

Mjerenje pritiska

Rančić, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:164:228823>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-20**

Repository / Repozitorij:

[Repository - Faculty of Maritime Studies - Split -
Repository - Faculty of Maritime Studies Split for
permanent storage and preservation of digital
resources of the institution](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET**

IVAN RANČIĆ

MJERENJE PRITISKA

ZAVRŠNI RAD

SPLIT, 2022.

**SVEUČILIŠTE U SPLITU
POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ: POMORSKE ELEKTROTEHNIČKE I INFORMATIČKE
TEHNOLOGIJE**

MJERENJE PRITISKA

ZAVRŠNI RAD

MENTOR:

dr. sc. Joško Šoda

STUDENT:

Ivan Rančić (MB:0171277826)

SPLIT, 2022.

SAŽETAK

U ovom radu predstaviti će se različite vrste senzora tlaka koje su u upotrebi i razlike između pojedinih senzora. Definirat će se različite vrste tlaka koje se mogu mjeriti te uređaji koji se koriste za mjerenje tlaka na brodovima u različitim medijima. Na primjeru Siemensovog S7-1200 programabilnog logičkog kontrolera (PLC) pokazat će se spajanje senzora tlaka na PLC te postupak konfiguracije uređaja preko TIA Portal STEP 7 programa koji služi za razvijanje, uređivanje, praćenje i upravljanje procesima i projektima.

Ključne riječi: *vrste mjerenja tlaka, senzor tlaka, Siemens S7-1200, programibilni logički kontroler, TIA Portal*

ABSTRACT

The thesis describes the different types of pressure sensors and the differences between those sensors. Further, the different types of pressure measurement are defined and devices to measure pressure on ships in various mediums. The example of a Siemens S7-1200 programmable logic controller will show the connection of a pressure sensor to a PLC and configuring a device via the TIA Portal STEP 7 program, which is used to develop, edit, monitor, and manage processes and projects.

Key words: *pressure measuring types, pressure sensor, Siemens S7-1200, programmable logic controller, TIA Portal*

SADRŽAJ:

1. UVOD	1
2. TLAK I PRITISAK.....	3
2.1. OPĆENITO	3
2.2. DEFINICIJA TLAKA.....	3
2.3. MJERENJE TLAKA	5
2.4. STATIČKI I DINAMIČKI TLAK.....	7
3. SENZORI ZA MJERENJE TLAKA.....	8
3.1. OPĆENITO O SENZORIMA	8
3.2. SENZOR TLAKA.....	8
3.3. KRITERIJ ZA ODABIR SENZORA	10
3.4. VRSTE SENZORA TLAKA	11
3.4.1. Aneroidni barometarski senzor	12
3.4.2. Manometarski senzori.....	12
3.4.3. Bourdonova cijev	13
3.4.4. Dijafragme i mijeh	15
3.4.5. Vakumski senzori tlaka	16
3.4.6. Zatvoreni senzori tlaka	16
3.4.7. Odašiljač tlaka	16
3.4.8. Prekidači tlaka.....	18
3.4.9. Pretvarači tlaka	20
4. MJERENJE RAZINE TLAKA KORIŠTENJEM SIEMENS S7-1200 PLC UREĐAJA	22
4.1. SIEMENS S7-1200 PLC.....	22
4.2. CENTRALNA PROCESORSKA JEDINICA (CPU)	23
4.3. STEP 7 PROGRAMSKI JEZICI.....	25
4.4. TIA PORTAL STEP 7	26
5. ZAKLJUČAK.....	36
LITERATURA	38
POPIS SLIKA I TABLICA.....	40

1. UVOD

U završnom radu analizirat će se mjerenje pritiska. Predstaviti će sve svi pojmovi vezani za pritisak, odnosno tlak, te vrste senzora za mjerenje tlaka u različitim medijima. Također, na primjeru Siemensovog uređaja koji ima višenamjensku svrhu predstaviti će se mjerenje tlaka u određenom mediju, odnosno aplikacija će se razviti u programskom sučelju TIA Portal STEP 7.

Brod je plovilo koje služi za prijevoz robe, tereta i ljudi. Brod ima ogroman sustav upravljanja, uključujući sustav upravljanja motorom, sustav upravljanja kormilom, rashladni sustav, sustav navigacije i održavanja stanja opreme, sustav pokretanja broda, valni radarski sustav i dr. Različiti upravljački sustavi i brodski visoko i niskotlačni zračni kompresori, podvodna oprema za razinu vodovodnih cijevi imaju različite zahtjeve za mjerenje tlaka. Robusno i precizno mjerenje svakog senzora tlaka pruža potrebne podatke za osnovne upravljačke i nadzorne programe kako bi se povećala učinkovitost, smanjila potrošnja energije i precizno pozicioniranje. Osim toga, mjerenje tlaka u pogledu detekcije stanja opreme i ranog upozoravanja pruža osnovnu podatkovnu potporu za pouzdanost i stopu kvara brodskih sustava.

Predmet istraživanja završnog rada su postupci mjerenja tlaka koji se koriste na brodovima. Definirat će fizikalna veličina tlak te mjerni instrumenti i senzori koji se koriste prilikom mjerenja tlaka. Na primjeru programibilnog logičkog regulatora tvrtke (PLC) Siemens S7-1200 predstaviti će se sustav mjerenja tlaka u aplikaciji TIA Portal STEP 7.

Završni rad podijeljen je na pet poglavlja. U uvodnom, prvom, poglavlju napraviti će se kratak osvrt na temu koja će se analizirati u radu. Opisati će se predmet, svrha i problematika koja će se analizirati u radu.

U drugom poglavlju opisati će se pojam tlaka te sve relevantne informacije vezane uz tu fizikalnu veličinu. Definirat će se različite vrste tlaka koji se mogu mjeriti i njihovi međusobni odnosi.

U trećem poglavlju analizirati će se različite vrste senzora tlaka. Opisati će se senzori tlaka, koji sve uređaji mogu mjeriti tlak i na temelju kojih metoda se vrše mjerenja tlaka. Nadalje, opisati će se razlike između pojedinih uređaja, te gdje se na brodovima ti uređaji najviše koriste.

U četvrtom poglavlju predstaviti će se mjerenje tlaka na Siemensovom uređaju S7-1200 PLC. Kroz ovo poglavlje opisat će se postupak postavljanja projekta, dodavanje PLC uređaja, HMI panela, analognih ulaza i izlaza te programskih blokova.

U petom poglavlju definirat će se dobiveni zaključci, a osim navedenoga, rad sadrži popis upotrijebljenih referenci, popis slika i tablica.

2. TLAK I PRITISAK

2.1. OPĆENITO

Glavna svojstva tekućina koja se uzimaju u obzir u stvarnom vremenu su tlak, brzina i temperatura. Tlak i temperatura imaju važnu ulogu kod cjevovodnih konstrukcija, vodoopskrbe, sustava za navodnjavanje, toplinske snage, hidrauličke snage, u zrakoplovstvu pa čak i u ljudskoj krvi i dr.

Tekućine pod pritiskom mogu stvarati jake sile koje ljudi mogu koristiti za obavljanje različitih poslova. Tekućine čine osnovu za pneumatske i hidrauličke sustave koji se koriste u industrijama poput proizvodnje automobila (kočnice), dizalica koje se nalaze na benzinskim crpkama, aeronautike, podmornica, brodske industrije i drugo. Mali pritisak, raširen na vrlo velikom području, može izazvati veliku silu. Kada se tekućina kreće preko ili kroz objekt, daje male potiske na površini predmeta. Ti se potisci na cijeloj površini definiraju kao tlak i mjere se kao sila po jedinici površine. U ovom poglavlju opisan će se definicija tlaka, osnovne mjerne jedinice za tlak i drugi relevantni pojmovi vezani uz ovu fizičku veličinu.

Koncept tlaka prvenstveno se temeljio na pionirskom radu Torricellija, koji je bio Galileov učenik. Tijekom svojih pokusa s jelima u kojima se nalazi živa, 1643. godine, shvatio je da atmosfera vrši pritisak na Zemlju. Drugi veliki eksperiment napravio je Blaise Pascal, 1647. godine uz pomoć svog Periera, na vrhu planine Puy de Dome i u njezinu podnožju. Primijetio je da pritisak na stupac žive ovisi o nadmorskoj visini. Instrument napunjen živom nazvao je barometar [29].

2.2. DEFINICIJA TLAKA I PRITISKA

Izrazi „tlak“ i „pritisak“ u hrvatskom jeziku nisu istoznačnice već se rabe za različite fizičke pojave. Pritisak je sila i mjeri se u njutnima (N), a tlak je količnik sile i površine na koju ta sila djeluje i mjeri se u paskalima (Pa). Prema formuli za izračunavanje tlaka može se reći da se tlak označava slovom p , sila slovom F , a površina slovom A . Prema tome, kao što prikazuje jednadžba (1), tlak (p) je funkcija sile F i površine A :

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Može se reći da je tlak sila (F) koja djeluje na neku površinu (A). Vrijednost (iznos) omjera te sile i površine naziva se tlak. Mjerna jedinica za silu je N, a za površinu m^2 i iz toga se može izvesti i mjerna jedinica za tlak [9].

Prema Međunarodnom sustavu jedinica - SI (engl. *International System of Units*) jedinica za mjerenje tlaka je paskal (Pa) ($\frac{N}{m^2}$), ali ostale uobičajene jedinice tlaka uključuju funtu sile po kvadratnom inču (engl. *pounds per square inch* - psi), atmosferu (atm), bar, inč žive (engl. *Inch of mercury* - inch Hg), milimetar živina stupca (engl. *Millimetre of mercury* - mm Hg) [18].

Ovaj poseban naziv (Pa) za jedinicu tlaka dodan je 1971. godine, a prije toga tlak u SI sustavu jedinica bio je izražen u jedinicama kao što su ($\frac{N}{m^2}$) [12]. Tlak se može mjeriti u različitim medijima.

Budući da se tlak prije često mjerio sposobnošću da se pomakne stupac tekućine u manometru, tlakovi se često izražavaju kao dubina određene tekućine (npr. inč vode). Najčešći izbor su živa (Hg) i voda. Voda je netoksična i lako dostupna, dok gustoća žive omogućuje kraći stupac (i tako manji manometar) za mjerenje određenog tlaka. Gustoća tekućine i lokalna gravitacija mogu se razlikovati od jednog očitavanja do drugog, ovisno o lokalnim čimbenicima, tako da visina stupca tekućine precizno ne definira tlak [12,11].

Kada se danas navode jedinice poput: milimetar živina stupca ili inči žive, obično se ne temelje na fizičkom stupcu žive nego su dobili precizne definicije koje se mogu izraziti u terminima SI sustava jedinica. Jedinice na bazi vode obično pretpostavljaju jednu od starijih definicija kilograma kao težina litre vode [13]. Iako više nisu popularne, te manometarske jedinice, ipak se i dalje susreću u mnogim poljima. Krvni tlak mjeri se u milimetrima živina stupca u većini svijeta, a tlak u plućima u centimetrima vode. Tlak u cjevovodima mjeri se u inčima vode koji se izražava oznakom WC, odnosno, stupac vode (engl. *Water column*) [12]. Osim toga, na brodovima se još uvijek koriste starije jedinice poput bara ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$), $\frac{kg}{cm^2}$ ili psi ($1 \text{ psi} = 0,07 \text{ bara}$) [9]. U tablici 1. predstavljen je sažetak međunarodnih SI jedinica tlaka i pretvorbi u Paskal.

Tablica 1: Međunarodne jedinice tlaka [7]

Mjerna jedinica	Izraženo u drugim jedinicama	
1 bar	10^5 Pa	1000 mbar
1 psi	6895 Pa	68.95 mbar
1 Mpa	10^6 Pa	10 bar
1 kg/cm ²	0.0891 Pa	0.981 bar

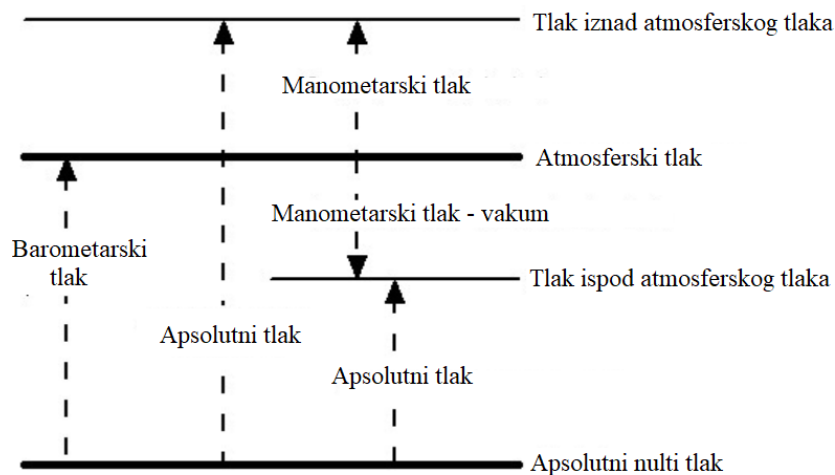
2.3. MJERENJE TLAKA

Mjerenje tlaka dobiva se iz djelovanja pritiska koji uzrokuje pomicanje položaja, promjenu otpora ili drugih fizičkih učinaka koji se zatim mjere[5]. Tlak se definira ili kao manometarski ili kao apsolutni tlak.

