribucija podataka koja služi za dostavljanje obrađenih podataka ciljnom objektu. 3 glavne funkcije podsustava za slanje podataka su DA pretvaranje, prilagodba i akcija. Razlikuju se ručno upravljani i automatizirani mjerni sustav.

Danas se više prihvaća i koristi instrumentacija podržana računalom koja ima brojne prednosti jer dio obrade podataka preuzima računalo, korisničko sučelje je prilagođeno potrebi, instrumentacija i računalo mogu biti udaljeni i na različitim mjestima a upravljanje mjerenjem je mnogo brže od korisnika koji ne treba višekratno ponavljati isti postupak i obraćati pažnju. Izvedbe mogu biti u obliku instrumentacije s ugrađenim računalom kao što je mikroručalo no može biti i instrumentacija ugrađena u računalo, primjer je kartica s mjeriteljskim funkcijama. Također je poznat mjerni sustav s više uređaja koji je povezan i upravljan računalom.

Načini prijenosa podataka mogu biti serijski, paralelni te s vrstama protokola. Sabirnica (engl. *BUS*) se sastoji od jednog ili više vodiča putem kojih se prenose informacije unutar računalnih sustava. Kod višezilnih sabirnica prema funkciji razlikuju se adresna, podatkovna i kontrolna sabirnica. Sučelje (engl. *interface*) je elektronički dio nekog instrumenta koji se koristi za kontrolu i povezivanje među instrumentima te podešavanja raznih svojstava sustava koji su povezani. Primjer uobičajenog serijskog sučelja osobnog računala je RS-232C. USB (engl. *universal serial bus*) je tehnološko rješenje za komunikaciju vanjskih uređaja s računalom te je danas sastavni dio računalne opreme. Postoje 2 priključka na računalu a razvijen je radi svoje praktičnosti i jednostavnosti te pojednostavljivanja priključivanja različitih periferija osobnih računala (miš, tipkovnica, kamera, mikrofoni itd.). GTIB (engl. *general purpose interface bus*) je skraćenica za digitalnu sabirnicu namijenjenu za povezivanje i upravljanje instrumentacijom te prijenosu mjernih podataka. Najčešće je upotrebljavana sabirnica u instrumentaciji te se pretežno koristi u laboratorijima.

5. ZAKLJUČAK

Po završetku završnog rada dolazi se do zaključka da su neelektrične veličine posredno ili neposredno svuda oko nas. Mjerenja se provode u svim granama današnjih industrija te ovisno o upotrebi koriste određene postupke. Njezina upotreba je od velike koristi i pomaže svakodnevno mnogim ljudima u školovanju, učenju a i daje inspiraciju svakom čovjeku da otkrije nešto novo. Mjerne uređaje kao i postupke mjerenja nije loše poznavati i nadam se da će ovaj rad potaknuti i ostale da nauče još više.

LITERATURA

- [1] Wikipedia, <https://hr.wikipedia.org/wiki/Temperatura> , pristup stranici (30.6.2018.)
- [2] Wikipedia, https://hr.wikipedia.org/wiki/Mjerenje_protoka , pristup stranici (30.6.2018.)
- [3] V. Ravlić: „Automatika za elektrotehničke škole“, Zagreb, 2004.
- [4] D.Feretić, Ž.Tomšić, D.Škanata, N.Čavlina i D.Subašić: „Elektrane i okoliš“, Zagreb, 2000.
- [5] V.Bego: „Mjerenja u elektrotehnici“, Zagreb, 2003.
- [6] Amazon, https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/41T4u9f6xML._SX342_.jpg , pristup stranici (15.8.2018.)
- [7] Indiamart, <https://5.imimg.com/data5/TQ/PH/MY-20514451/ntc-thermistor-mf72-series-500x500.jpg> , pristup stranici (15.8.2018.)
- [8] HostMonster, <http://www.webfrio.com/wp/wp-content/uploads/2016/01/ntc-y-ptc1.png> , pristup stranici (15.8.2018.)
- [9] Webgradnja, <https://www.webgradnja.hr/images/clanci/1047/7.jpg> , pristup stranici (16.8.2018.)
- [10] Wikipedia, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/e/ef/Invar_800.jpg/350px-Invar_800.jpg , pristup stranici (16.8.2018.)
- [11] Go Instrukcije, <https://www.go-tel.si/instrukcije/images/tlak.png> , pristup stranici (19.8.2018.)
- [12] Wikipedia, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3c/Pressure_distribution_on_an_immersed_cube.png , pristup stranici (19.8.2018.)
- [13] Zdravstveni, https://www.zdravstveni.com/srce/visoki_krvni_tlak.jpg , pristup stranici (19.8.2018.)
- [14] Strauss Naturals, <https://www.zdravljesrca.com/wp-content/uploads/2016/03/Krvni-tlak-e1488897882591.jpg> , pristup stranici (19.8.2018.)