Postoje tri vrste mjerenja tlaka [21]:

- apsolutni tlak,
- mjerni (manometarski) tlak i
- diferencijalni tlak.

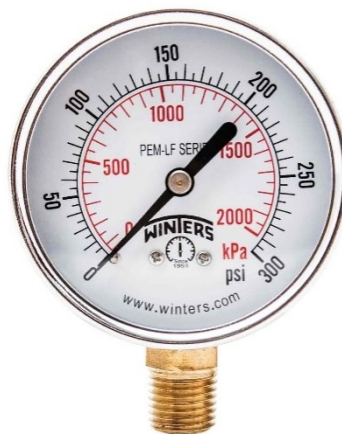
Apsolutni, manometarski i diferencijalni tlak tri su mjerna parametra koja se razlikuju u referentnim točkama, odnosno u odgovarajućoj nultoj točki ljestvice tlaka[7]. Manometarski tlak mjeri se u odnosu na atmosferski tlak, apsolutni tlak se mjeri u odnosu na vakuum, a diferencijalni tlak je razlika između dva tlaka, odnosno tlaka koji se mjeri i referentnog tlaka kao što je prikazano na slici 1.



Slika 1: Odnosi između različitih tlakova [22]

Apsolutno mjerenje tlaka je ono koje se odnosi na apsolutni vakuum. Najbolji primjer apsolutnog referentnog tlaka je atmosferski ili barometarski tlak. Ako se treba očitati tlak niži od atmosferskog tlaka koristit će se senzori tlaka koji mjere apsolutni tlak.

Manometarski tlak bit će pozitivan kada je iznad atmosferskog tlaka, a negativan kada je ispod atmosferskog tlaka zato što se mjeri u odnosu na atmosferski tlak [22]. Manometarski mjerač tlaka s brojčanikom prikazan na slici 2., a može se koristiti u svrhu ispitivanja, kod pneumatskih signala ili lokalnih indikacija procesa. Element za mjerenje tlaka može biti Bourdonova cijev, dijafragma ili mijeh koji su dostupni u širokom rasponu materijala kako bi se zadovoljili svi uvjeti mjerenja. Čitljivost i mjesto mjerenja određivat će veličinu manometra. Općenito, što je veći promjer mjerača, to će očitavanje biti točnije jer se može uključiti više stupnjevanja. Prilikom odabira manometra u obzir treba uzeti i točnost koja se treba postići prilikom mjerenja [5].



Slika 2: Manometar s brojčanikom [16]

Diferencijalni tlakovi obično se koriste u industrijskim procesnim sustavima. Manometri s diferencijalnim tlakom imaju dva ulazna otvora, svaki spojen na jedan od volumena čiji se tlak mora nadzirati. Odnosno, takav mjerač izvodi matematičku operaciju oduzimanja uz pomoć mehaničkih sredstava, otklanjajući potrebu za čovjekom ili upravljačkim sustavom koji će motriti dva odvojena mjerila i određivati razliku u očitanjima. Umjereni vakuumski tlakovi često su dvosmisleni, jer mogu predstavljati apsolutni ili manometarski tlak bez negativnog predznaka.

Atmosferski tlak obično iznosi 100 kPa na razini mora, ali je promjenjiv s visinom i vremenom. Ako apsolutni tlak fluida ostane konstantan, manometar istog fluida varirat će kako se atmosferski tlak mijenja. Definirane su neke standardne vrijednosti atmosferskog tlaka poput 101,325 kPa ili 100 kPa, a neki instrumenti koriste jednu od ovih standardnih vrijednosti kao konstantnu referentnu nulu umjesto stvarnog promjenjivog tlaka zraka. To narušava točnost ovih instrumenata, posebno kada se koriste na velikim nadmorskim visinama.

2.4. STATIČKI I DINAMIČKI TLAK

Statički tlak je ujednačen u svim smjerovima, pa su mjerenja tlaka neovisna o smjeru u stacionarnoj (statičkoj) tekućini. Protok, međutim, primjenjuje dodatni pritisak na površine koje su okomite na smjer protoka, dok ima mali utjecaj na površine paralelne smjeru protoka. Ova usmjerena komponenta tlaka u pokretnoj (dinamičkoj) tekućini naziva se dinamički tlak. Instrument okrenut prema smjeru protoka mjeri zbroj statičkog i dinamičkog tlaka, a dobiveni izmjereni tlak se naziva ukupni tlak [5].

Budući da se dinamički tlak odnosi na statički tlak, on nije ni manometarski ni apsolutni tlak, već je diferencijalni tlak. Iako je statički manometar od primarne važnosti za određivanje neto opterećenja na zidovima cijevi, dinamički tlak koristi se za mjerenje protoka i brzine zraka. Prisutnost mjernog instrumenta neizbježno djeluje na preusmjeravanje protoka i stvaranje turbulencija, pa je njegov oblik presudan za točnost, a kalibracijske krivulje često su nelinearne [5].

3. SENZORI ZA MJERENJE TLAKA

3.1. OPĆENITO O SENZORIMA

Senzor je uređaj koji mjeri neku fizičku veličinu i prevodi je u električnu veličinu. Veličina koja se mjeri može biti npr. temperatura, duljina, sila, tlak i drugo [22].

Postoje razne vrste senzora poput toplinskog senzora, elektromagnetskog senzora, mehaničkog sensor, senzor tlaka i ostalih. Tlak se u senzorima mjeri mehaničkim elementima kao što su ploče, školjke i cijevi koji su dizajnirani i izrađeni da se okreće kada se vrši pritisak[1].

3.2. SENZOR TLAKA

Senzori tlaka su instrumenti ili uređaji koji fizikalnu veličinu tlaka koji djeluje na senzor pretvaraju, koristeći različite principe rada, u izlazni signal koji se može koristiti za utvrđivanje kvantitativne vrijednosti tlaka. Dostupne su mnoge različite vrste senzora tlaka, koji funkcioniraju slično, ali se oslanjaju na različite temeljne tehnologije kako bi pretvorili tlak u izlazni signal [6, 22]. Senzori tlaka mogu se razlikovati u tehnologiji, dizajnu, izvedbi, primjeni i cijeni. Senzori tlaka uglavnom se mogu kategorizirati prema vrsti tlaka kojeg mjere (apsolutni, manometarski, diferencijalni), osjetljivosti, izlaznom signalu i mediju koji mjere.

U senzorima koji mjere apsolutni tlak, referentna točka je nula ili vakuum. Jedna je strana senzora izložena mediju koji se mjeri, a druga je strana zabrtvljena da stvori vakuum. Senzori koji mjere manometarski tlak mjere ga u odnosu na atmosferski tlak. Jedna strana senzora je povezana sa sustavom npr. neka usisna pumpa, dok se druga strana odvodi u atmosferu. Važno je osigurati da otvori za odzračivanje ne bude začepljeni. Senzori diferencijalnog tlaka mjere razliku između tlaka na dva izložena otvora. Tipična primjena ovih senzora uključuje mjerenje protoka tekućine ili plina u cijevima ili kanalima ili otkrivanje začepljenja ili zaplijenjenog ventila [15].

Postoji razlika koju treba napomenuti, a to je da se senzori tlaka razlikuju od manometra koji po svojoj izvedbi pružaju izravno očitavanje izlazne vrijednosti tlaka koji se naziva manometarski tlak. To može biti u obliku analognog (mehaničkog) zaslona pomoću igle na brojaniku ili putem izravnog digitalnog prikaza očitavanja tlaka na malom zaslonu. S druge strane, senzori tlaka ne pružaju izravno čitljiv izlaz tlaka, umjesto toga generiraju vrijednost

izlaznog signala koji je proporcionalan očitavanju tlaka, ali koji prvo treba pripremiti i obraditi kako bi pretvorio razinu izlaznog signala u kalibrirano očitavanje tlaka [6].

Postoji nekoliko uobičajenih izraza povezanih s uređajima za mjerenje tlaka koji se često koriste naizmjenično, ali nemaju istu funkciju i mogu se podijeliti na [6,7]:

- klasične senzore tlaka (engl. *Pressure sensors*),
- pretvarače tlaka (engl. *Pressure transducers*),
- prijenosnik tlaka (engl. *Pressure transmitters*) i
- prekidače tlaka (engl. *Pressure switches*).

Proizvođači i dobavljači ovih uređaja mogu upotrijebiti jedan ili više ovih izraza za opisivanje svojih proizvoda. Općenito, temeljna razlika između ovih uređaja povezana je s električnim izlaznim signalom koji se generira i izlaznim sučeljem uređaja. Jedna od osnovnih razlika između klasičnih (mehaničkih) senzora tlaka u odnosu na pretvarače i odašiljače tlaka je taj što prvi nemaju ugrađenu elektroniku koja osigurava kondicioniranje signala i pojačani izlaz, za razliku od pretvarača i odašiljača tlaka koji imaju i zbog toga imaju brži odziv i preciznija mjerenja [6].

Iako se koriste kao zajednički pojam za sve vrste uređaja, senzori tlaka obično proizvode mali izlazni napon izražen u milivoltima (mV). Relativno nizak izlazni napon zajedno s gubicima otpora koji se javljaju kod ožičenja podrazumijeva da duljine žica moraju biti kratke, što ograničava upotrebu uređaja na oko 3 do 6 metara od elektronike prije nego što dođe do prevelikog gubitka signala [22].

Izlazni signal bit će proporcionalan naponu napajanja koji se koristi sa sensorom. Izlazni signal izražen u milivoltima omogućava inženjeru da osmisli kondicioniranje signala prema potrebi i smanji troškove i veličinu senzora [6]. Većina senzora tlaka rade pomoću piezoelektričnog učinka [22].

3.3. KRITERIJ ZA ODABIR SENZORA

Da bi sustav u kojem se koriste senzori tlaka radio ispravno i isplativo, važno je da korišteni senzor tlaka daje točna i precizna očitavanja po potrebi tijekom duljeg vremenskog razdoblja bez potrebe za održavanjem ili zamjenom. Nekoliko čimbenika utječe na prikladnost određenog senzora tlaka za određeni postupak poput [21]:

- karakteristike tvari koje se koriste ili se stvaraju tijekom postupka mjerenja,
- uvjeta okoliša u sustavu,
- raspona tlaka u procesu,
- potrebne razine preciznosti i
- osjetljivosti u izvršenim mjerenjima.

Senzor tlaka bit će izložen procesnim tvarima koji se koriste u procesu, stoga su materijali koji mogu reagirati s procesnim tvarima neprikladni za upotrebu u senzoru. Dijafragme su optimalne za vrlo teška okruženja kao primjerice industrijska i procesna [21].

Pri odabiru prikladnog senzora treba uzeti u obzir okolinu u kojoj se koristi npr. u cijevima, mjestima gdje su velike vibracije i temperature i dr. Korozivno okruženje, jake vibracije u cjevovodnim jedinicama ili velike temperature značili bi da senzori moraju imati dodatnu razinu zaštite. Zabrtvljeni, čvrsti materijali kućišta s unutarnjom tekućinom koja sadrži glicerol ili silikon često se koriste za zatvaranje unutarnjih komponenti senzora (ne uključujući osjetni element), štiteći ih od vrlo jakih, korozivnih okruženja ili čestih vibracija [21]. Osim toga, nisu sve tekućine i plinovi isti pa prema tome mjerenja mogu biti pneumatska/hidraulična, zrak, različite tekućine, korozivni mediji i dr. Morska voda, slani sprej ili obalni okoliš mogu predstavljati opasnost od korozije i naštetiti materijalima. Zbog toga se često preporučuju materijali od legura nikla i titana za kućišta i dijafragmu [15].

Većina procesa djeluje u određenom rasponu tlaka. Budući da različiti senzori tlaka rade optimalno u različitim rasponima tlaka, potrebno je odabrati one uređaje koji mogu dobro „raditi“ u opsegu raspona tlaka [21].

Različiti procesi zahtijevaju različitu razinu preciznosti i točnosti. Općenito, što je senzor precizniji, to je skuplji, pa je ekonomski isplativo odabrati senzore koji mogu zadovoljiti željenu preciznost. Također, postoji kompromis između preciznosti i mogućnosti brze detekcije

promjena tlaka u sensorima, stoga je u procesima u kojima se tlak puno mijenja u malim vremenskim intervalima, nije preporučljivo koristiti senzore kojima treba puno vremena da daju točno očitavanje, iako bi mogli dati precizne vrijednosti tlaka [21].

3.4. VRSTE SENZORA TLAKA

Pomoću senzora tlaka mogu se izvršiti mjerenja tlaka kako bi se odredio raspon različitih vrijednosti i različitih vrsta tlaka, ovisno o tome vrši li se mjerenje tlaka u odnosu na atmosferu, vakuumske uvjete ili druge referentne razine tlaka. Senzori tlaka instrumenti su koji se mogu dizajnirati i podesiti za mjerenje tlaka u procesnom okolišu [5].

Kao što je spomenuto, senzori apsolutnog tlaka namijenjeni su mjerenju tlaka u odnosu na vakuum i projektirani su s referentnim vakuumom zatvorenim u samom senzoru. Ovi senzori također mogu mjeriti atmosferski tlak. Slično tome, manometarski senzor tlaka mjeri vrijednosti u odnosu na atmosferski tlak, a dio uređaja obično je izložen atmosferskim uvjetima. Važan aspekt procesa mjerenja industrijskog tlaka uključuje usporedbu između više razina tlaka. Za ove se primjene koriste senzori diferencijalnog tlaka, koji mogu biti izazovni zbog prisutnosti najmanje dva različita tlaka na jednoj mehaničkoj strukturi [6]. Postoje razni uređaji za mjerenja tlaka, a kako je spomenuto ranije, svaki uređaj ima svoju prikladnu namjenu i drugačije ili slične principe rada. Neki koriste samo mehaničke dijelove, dok drugi osim mehaničkih imaju i ugrađene elektroničke dijelove.

Brodski strojevi moraju raditi u okviru određenih željenih parametara. Instrumentacija omogućuje mjerenje ili prikaz parametara tlaka, temperature i drugih fizikalnih veličina na određenoj ljestvici. Potrebno je sredstvo za upravljanje kako bi promijenjena očitavanja udovoljila određenim zahtjevima [4].

Postoji mnogo različitih senzora tlaka koji se mogu odabrati prilikom odabira najprikladnijeg za određeni postupak, ali općenito se mogu podijeliti u nekoliko kategorija [21]:

- elastični senzori,
- električne senzore (tlačni pretvarači, odašiljači i sklope),
- vakuumski senzori tlaka i dr.

Većina senzora tlaka fluida su elastičnog tipa, gdje je tekućina zatvorena u mali odjeljak s najmanje jednim elastičnim zidom. Očitavanje tlaka se na taj način određuje mjerenjem otklona

elastičnog zida, što rezultira ili izravnim očitavanjem kroz prikladne spojeve, ili pretvorenim električnim signalom. Elastični senzori tlaka su krhki i osjetljivi na vibracije, skuplji su od manometara, pa se stoga preferirano koriste za prijenos izmjerenih podataka i mjerenje razlika u tlaku, odnosno mjerena diferencijalnog tlaka. Široki broj fleksibilnih elemenata mogao bi se koristiti za elastične senzore tlaka, a većina uređaja koristi neki oblik Bourdonove cijevi, mijeha ili dijafragme [21].

Električni senzori koriste mehaniku elastičnog senzora i dodaju električnu komponentu, povećavajući tako osjetljivost i broj primjena u kojima se može koristiti senzor. Električni senzori mogu mjeriti tlak na temelju nekoliko metoda poput kapacitivne, induktivne, piezoelektričnog učinka i dr.[21]. Ova vrsta senzora je puno preciznija i ima brže vrijeme odziva od elastičnih senzora zbog toga što koristi elektroniku unutar senzora.

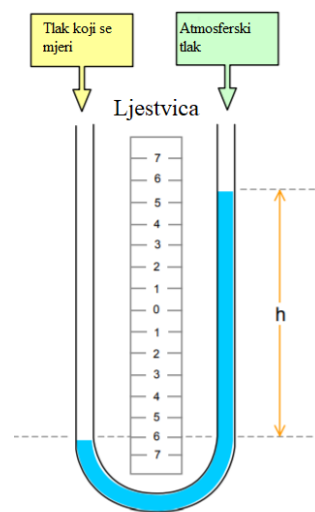
3.4.1. Aneroidni barometarski senzor

Aneroidni barometarski senzor je uređaj koji se sastoji od šupljeg metalnog kućišta koje ima savitljive površine na vrhu i dnu. Promjene atmosferskog tlaka uzrokuju da metalno kućište mijenja oblik, mehaničke poluge povećavaju deformaciju kako bi se postigli zamjetniji rezultati. Razina deformacije također se može povećati izradom senzora u izvedbi s mijehom. Poluge su obično pričvršćene na pokazivač koji deformaciju pod pritiskom prevodi u skalarna mjerenja ili na barograf koji bilježi promjenu tlaka tijekom vremena. Aneroidni barometarski senzori kompaktni su i izdržljivi, a u svom radu ne koriste tekućinu. Međutim, masa elemenata osjetljivih na tlak ograničava brzinu odziva uređaja, što ga čini manje učinkovitim za dinamičko mjerenje tlaka [6].

3.4.2. Manometarski senzori

Manometar je senzor tlaka fluida koji pruža relativno jednostavnu konstrukcijsku strukturu i razinu preciznosti veću od one koju pruža većina aneroidnih barometara. Mjerenja se vrše bilježenjem učinka tlaka na stup tekućine. Najčešći oblik manometra je cijev u obliku slova U (engl. *U-shaped*) u kojem se tlak primjenjuje na jednu stranu cijevi, istiskujući tekućinu i uzrokujući pad razine tekućine i porast razine na drugom kraju cijevi. Odnosno, jedan kraj cijevi povezan je s izvorom tlaka, a druga strana cijevi je otvorena. Manometar u obliku U -

cijevi prikazan je na slici 3. Razina tlaka označena je razlikom u visini (h) između dva kraja cijevi, a mjerenje se vrši prema ljestvici ugrađenoj u uređaj [6].



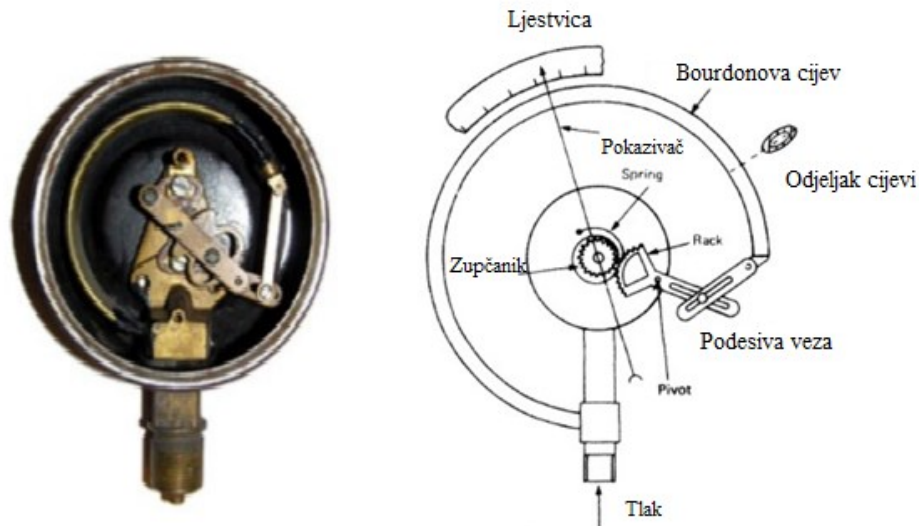
Slika 3: Manometar u obliku U-cijevi [2]

Preciznost očitavanja može se povećati naginjanjem jedne strane manometra. Rezervoar s tekućinom također se može pričvrstiti kako bi smanjivanje visine na jednoj od strana bilo beznačajno. Manometri mogu biti učinkoviti kao mjerni senzori ako se jedna strana cijevi u obliku slova U ventilira u atmosferu i mogu funkcionirati kao diferencijalni senzori kada se na obje strane cijevi vrši pritisak. Međutim, ovi manometri su učinkoviti samo u određenim rasponima tlaka, a poput aneroidnih barometara, imaju spori odziv koji nije dovoljan za mjerenje dinamičkog tlaka [6].

3.4.3. Bourdonova cijev

Bourdonova cijev vjerojatno je najviše korišten instrument za mjerenje manometarskog tlaka, slika 4. Iako funkcioniraju na temelju istih osnovnih principa kao i aneroidni barometri, Bourdonove cijevi umjesto šupljeg kućišta koriste spiralni ili C oblik osjetnog elementa. Jedan kraj Bourdonove cijevi učvršćen je u vezi s tlakom, dok je drugi kraj cijevi zatvoren. Svaka cijev ima eliptični presjek zbog kojeg se cijev uspravlja kako se vrši veći pritisak. Instrument će se nastaviti ispravljati sve dok tlak tekućine ne bude usklađen s elastičnim otporom cijevi. Zbog toga su različiti materijali cijevi povezani s različitim rasponima tlaka. Sklop zupčanika pričvršćen je na zatvoreni kraj Bourdonove cijevi i pomiče pokazivač duž brojača kako bi osigurao očitavanja.

Uređaji s Bourdonovom cijevi obično se koriste kao senzori za mjerenje manometarskog i diferencijalnog tlaka kada su dvije cijevi povezane s jednim pokazivačem. Općenito je spiralna cijev kompaktnija i nudi pouzdanije performanse od elementa u obliku slova C [4, 6].



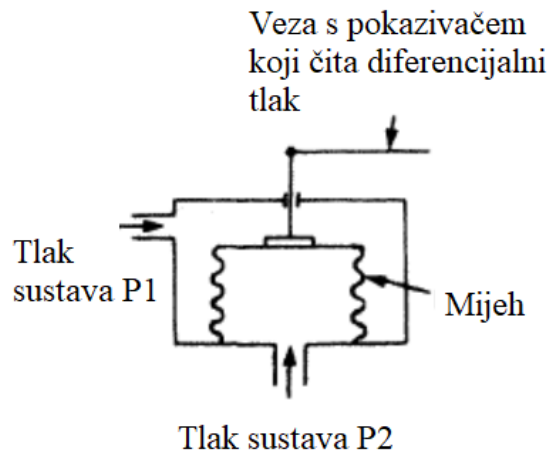
Slika 4: Bourdonova cijev [4]

Kao što je prikazano na slici 4. Bourdonova cijev sastoji se od cijevi, ljestvice očitavanja mjerenja, pokazivača, stalka, zupčanika, usisne cijevi i dr. Iako je referentna ili nulta vrijednost obično atmosferska, za davanje očitavanja tlaka u manometru, ovaj se mjerač može koristiti za očitavanje vrijednosti vakuumske tlaka [4].

Bourdonova cijev može se koristiti i kao pretvarač tlaka s elastičnim elementom. Relativno je jeftin i obično se koristi za mjerenje manometarskog tlaka, plinova i tekućina. Sastoji se od posebno oblikovanog komada ovalnog presjeka, fleksibilne metalne cijevi koja je na jednom kraju učvršćena, a na drugom se kraju može slobodno kretati. Kada se pritisak vrši na fiksni kraj cijevi, ovalni presjek postaje kružniji. Kao posljedica toga dolazi do pomicanja slobodnog kraja cijevi. To se pomicanje mjeri nekim oblikom pretvornika pomaka, koji je obično potencijometar [4].

3.4.4. Dijafragme i mijeh

Za mjerenje manometarskog ili diferencijalnog tlaka mogu se koristiti dijafragme ili mijeh. Tipičan primjer prikazan je na slici 5. Pokret dijafragme ili mijeha prenosi se pomoću veze na zaslon igle ili pokazivača [13].



Slika 5: Mjerenje tlaka s mijehom [13]

Elementi mijeha su cilindričnog oblika i sadrže mnogo nabora. Deformiraju se u aksijalnom smjeru (kompresijom ili ekspanzijom) s promjenama tlaka. Tlak koji treba izmjeriti primjenjuje se na jednu stranu mijeha (bilo iznutra ili izvana), dok je atmosferski tlak na drugoj strani. Apsolutni tlak može se izmjeriti evakuacijom vanjskog ili unutarnjeg prostora mijeha, a zatim mjerenjem tlaka na suprotnoj strani. Ovi instrumenti mogu se priključiti samo na sklop ili potenciometar, a koriste se pri niskim tlakovima manjim od 0,2 MPa s osjetljivošću od 0,0012 MPa [21].