- [15] Šurlan, <http://www.surlan.hr/typo3temp/pics/fc9e1926a7.jpg> , pristup stranici (21.8.2018.)
- [16] Prodajni centar Ikoma, <https://www.ikoma.hr/content/product/image/m/manometar-10.jpg> , pristup stranici (21.8.2018.)
- [17] Elmaco termotehnika, <http://www.elmaco.hr/images/turbinski.jpg> , pristup stranici (23.8.2018.)
- [18] Wikipedia, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/hr/3/34/Venturijeva_cijev.png , pristup stranici (23.8.2018.)
- [19] Redline Security, https://cdn7.bigcommerce.com/s-c9t8quxn3e/images/stencil/500x659/products/366/745/OT00897_21351.1525092726.jpg?c=2 , pristup stranici (27.8.2018.)
- [20] Nasco, <https://www.enasco.com/p/SB51740M> , pristup stranici (27.8.2018.)
- [21] MiniScience, http://www.miniscience.com/kits/calorimeter/Calorimeter_in_use.jpg , pristup stranici (27.8.2018.)
- [22] Wikipedia, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/32/Coffee_cup_calorimeter_pic.jpg , pristup stranici (27.8.2018.)
- [23] Rennlist, https://rennlist.com/forums/attachments/911-forum/908002d1422897919-911-sc-exhaust-gas-analyzer-results-img_4837.jpg , pristup stranici (28.8.2018.)
- [24] AZoSensors, [https://www.azosensors.com/images/Article_Images/ImageForArticle_8\(4\).jpg](https://www.azosensors.com/images/Article_Images/ImageForArticle_8(4).jpg) , pristup stranici (28.8.2018.)
- [25] Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, http://www.sfsb.unios.hr/ksk/cvrstoca/web_cvrstoca/N_eksperiment/N_d.pdf , pristup stranici (29.8.2018.)
- [26] Polytec, https://www.polytec.com/fileadmin/_processed_/1/7/csm_VIB_PROD_EIN_PDV-100_PortableDigitalVibrometer_14514920b1.jpg , pristup stranici (29.8.2018.)

[27] Car Safety System,

http://3.bp.blogspot.com/_4RLY7ZVxPO4/TK9W8us1IVI/AAAAAAAAADA/afOgd_wRyv0/s320/abs.gif , pristup stranici (31.8.2018.)

[28] MechanExpert, <http://www.mechanexpert.com/wp-content/uploads/2017/04/Screen-Shot-2017-04-24-at-09.40.11.png> , pristup stranici (31.8.2018.)

[29] Sensors Magazine, <https://qtxasset.com/files/sensorsmag/nodes/2007/1393/Figure1.jpg> , pristup stranici (31.8.2018.)

SAŽETAK

Opisana je primjena metoda za mjerenje svih zastupljenijih neelektričnih veličina i njihova upotreba u suvremenoj tehnologiji. Obavljena je interpretacija i analiza rezultata mjerenja. Prikazane su osnove mjerenja neelektričnih veličina pretvorbom u električne veličine, analogno-digitalna pretvorba i mjerni sustav. U koracima su opisane najvažnije mjerne metode sa svojim primjerima uređaja i postupaka mjerenja. Objašnjeno je koji su postupci prikladni za svoja postrojenja kao i slučajevi u kojima se najlakše dolazi do bržeg i točnijeg rezultata. Opisani su problemi pri mjerenjima te najbolji načini za izbjegavanje istih kao i pretvorba u električne veličine radi učinkovitijeg rješavanja zadataka.

Ključne riječi: mjerenje, pretvorba, uređaj

ABSTRACT

MEASUREMENT OF NON-ELECTRICAL QUANTITIES

The method of all representative measuring non-electric quantities is described and also their use in modern technology. Interpretation and analysis of measurement results was performed. The basics of measurement of non-electric quantities are shown by electrical conversion as well as analogue-digital conversion and measuring system. In steps the most important measurement methods with its device examples and measurement methods are described. It is explained which methods are appropriate for their plants as well as the cases where the easiest is to get faster and more accurate results. The measurement problems and the best ways to avoid it as well as converting to electrical size for more efficient task solving are described.

Keywords: measurement, conversion, device

ŽIVOTOPIS

Tin Kvesić rođen je 1.2.1995. godine u Hrvatskoj, točnije u Osijeku. U Osijeku završava "Osnovnu školu Vladimir Becić", nakon čega upisuje "I. gimnaziju" u Osijeku. Nakon završetka srednjoškolskog obrazovanja upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku. Na 2. godini studija se opredjeljuje za smjer elektroenergetika.

Tijekom školovanja je sudjelovao u raznim sportskim aktivnostima.