Elementi dijafragme izrađeni su od kružnih metalnih diskova ili fleksibilnih elemenata poput gume, plastike ili kože. Dijafragme izrađene od metalnih diskova koriste elastične karakteristike, dok se kod dijafragma izrađenih od savitljivih elemenata suprotstavlja drugi elastični element. Ovi senzori vrlo su osjetljivi na brze promjene tlaka. Metalni tip dijafragme može izmjeriti maksimalni tlak od približno 7 MPa, dok se elastični tip koristi za mjerenje vrlo niskih tlakova (0,1 kPa - 2,2 MPa) kada je povezan s kapacitivnim pretvaračima tlaka ili sensorima diferencijalnog tlaka [21].

Dijafragme su vrlo osjetljive (0,01 MPa) i mogu izmjeriti male razlike tlaka u minutnom rasponu (npr. inči vode) (elastični tip) ili velike razlike tlaka (približavaju se maksimalnom rasponu od 207 kPa) (metalni tip). Elementi dijafragme mogu se koristiti svugdje, a često se koriste u vrlo korozivnim okruženjima ili u situacijama prekomjernog pritiska [21].

3.4.5. Vakumski senzori tlaka

Tlak vakuuma ispod je razine atmosferskog tlaka, a može ga biti izazovno detektirati mehaničkim metodama. Pirani senzori obično se koriste za mjerenja tlaka u području niskog vakuuma. Pirani senzori robustan je mjerač toplinske vodljivosti koji se koristi za mjerenje tlaka u vakuumskim sustavima. Ti se senzori oslanjaju na zagrijanu žicu s električnim otporom u korelaciji s temperaturom. Kada se tlak vakuuma poveća, skup se smanjuje, a temperatura žice raste. Električni otpor raste proporcionalno i kalibriran je prema tlaku kako bi se osiguralo učinkovito mjerenje vakuuma [6].

Ionski ili hladni katodni senzori obično se koriste za primjenu kod većih vakuuma. Ovi se instrumenti oslanjaju na filament koji stvara emisiju elektrona. Elektroni prelaze u mrežu gdje se mogu sudariti s molekulama plina, uzrokujući tako ionizaciju. Napunjeni uređaj za prikupljanje privlači nabijene ione, a broj akumuliranih iona izravno odgovara broju molekula u vakuumu, pružajući tako točno očitavanje tlaka vakuuma [6].

3.4.6. Zatvoreni senzori tlaka

Zatvoreni senzori tlaka koriste se kada se želi postići mjerenje tlaka u odnosu na referentnu vrijednost (kao što je atmosferski tlak na razini mora), ali tamo gdje senzor nije moguće izravno otvoriti na taj referentni tlak. Na primjer, na podvodnim vozilima, zapečaćeni senzor tlaka može se koristiti za utvrđivanje dubine vozila mjerenjem tlaka okoline i usporedbom s atmosferskim tlakom koji je dostupan u zapečaćenom uređaju.

3.4.7. Prijenosnik tlaka

Prijenosnici tlaka (engl. *Pressure transmitter*) dostupni su s pneumatskim ili elektroničkim prijenosnikom i mogu se odrediti za mjerenje manometarskog ili apsolutnog tlaka. Načela mjerenja osjetnih elemenata uključuju različite metode poput kapacitivne, piezo-električne i metode uravnoteženja sila. Izmjereni tlakovi mogu biti do 2000 bara, s točnošću do

$\pm 0,06\%$. Tlačni priključak koristi se za usmjeravanje tlaka izravno na senzor. Ima (standardizirani) navoj i integrirani sustav brtvljenja koji omogućuje jednostavno povezivanje odašiljača tlaka jednostavnim uvrtnjem na odgovarajuće mjerno mjesto [7].

Daljinske brtve koriste se kada je procesna tekućina korozivna, viskozna, podložna ekstremnim temperaturama, otrovna, u sanitarnim uvjetima ili ima tendenciju sakupljanja i stvrdnjavanja. Brtve su dostupne za sve standardne tipove pri rubničkih spojeva kao i širok raspon različitih tipova [5].

Jedan primjer odašiljača tlaka prikazan je na slici 6. Oklopljeno kućište štiti senzor i elektroniku od utjecaja okoline. Odašiljač tlaka na slici 6. dolazi iz serije 984M. Ovi odašiljači tlaka mogu mjeriti manometarski, diferencijalni i vakuumski tlak. Omogućuju do 8 raspona tlaka i 2 izlazna signala, koja se lako mogu odabrati kratko spojnikom ili prekidačem. Za optimalnu prilagodbu, odašiljač se može prebacivati između različitih raspona tlaka. Tvornička postavka tlaka je najosjetljiviji raspon. Odašiljač diferencijalnog tlaka zraza 984M ima izlaz koji se može odabrati preko kratko spojnika s napajanjem od 0-10 Vdc ili izlaznim signalom od 4-20 mA, sa 3 žice, a dostupan je i s izlazom 4-20 mA sa 2 žice. Ovisno o tipu može mjeriti tlak između -100 Pa i 1 bara s vremenom odziva od 100 ms do 1 s. Temperatura rada i skladištenja ide od -20 ° C do + 70 ° C [25].



Slika 6: Odašiljač tlaka serije 984M [25]

Odašiljači tlaka imaju dobru otpornost na električni šumi stoga su prikladni za područja u kojima je potrebno prenositi signale na veće udaljenosti. Ovi uređaji ne zahtijevaju reguliranje napajanja, ali veća izlazna struja i potrošnja energije čine ih neprikladnima s baterijskom opremom kada uređaji rade pod velikim tlakom [6].

Odašiljači tlaka široko se koriste u pomorskim sustavima, a njihova primjena klasificirana je u dvije kategorije[14]:

- mjerenje elektroenergetskih sustava i
- mjerenje dubine razine vode.

Mjerenja brodskih elektroenergetskih sustava uključuju brodske motore, sustave upravljanja brodom, rashladne sustave i sustave za desalinizaciju. Ključna izvedba je mjerenje razine vode podvodne ronilačke opreme tijekom rada. Posada može izvoditi naknadne kontrole i povezane radnje na temelju mjerenja i prosudbe razine vode [14].

3.4.8. Prekidači tlaka

Prekidač tlaka (engl. *Pressure switch*) je uređaj koji može detektirati promjenu tlaka na unaprijed definiranoj razini te otvoriti ili zatvoriti električni ili pneumatski kontakt. Prekidači tlaka nalaze primjenu u mnogim područjima, od nadzora tlaka u motornom ulju i elektrohidrauličke regulacije do nadzora tlaka procesne tekućine za alarme i prekidanje. Postoje prekidači manometarskog i diferencijalnog tlaka [5]. Može se reći da najčešće nalaze primjenu u strojogradnji. U mnogim primjenama prekidači tlaka zamijenili su mehaničke prekidače tlaka, koji su nekad bili vrlo česti, jer zbog svoje izvedbe nude dodatne funkcije poput digitalnog zaslona, podešavanja točke prekidača i znatno veću pouzdanost [7].

Prekidači tlaka obično daju samo binarne signale poput točke prekida ili resetiranja, odnosno je li dosegnut određeni tlak ili nije, ali ne prikazuje koliko je izmjereni tlak udaljen od prekidača ili točke resetiranja. Zbog toga mnogi prekidači imaju zaslon i dodatno analogni izlazni signal [7].

Na slici 7. prikazan je primjer jednog elektroničkog prekidača tlaka sa digitalnim zaslonom branda WIKA. Raspon tlaka ovog prekidača je od 0 do 6 bara (0 do 87 psi) i ima dizajn dijafragme. Preciznost prekidača je $\pm 1\%$. Prekidač je izrađen je od nehrđajućeg čelika. Ima preklopni kapacitet od 250 mA i napajanje od 15 - 35 V DC, dva preklopna izlaza i može se montirati pomoću priključka G 1/4 inča.



Slika 7: Prekidač tlaka WIKA [7]

Većina osnovnih elemenata koja se može naći kod manometara i odašiljača tlaka može se naći i u konstrukciji prekidača tlaka, poput:

- Bourdonove cijevi,
- mijeh,
- dijafragme i
- izvedbi u čvrstom stanju.

Prekidačima se još mogu dodati prekidači na bazi klipa. Također, većina osnovnih pravila koja se koriste za specifikaciju manometra i odašiljača primjenjuju se na specifikaciju prekidača [5]. Prekidač niskog tlaka koristi se i za alarmiranje ukoliko je tlak prenizak. Prekidač visokog tlaka koristi se za alarmiranje uslijed previsokih vrijednosti, uključivanje i isključivanje kompresora u skladu s tlakom u tlačnom spremniku zraka ili u tlačnoj cijevi rashladnog kompresora, dok se prekidač razlike tlakova koristi kod hidrauličkih sustava regulacije kapaciteta rashladnih kompresora ili kod važnih filtara (tlačni filtar goriva i ulja) [9].

Prekidači tlaka važan su dio sustava automatskog upravljanja strojarnicom na brodu. Neki brodski sustavi imaju po dvije jednake pumpe pa je jedna u pogonu dok je druga rezervna. Ukoliko se tlak u cjevovodu smanji do vrijednosti podešene na niskotlačnom prekidaču ovaj uključuje rezervnu pumpu [8].

3.4.9. Pretvarači tlaka

Pretvarač tlaka (engl. *Pressure transducers*) je sklopljeni senzor koji ima definirane priključke za tlak i određene električne izlaze uz opće funkcionalnosti svakog senzora [8]. Kod pretvarača tlaka općenito je slučaj da ispravna funkcija mora biti osigurana mjerama koje se odnose na dizajn korisnika. Stoga je ova opcija obično prikladna samo za serijsku opremu. Prilikom kupnje pretvarača tlaka obično se nudi mnoštvo senzorskih modula koji se mogu izravno prilagoditi zahtjevima korisnika [7].



Slika 8: Pretvarači tlaka [8]

Pretvarači tlaka mogu generirati veći izlazni napon ili frekvenciju zbog toga što imaju ugrađene pojačivače signala kako bi pojačali veličinu izlaznog signala na 5 V ili 10 V, a izlaz frekvencije na 1-6 kHz. Povećana jakost signala omogućuje upotrebu pretvarača tlaka u većem dometu od elektronike [6]. Morski pretvarači tlaka mogu se koristiti u bilo kojem dijelu broda, jer su jedinstveno dizajnirani da funkcioniraju u nepovoljnim uvjetima (na primjer, u tekućim sučeljima i pri visokim temperaturama / tlakovima).

Pretvarači mogu poboljšati performanse i učinkovitost u sustavima poput pogonskih jedinica i prijenosnika ili u mjerenju i upravljanju temperaturama, tlakom spojke ili uljnim sustavima. Pretvarači tlaka dizajnirani su da budu otporni na vibracije koje se događaju na brodovima. Iako su pretvarači vrlo osjetljivi i precizni, još uvijek mogu ponuditi točna očitavanja čak i u uvjetima koji uključuju velike količine gibanja. Suvremeni proizvođači pretvarača tlaka osmislili su sustave koji mogu osigurati višu razinu performansi na brodovima [3].

4. MJERENJE RAZINE TLAKA KORIŠTENJEM SIEMENS S7-1200 PLC UREĐAJA

Programibilni logički kontroleri (engl. *programmable logic controller* - PLC) ili industrijska računala predstavljaju računalo čija je osnovna svrha upravljanje industrijskim procesima. Programibilni logički kontroleri ili kraće PLC preuzeli su glavnu ulogu u upravljanju i nadzoru automatiziranih industrijskih sustava i procesa.

Rad PLC uređaja temelji se na praćenju stanja perifernih uređaja spojenih na ulaze, odnosno izlaze te izvršavanju programa koji donosi odluke na temelju ulaznih vrijednosti. Zbog njihove raširene primjene u svim granama industrije, proizvođači sve više ulažu u razvoj novih, malih, moćnih i prema cijeni vrlo pristupačnih PLC uređaja. Jedan primjer PLC uređaja je serija S7-1200 uređaja proizvođača Siemens.

4.1. SIEMENS S7-1200 PLC

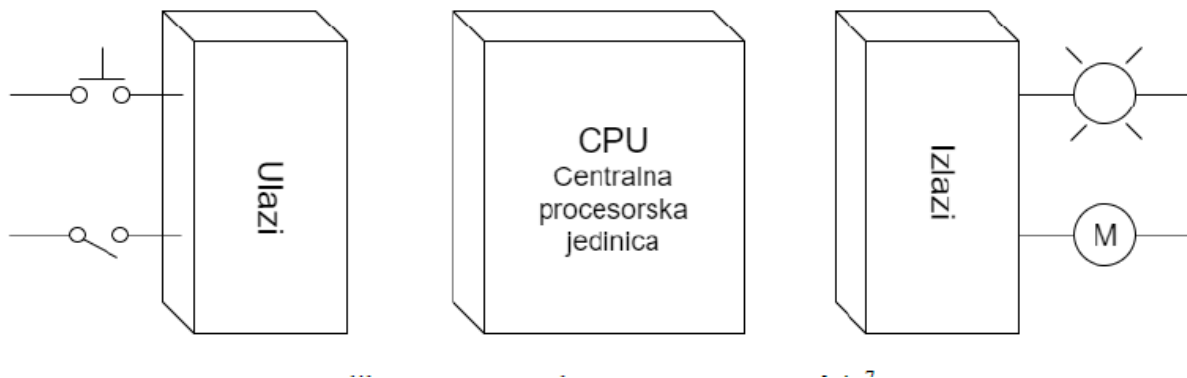
Seriya Siemens uređaja S7-1200 predstavlja seriju modularnog PLC uređaja koji se može koristiti za automatizaciju tehničkih sustava različite složenosti, od jednostavnih do srednje složenih sustava. Prema mogućnostima i tehničkim karakteristikama PLC uređaji iz serije S7-1200 mogu se smjestiti između serije S7-200 i S7-300. Memorijska organizacija, podatkovna struktura, adresiranje, programski jezik i skup naredbi su gotovo identični seriji PLC uređaja S7-300 [10].

PLC S7-1200 pruža fleksibilnost i snagu za upravljanje širokim spektrom uređaja koji podržavaju potrebe za automatizacijom. Kompaktni dizajn, fleksibilna konfiguracija i moćan set instrukcija čine S7-1200 odličnim rješenjem za upravljanje širokim spektrom aplikacija [24].

Uz navedeno, serija S7-1200 podržava serijske protokole RS-232 i RS-485 (za koje postoje dodatni komunikacijski moduli) ili PROFIBUS protokol, MODBUS protokol (koristi se modul za RS-485 komunikaciju) te USS protokol (eng. *Universal Serial Interface Protocol*) za komunikaciju sa Siemensovim pretvaračima napona i frekvencije koji podržavaju USS protokol [10]. Osim navedenoga S7-1200 podržava i PROFINET protokol s RJ45 priključkom.

4.2. CENTRALNA PROCESORSKA JEDINICA (CPU)

CPU predstavlja procesor koji izvršava instrukcije programa koji se nalaze unutar memorije. Ulazi su priključci za periferne uređaje kao što su npr. senzori, tipkala, prekidači i ostale industrijske komponente. Spomenuto praćenje stanja ulaznih vrijednosti se odnosi na čitanje vrijednosti stanja uređaja spojenih na ulaze i njihovo spremanje u memoriju. Izlazi su priključci za periferne uređaje čiji su rad i aktivnost upravljani programom PLC uređaja. Izlazni uređaji mogu biti sirene, elektromotori, pneumatski uređaji i slične komponente koje se koriste u industriji.



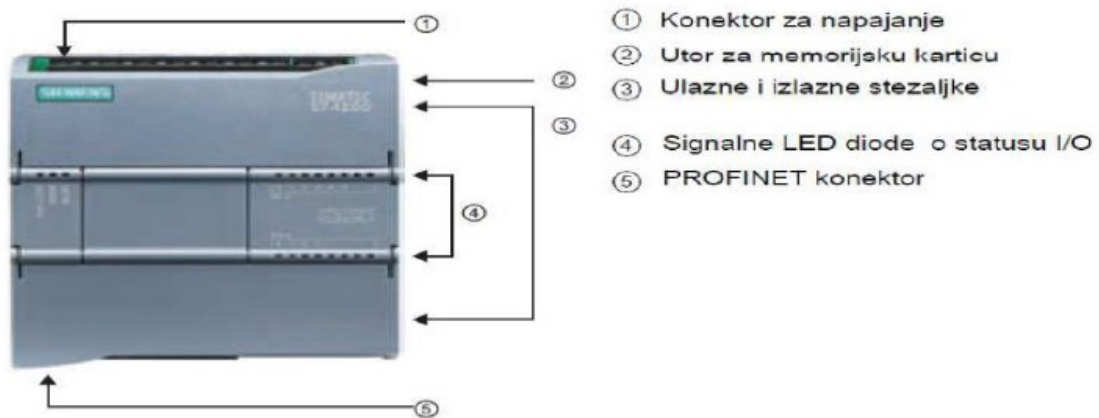
Slika 9: Komponente PLC uređaja [24]

CPU kombinira mikroprocesor, integrirani krug napajanja, ulazni i izlazni krug, ugrađeni PROFINET, upravljanje s I/O i analogne ulaze na ploči u kompaktnom kućištu za stvaranje moćnog kontrolera. CPU sadrži logiku potrebnu za nadgledanje i upravljanje uređajima u aplikaciji. CPU nadgleda ulaze i mijenja izlaze u skladu s logikom korisničkog programa, što može uključivati Booleovu logiku, brojanje, vrijeme, složene matematičke operacije i komunikaciju s drugi inteligentni uređaji.

Sve centralne procesorske jedinice imaju integrirano PROFINET sučelje čime je omogućeno međusobno povezivanje više PLC uređaja i operatorskih panela putem komunikacijskih protokola temeljenih na Ethernet i TCP/IP protokola (eng. Transport Control Protocol / Internet Protocol). PROFINET sučelje također omogućuje spajanje na postojeće sustave automatizacije u kojima postoji PROFINET komunikacija [10].

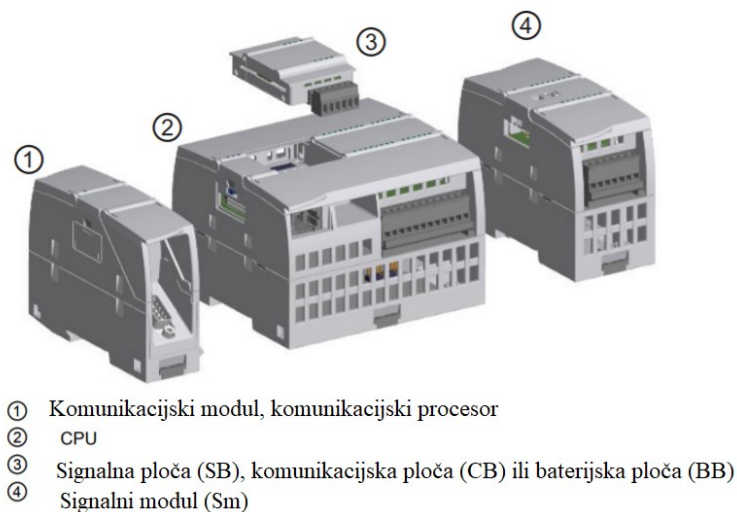
Za konfiguriranje i programiranje PLC uređaja serije S7-1200 i razvoj nadzorno-upravljačkih aplikacija za operatorske panele serije KTP, namijenjene seriji S7-1200, koristi se programski alat TIA Portal koji ima integrirani programski alat STEP 7 Basic i WinCC [10]. U

ovom korištenjem programa Tia portal i HMI sučelja napraviti će se simulacija rada Siemens PLC S7-1200 uređaja (slika 10.). Ove simulacije se mogu koristiti pouzdano i konstantno kako bi se testirao rad PLC uređaja.



Slika 10: Siemens S7-1200 PLC [24]

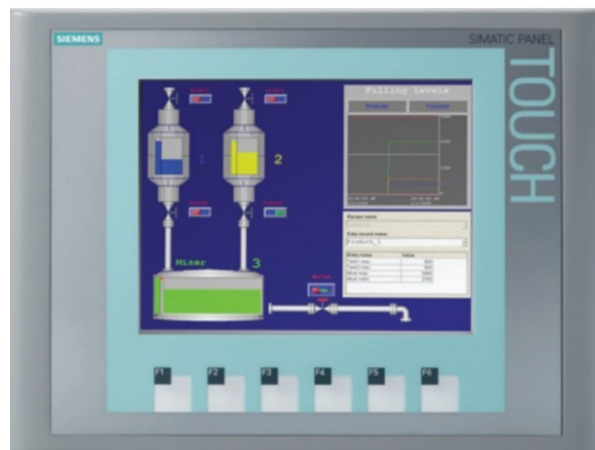
Svaki CPU pruža namjenske HMI veze za podršku do 3 HMI uređaja. Vrste HMI ploča u konfiguraciji utječu na ukupan broj HMI-a. Na primjer, može se koristiti do tri SIMATIC *Basic* panela spojena na CPU, ili se može imati do dva SIMATIC *Comfort* panela s jednim dodatnim *Basic* panelom [24]. PLC S7-1200 nudi niz modula i priključnih ploča (slika 11.) za proširenje mogućnosti CPU-a s dodatnim I / O ili drugim komunikacijskim protokolima [24].



Slika 11: Prikaz različitih modula [24]

Signalni moduli (eng. *Signal Modules*) služe za prilagodbu različitih digitalnih i analognih procesnih signala s kojima se S7-1200 povezuje, te povećanje broja ulaza i izlaza u konfiguraciji PLC uređaja. Komunikacijski moduli (eng. *Communication Modules*) se koriste za povezivanje PLC uređaja sa ostalim inteligentnim uređajima putem serijske komunikacije ostvarivanjem veze od točke do točke [10].

Budući da vizualizacija postaje standardna komponenta za većinu dizajna strojeva, osnovni paneli SIMATIC HMI pružaju uređaje s dodirnim zaslonom za osnovne zadatke upravljanja i nadzora [24]. Slika 12. prikazuje primjer izvedbe HMI panela (model KTP-700 Basic).



Slika 12: KTP 600 osnovni HMIpanel [24]

STEP 7 pruža korisničko okruženje za razvoj, uređivanje i nadgledanje logike potrebne za upravljanje aplikacijom, uključujući alate za upravljanje i konfiguriranje svih uređaja u projektu, poput kontrolera i HMI uređaja. STEP 7 nudi opsežni mrežni sustav pomoći [24].

4.3. STEP 7 PROGRAMSKI JEZICI

STEP 7 pruža standardne programske jezike za praktičnost i učinkovitost u razvoju programa upravljanja za određenu aplikaciju, pa tako postoji:

- Ljestvičasti dijagram (engl. *Ladder Logic diagram* - LAD) je grafički programski jezik. Prikaz se temelji na shemama krugova i dodavanju programskih blokova u mrežu i njihova međusobna komunikacija. Ovo je zadani dijagram u TIA Portal programu.
- Funkcijski blokovski dijagram (engl. *Function Block diagram*- FBD) je programski jezik koji se temelji na grafičkim logičkim simbolima koji se koriste u logičkoj algebri.

- Strukturirano upravljani jezik (engl. *Structured Control language* - SCL) je viši programski jezik zasnovan na unosu teksta. Slično poput programiranja u programskim jezicima koji se koriste u informatici poput Pythona, Jave i dr.

Kada se kreira programski blok koda, odabire se programski jezik koji će se koristiti u tekućem projektu. Korisnički program može koristiti blokove koda stvorene u bilo kojem ili svim programskim jezicima.

4.4. TIA PORTAL STEP 7

TIA Portal program predstavlja dobro integriranu aplikaciju automatizacije (eng. *Totally Integrated Automation Portal* – TIA) koji pruža integriranu podršku [20]:

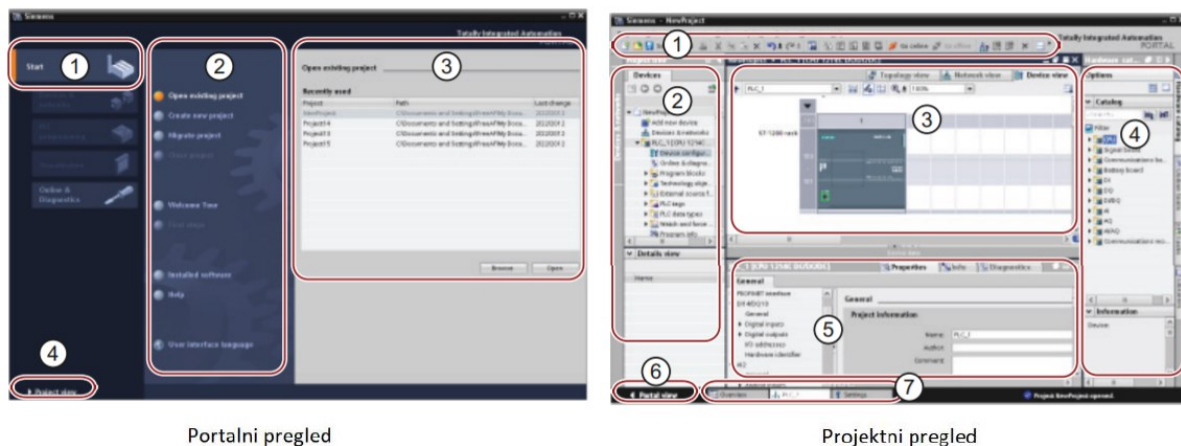
- razvijanja,
- uređivanja,
- praćenja i
- upravljanja procesa i projekta.

TIA Portal program uključuje alate koji omogućuju lakše upravljanje uređajem u projektu, kao što su na primjer PLC uređaji, HMI uređaji i drugi povezani uređaji. TIA Portal omogućuje standardne programske jezike koji su opisani ranije poput ljestvičastog dijagrama (LAD), funkcijskog dijagrama (FBD) i strukturiranog programskog jezika (SCL) za bolju učinkovitost u razvijanju programa. Korištenjem TIA programa i HMI sučelja omogućena je automatizacija, testiranje i simulacija ponašanja sustava pod unaprijed određenim uvjetima i okolnostima što je od velikog značaja kada je bitno analizirati kako će se određeni sustav ponašati.

Prilikom stvaranja programskih blokova potrebno je odabrati kojim će se programskim jezikom pisati, a kao zadani je LAD. Program može iskoristiti programski blok kreiran u bilo kojem od programskih jezika. Za instaliranje TIA programa na računalu potrebno je imati Windows operativni sustav, a program se pokreće isključivo kao administrator. U ovom će se radu na primjeru TIA Portal programa V15 STEP 7 pokazat simulacija PLC uređaja i odašiljača tlaka za mjerenje razine tlaka u mediju. STEP 7 pruža korisničko okruženje za razvoj logike kontrolera, konfiguriranje HMI vizualizacije i postavljanje mrežne komunikacije.

S ciljem povećanja produktivnosti i praktičnosti, TIA Portal STEP 7 pruža dva različita pogleda (slika 13.) na projekt [24]:

- skup portala usmjerenih na zadatak koji su organizirani prema funkcionalnosti alata - *Portal view* i
- projektno orijentirani prikaz elemenata unutar projekta - *Project view*.



Slika 13: Portalni i projektni pregled [24]

Jednim odabirom može se prebacivati između prikaza portala i prikaza projekta, a uvijek se odabere onaj koji će osobi u datom trenutku biti najpraktičniji. Na slici 13. lijeva slika prikazuje portalni pregled, a brojevi redom označavaju sljedeće:

- 1 - Portal za različite zadatke,
- 2 - Zadatak za izabrani portal,
- 3 - Selektivni panel i
- 4 - Mijenjanje izgleda projekta.

Desna slika na slici 13. prikazuje projektni pregled, a brojevi redom predstavljaju sljedeće:

- 1 - Izbornici,
- 2 - Navigacijska traka,
- 3 - Radna stanica,
- 4 - Kartice zadataka,
- 5 - Prozor za pregled rada,
- 6 - Mijenjanje izgleda projekta,
- 7 - Izbornik za odabir uređaja.

Sa svim ovim komponentama na jednom mjestu, jednostavan je pristup svim dijelovima projekta.

Kako bi se prebacilo između otvorenih uređivača, jednostavno se klikne na drugi uređivač. Također se može organizirati da se dva uređivača pojave zajedno, poredani vertikalno ili vodoravno.

Na slici 14. prikazan je odašiljač tlaka 984M koji će se uzeti kao primjer za spajanje na PLC S7-1200 uređaj. Senzor tlaka ima raspon tlaka od -100 do 100 Pa, napajanje od 18 do 30 VDC, izlazni napon od 4 - 20 mA i radnu temperaturu od -20 °C do +70 °C.

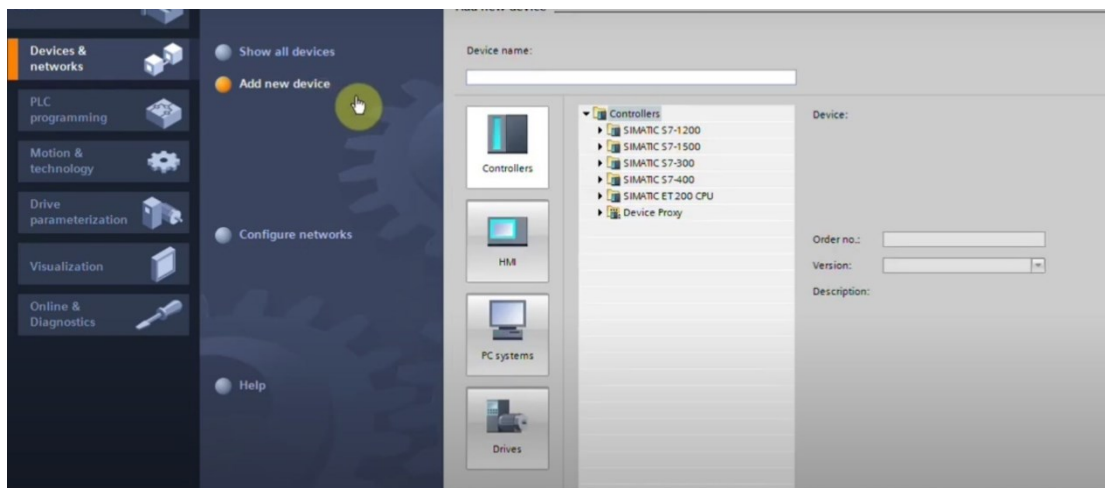


Slika 14: Odašiljač tlaka 984M [24]

Na početnom zaslonu ponudit će se opcija kreiranje novog projekta (engl. *create new project*) i projekt će imati naziv koji mu se dodijelio ranije prilikom paljenja. Nakon početnog prozora program će korisnika odvesti na idući korak gdje se može odabrati jedna od opcija:

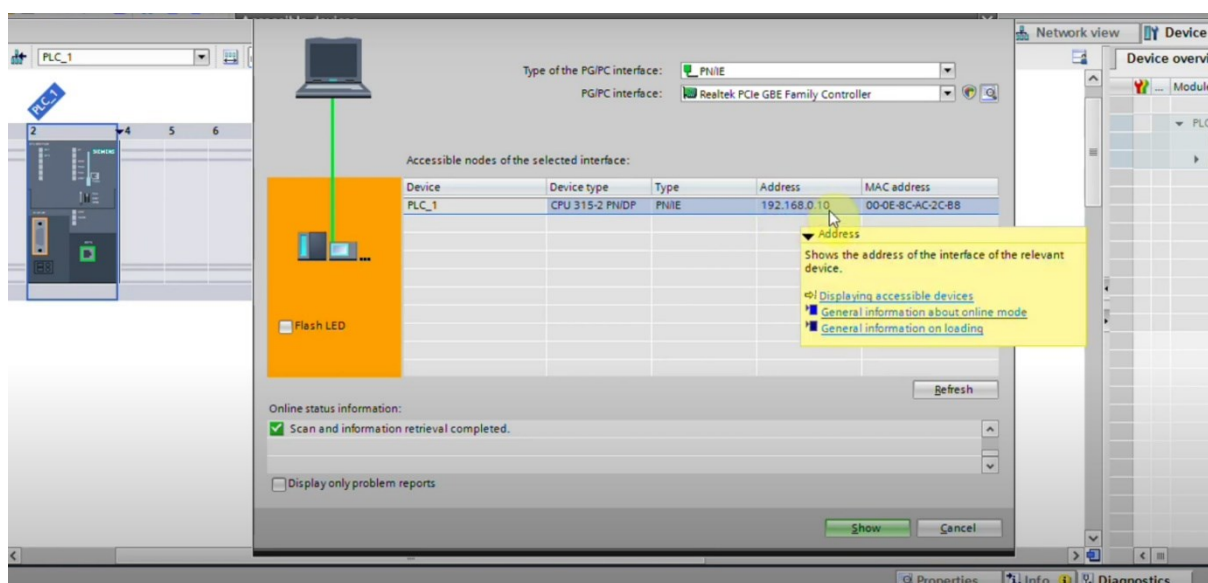
- postavljanje uređaja (eng. *configure a device*),
- programiranje PLC-a (eng. *write PLC program*),
- postavljanje tehnološkog objekta (eng. *configure technology object*) i
- postavljanje HMI uređaja (eng. *configure an HMI screen*).

Odabrat će se opcija postavljanje uređaja. Nakon što se sve postavi mora se odabrati PLC koji će se koristiti (slika 15.). Odabrat će se S7-1200 PLC uređaj s verzijom novim od verzije 4 zbog toga što manje verzije ne podržavaju simulacije. Nakon toga program se prebacuje u projektni način rada. Također, u projekt se može dodati i HMI panel, a kad se odaberu postavke HMI panela može ga se povezati s PLC uređajem.



Slika 15: Odabir PLC uređaja [Izrada autora]

Nakon što se odabere PLC uređaj, prikaže se zaslom kao na slici 16. gdje se vidi odabrani uređaj. Zatim se na izborniku ide na *Online* prikaz dostupnih uređaja. U dostupnim uređajima prikazat će se PLC uređaj koji se odabrao te će se on odabrati za daljnji rad (slika 16).



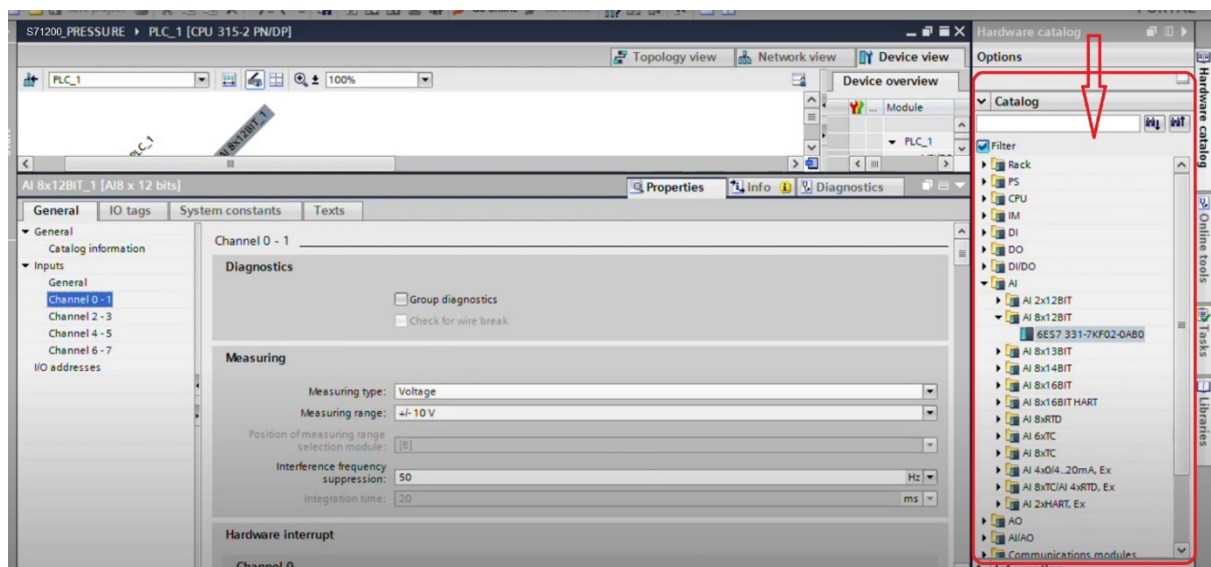
Slika 16: Odabir pristupačnih PLC uređaja [Izrada autora]

Ako se odabrao i HMI panel prikazat će se ispod PLC uređaja te ga se odmah može spojiti sa PLC uređajem kao što je prikazano na slici 17. Povezani su preko PROFINET (PN) sabirnice koja se može naknadno konfigurirati.



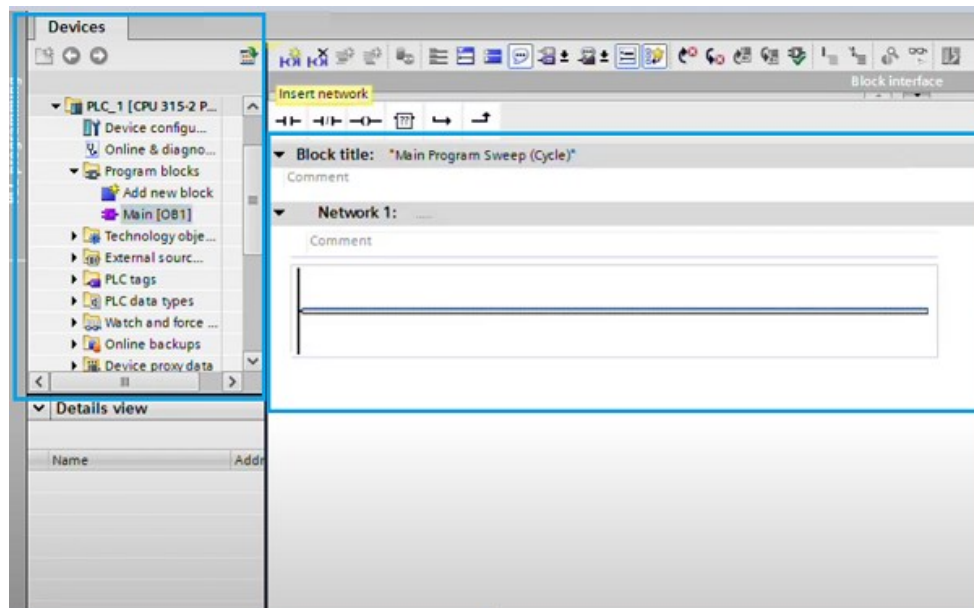
Slika 17: Povezani PLC uređaj i HMI panel [20]

Zatim je potrebno odabrati analogne ulaze (engl. *Analog Input* - AI) koji se nalaze u sekciji *Catalog* na desnoj strani sučelja. Kada se odabere analogni izlaz potrebno ga je konfigurirati i dodati na PLC uređaj (slika 18.). Pod sekcijom *I/O adrese* (engl. *I/O addresses*) potrebno je podesiti i IP adresu koja će povezivati spojene dijelove na PLC uređaj preko PN sabirnice.



Slika 18: Dodavanje analognih ulaza [Izrada autora]

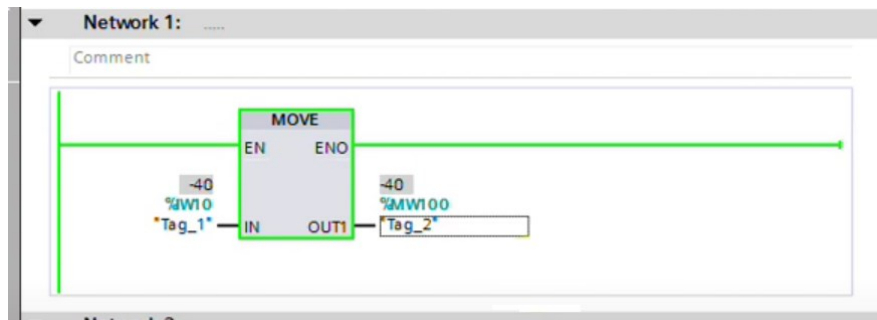
Nakon što se sve podesi potrebno je programirati PLC uređaj. Programiranje se izvodi klikom na opciju MAIN [OB1] koja služi za početak programiranja PLC-a. Kada se odabere MAIN [OB1] otvorit će se sučelje za programiranje prikazano na slici 19. Za programiranje izabranog PLC-a koristit će se LAD dijagram koji prema početnik postavkama programa stoji kao zadani način programiranja. Ovaj je dio programa glavno je okruženje za zapisivanje, projektiranje i / ili pozivanje bilo kojeg funkcionalnog bloka koji treba izvršiti.



Slika 19: Programiranje PLC uređaja [Izrada autora]

Nadalje, potrebno je definirati kontakte koji se najčešće definiraju desnim odabirom opcije definiraj kontakt (engl. *define tag*). Osim toga, može se i na vizualnom prikazu PLC uređaja odabrati ulazi i izlazi. Jedan analogni izlaz je već postavljen. Ako se neki parametar pogrešno postavi uvijek je to moguće popraviti jer i sam program upozori na problem s definiranjem postavki uređaja. Nakon što se sve definira potrebno je to dodati u programski blok koji će tlak iz procesa pretvoriti u informaciju koju će PLC uređaj razumjeti i moći se s njom koristiti.

Koristiti će se programski blok s funkcijom MOVE koju je moguće pronaći korištenjem kartice zadataka i odabirom datoteke operacije *move(eng. move operations)*. MOVE operacija zatim se dovodi na novu programsku liniju. Operacija MOVE je od koristi kada se na PLC uređaj doda mogućnost spajanja analognih izlaza (AI) koje se nalazi u sučelju s lijeve strane kako je prikazano na slici 18. Nakon što se sve postavilo može se definirati programski blok MOVE. programiranje PLC- te će se definirati programski blok MOVE. Ulaz u MOVE (IN) definira se nekim nazivom, to može biti naziv senzora tlaka, a izlaz (OUT) predstavlja izlazni tlak. Kada se sve postavi program se može pripremiti za rad. Ovakvi senzori tlaka danas svoju primjenu pronalaze svakodnevno, a puno su bolji od elastičnih senzora tlaka.



Slika 20: Prikaz rada programskog bloka [Izrada autora]

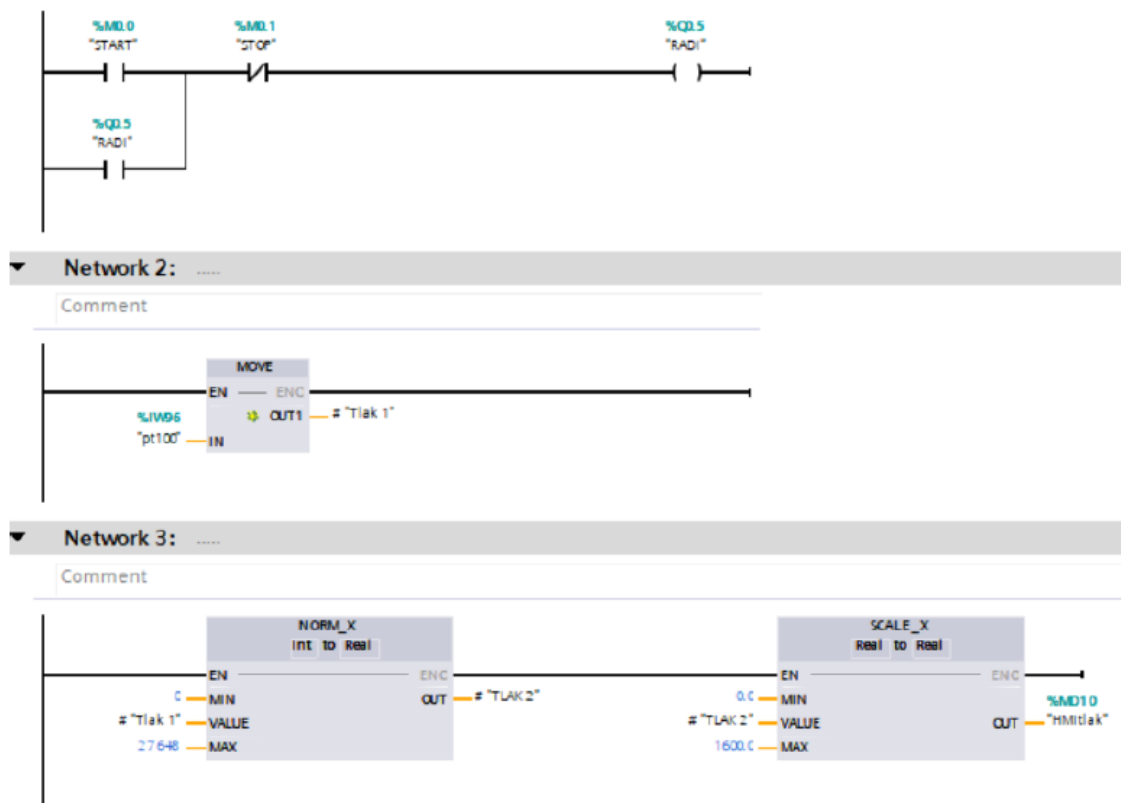
Nadalje, prikazati će se jedan tzv. složeniji primjer mjerenja tlaka korištenjem prikladnog senzora i PLC uređaja. Konfiguracija PLC uređaja je pokazana u ranijem primjeru.

Programski blok prikazan na ranijem primjeru (slika 20.) nadogradit će se sa dodatnim modulima i novim programskim blokovima, a to su NORM i SCALE (slika 21.). Dodat će se programski blok NORM koji će podatke koje primi od MOVE programskog bloka, koji je ranije definiran, pretvoriti u realan broj. U MOVE programskom bloku definiran je cijeli broj (INT) kao format podataka. S obzirom da programski blok NORM služi za konverziju može se pronaći u navigacijskoj traci pod opcijom *conversion operations* te se on zatim dodaje u novu liniju koda. Sada je potrebno definirati što će novi programski blok davati na ulazu, a što na izlazu, isto kao i kod ranijeg primjera. Ulaz NORM bloka mora se postaviti na isti format kao što ima i MOVE blok, zato što prima podatke od MOVE bloka, a izlaz je realan broj (REAL) [20].

Sada je potrebno definirati i same podatke nakon što su definirani tipovi podataka. Na ulazu imaju tri ponuđene stavke “MIN”, “VALUE”, “MAX” kao što se vidi na slici 21. MAX označava maksimalni doseg (*range*) koji trenutni programski blok može čitati, a MIN je minimalni. Za MIN će se postaviti 0, a za MAX 27648. Vrijedno MIN i MAX su unaprijed definirane u priručniku i ne mogu se mijenjati. Stavka “VALUE”, označava podatak koji će NORM pretvarati u ovom slučaju izlaz od programskog bloka MOVE iz formata INTEGER vrijednosti u realni broj [20].

Sada će se u seriju s NORM programskim blokom postaviti novi blok SCALE koji služi da vrijednosti koje dobije programski blok NORM preko MOVE-a može iščitati na HMI panelu, u ovom primjeru, očitavat će se tlak zraka. Nakon što se postavi programski blok NORM idući programski blok koji se treba postaviti u seriji s programskim blokom NORM je programski blok SCALE. Sada se kao i kod NORM bloka moraju podesiti tipovi podatka te ostale tri vrijednosti

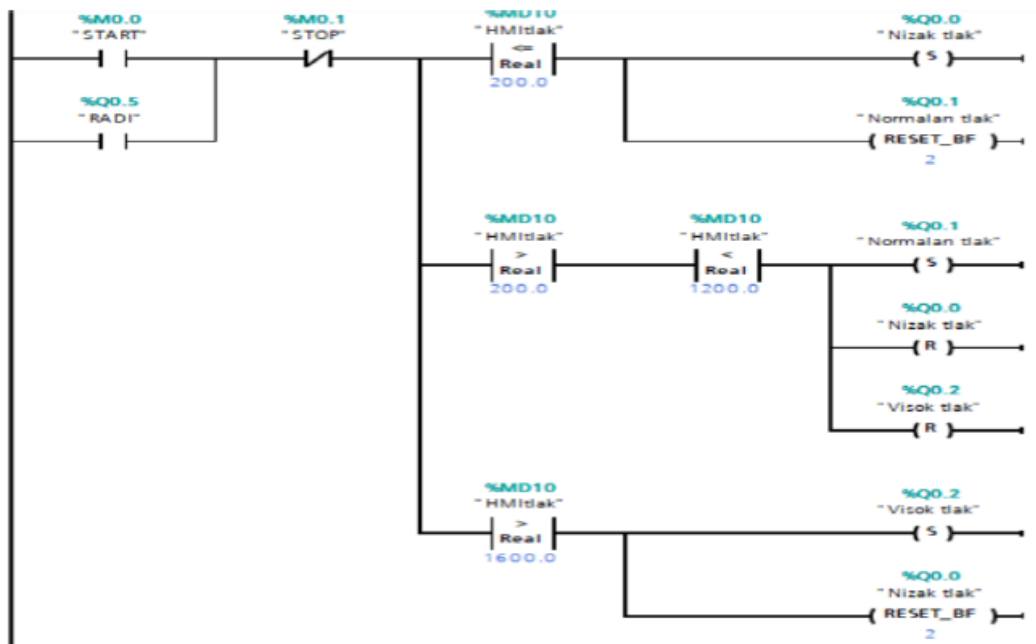
MIN, MAX i VALUE. U SCALE programskom bloku moguće je postaviti proizvoljne vrijednosti za MIN i MAX, a one ovise o vrsti senzora koji se koriste. Na početku ovog poglavlja kao primjer koristio se odašiljač tlaka 984M koji može mjeriti razinu tlaka od -100 do 100 Pa. Pa se za MIN i MAX mogu postaviti te vrijednosti i u tom slučaju na VALUE će se očitavati vrijednost od -100 do 100Pa(slika 20.) [20]. MIN vrijednost je -100, a MAX vrijednost je 100 Pa.



Slika 21: Konfiguracija programskih blokova [20]

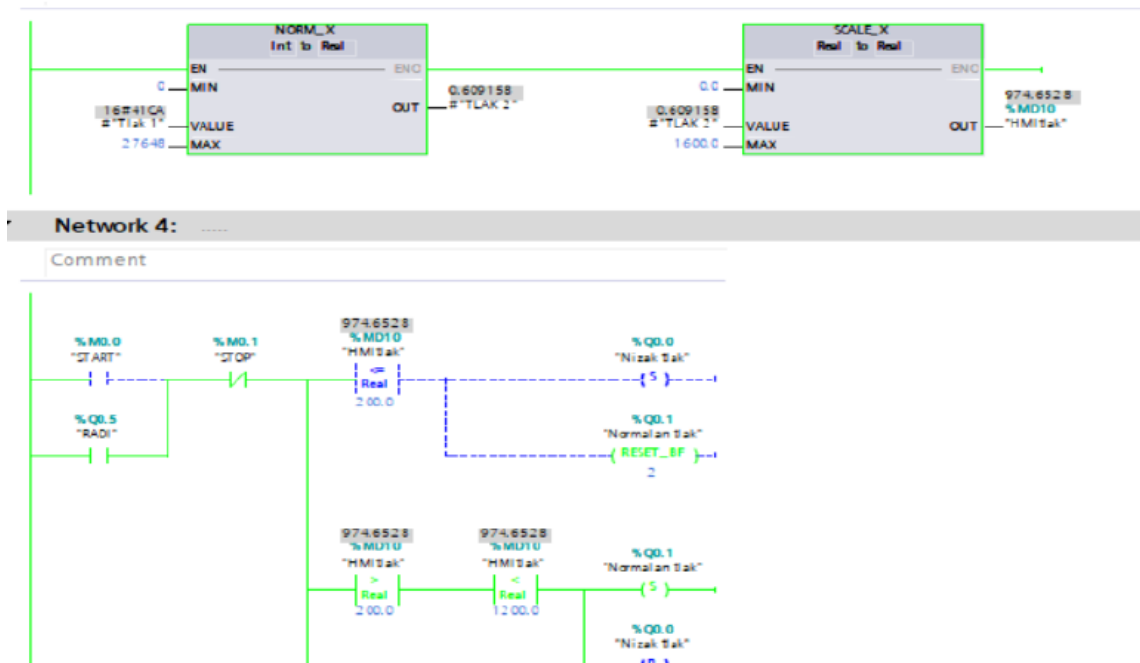
Sada će se definirati alarmi koji će služiti kao indikatori tlaka i aktivirat će se kada tlak pređe određenu granicu. Označit će se u tri boje plavo, zeleno i crveno i svaka boja predstavlja jednu razinu tlaka. Plava boja predstavlja niski tlak, zelena boja predstavlja idealni tlak i crvena boja predstavlja prevelik tlak. Kao prvi korak postaviti će se kontakt START preko opcije definiraj kontakt (engl. *define tag*), nakon što se postavi kontakt START u seriju s njim postavljamo kontakt manje/jednako vrijednosti. kontakt manje/jednako vrijednosti može se pronaći koristeći karticu zadataka. Vrijednost koju će pratiti kontakt manje/jednako vrijednosti biti će izlaz programskog bloka SCALE [20]. Ovaj kontakt će se programirati tako da se aktivira kada vrijednost očitano tlaka bude jednaka ili manja od 200. U seriju sa kontaktom manje vrijednosti spaja se izlaz koji će uključiti plavu indikaciju i sukladno tome nazvat će se plavo.

Nakon toga se linijski kod grana prema dole se dodaje kontakt veće vrijednosti od 200 koji će kao i prijašnji, pratiti vrijednost na programskom bloku SCALE. Za donju vrijednost definirat će se 200. Sada će se dodati u seriju s njim kontakt manje vrijednosti koji će za donju vrijednost imati podatak 1000. Sada će se definirati kada će se upaliti zeleni indikator, a to će biti kada je vrijednost između 200 i 1000 [20]. Sada će se definirati crveni indikator. Kod novog kontakta za donju vrijednost postaviti će se 1000, a kad izlaz da vrijednost veću od 1000 uključiti će se crveni indikator. Još se mora napraviti kako će se indikatori isključiti kada vrijednost bude veća ili manja od definiranih vrijednosti razine tlaka. Dodati će se novi kontakt RESET_BF paralelno s plavim indikatorom. U gornjoj komandi ovog kontakta dodat će se zeleni indikator, a u donjoj broj 2. Definirani kontakt ugasiti će crveni i zeleni alarm kada se razina tlaka spusti na razinu plavog alarma, odnosno indikatora. S ciljem boljeg razumijevanja komande RESET_BF bitno je navesti da se svakom indikatoru dodijelila vrijednost, plavi (0), zeleni (1) i crveni (2). Kontakt RESET_BF resetira podatke od gornje zadane vrijednost pa sve do donje zadane vrijednosti o ovom slučaju od 1 (zeleni indikacija) do 2 (crvena indikacija). Nakon toga u paraleli s zelenim svjetlom spaja se kontakt RESET. Spajaju se dva kontakta RESET. Jedan za plavi i jedan za crveni indikator. U paraleli s crvenim indikatorom također dodajemo komandu RESET_BF, ali u ovom slučaju za gornju vrijednost označava se plavo a za donju broj 2. Potrebno je još dodati liniju za gašenje indikatora. Dodati će se na početak kontakt RESET, a na izlaz RESET_BF od plavo do 2.



Slika 22: Definiranje tri indikatora tlaka [20]

Na ovaj način programirani su tri indikatora tlaka i prikazani su na slici 22. Također, ovim postupkom završeno je postavljanje projekta te je PLC uređaj spreman za rad. Na temelju opisane sheme mjerenja razine tlaka korištenjem odašiljača i PLC uređaja mogu se vidjeti brojne prednosti u automatizaciji određenih procesa u industriji. Ovakvi programi automatizacije u pomorskoj industriji mogu imati jako veliki značaj i ulogu jer se mogu koristiti za upravljanje i nadziranje razina određenih tekućina, fluida i plinova ali i za signalizaciju curenja plina u cjevovodnim sustavima i dr. Korištenjem indikatora očite su brojne prednosti u pravovremenom reagiranju, a slika 23. prikazuje programski blok kada je u aktivnom stanju.



Slika 23: Programski blok u aktivnom stanju [20]

5. ZAKLJUČAK

U završnom radu obradila se tema mjerenja tlaka. Opisali su se senzori koji se koriste za mjerenje kao i vrste tlaka koje se mogu mjeriti. Postoje razne senzorske tehnologije za mjerenje tlaka u različitim medijima, a kroz povijest su se one mijenjale i značajno napredovale kako je tehnologija izrade senzora napredovala. Mjerenje tlaka dobiva se iz djelovanja pritiska koji uzrokuje pomicanje položaja, promjenu otpora ili drugih fizičkih učinaka koji se zatim mjere. Može se mjeriti apsolutni, manometarski i diferencijalni tlak, a razlikuju se u referentnim točkama. Manometarski tlak mjeri se u odnosu na atmosferski tlak, apsolutni tlak se mjeri u odnosu na vakuum, a diferencijalni tlak je razlika između dva tlaka, odnosno tlaka koji se mjeri i referentnog tlaka.

Senzor je uređaj koji mjeri neku fizičku veličinu i prevodi je u električni signal. Robusno i precizno mjerenje svakog senzora tlaka pruža potrebne podatke za osnovne upravljačke i nadzorne programe kako bi se povećala učinkovitost, smanjila potrošnja energije i precizno pozicioniranje. Osim toga, mjerenje tlaka u pogledu detekcije stanja opreme i ranog upozoravanja, također pruža osnovnu podatkovnu potporu za pouzdanost i stopu kvara brodskih sustava. Dostupne su mnoge različite vrste senzora tlaka, koji funkcioniraju slično, ali se oslanjaju na različite temeljne tehnologije kako bi pretvorili tlak u izlazni signal. Da bi sustav u kojem se koriste senzori tlaka radio ispravno i isplativo, važno je da korišteni senzor tlaka daje točna i precizna očitavanja po potrebi tijekom duljeg vremenskog razdoblja bez potrebe za održavanjem ili zamjenom. Različiti procesi zahtijevaju različitu razinu preciznosti i točnosti. Što je senzor precizniji, to je skuplji, pa je ekonomski isplativo odabrati senzore koji mogu zadovoljiti željenu preciznost. Senzori tlaka se mogu podijeliti najčešće na elastične, električne, vakuum i dr. Elastični senzori tlaka su Bourdonova cijev, dijafragma i mijeh, a danas se više koriste električni senzori tlaka poput odašiljača, pretvarača i prekidača tlaka. Električni senzori tlaka koriste mehaniku i princip rada elastičnih uređaja ali iznutra koriste elektroniku. Ova vrsta senzora je puno preciznija i ima brže vrijeme odziva od elastičnih senzora zbog toga što koristi elektroniku unutar senzora. Bourdonova cijev vjerojatno je najviše korišteni instrument za mjerenje manometarskog i diferencijalnog tlaka. Odašiljači tlaka imaju dobru otpornost na električni šumi stoga su prikladni za područja u kojima je potrebno prenositi signale na veće udaljenosti. Ne zahtijevaju reguliranje napajanja, ali veća izlazna struja i potrošnja energije čine ih neprikladnima s baterijskom opremom kada uređaji rade pod velikim tlakom. Široko se koriste u pomorskim sustavima u elektroenergetskim sustavima i kod mjerenja razine dubine

vode. Prekidači tlaka nalaze primjenu u mnogim područjima, od nadzora tlaka u motornom ulju i elektro hidrauličke regulacije do nadzora tlaka procesne tekućine za alarme i prekidanje. Prekidači tlaka važan su dio sustava automatskog upravljanja strojarnicom na brodu. Neki brodski sustavi imaju po dvije jednake pumpe pa je jedna u pogonu dok je druga rezervna. Ukoliko se tlak u cjevovodu smanji do vrijednosti podešene na niskotlačnom prekidaču ovaj uključuje rezervnu pumpu. Morski pretvarači tlaka mogu se koristiti u bilo kojem dijelu broda, jer su jedinstveno dizajnirani da funkcioniraju u nepovoljnim uvjetima (na primjer, u tekućim sučeljima i pri visokim temperaturama / tlakovima). Pretvarači mogu poboljšati performanse i učinkovitost u sustavima poput pogonskih jedinica i prijenosnika ili u mjerenju i upravljanju temperaturama, tlakom spojke ili uljnim sustavima. Pretvarači tlaka dizajnirani su da budu otporni na vibracije koje se događaju na brodovima.

Korištenjem odašiljača tlaka ili bilo kojeg drugog senzora tlaka zajedno s PLC uređajem mogu se vidjeti brojne prednosti u automatizaciji određenih procesa u pomorskoj industriji. Ovakvi programi automatizacije u pomorskoj industriji mogu imati jako veliki značaj i ulogu jer se mogu koristiti za upravljanje i nadziranje razina određenih tekućina, fluida i plinova ali i za signalizaciju curenja plina u cjevovodnim sustavima i ili kotlovnica i dr.

LITERATURA

- [1] Almassri, A. M.; Wan Hasan, W. Z.; Wan Hasan, S. A. Ishak, A. J.; Ghazali, A. M.; Talib, D. N.; Wada, C.: *Pressure Sensor: State of the Art, Design, and Application for Robotic Hand*, Journal of Sensors, 2014.
- [2] Asyiddinn N.: *Pressure Measurement*, 2008., URL: http://piyushpanchal2007.mynetworksolutions.com/images/1._PRESSURE.pdf, (pristupljeno 26.6.2021.)
URL: http://piyushpanchal2007.mynetworksolutions.com/images/1._PRESSURE.pdf, (pristupljeno 20.6.2021.)
- [3] An Introduction to the Marine Applications of Submersible Pressure Transducers, 2018., URL: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=17213>, (pristupljeno 19.6.2021.)
- [4] Bourdon Tube Pressure Gauge for Ships, URL: <http://www.machineryspaces.com/Bourdon-tube-pressure-gauge.html>, (pristupljeno 18.6.2021.)
- [5] Edwards, E.J.; Otterson, W.D: *Pressure Measurement Basics*, Measurement and Control, 2014. 47 (8), str. 241-245
- [6] Edwards, E.: *Common Types of Pressure Sensors*, URL: <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/pressure-sensors/>, (pristupljeno 24.6.2021.)
- [7] Gaßmann, E.; Gries, A.: *Electronic Pressure Measurement: Basics, applications and instrument selection*, Die Bibliothek der Technik, Germany, 2009.
- [8] Gaßmann, E.: *Introduction to Pressure Measurement*, American Institute of Chemical Engineers, 2014, 3, str. 217-222
- [9] Kralj, P.: *Priručnik iz brodskih cjevovoda*, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2014.
- [10] Lisak, T.; Maršić, D.; Malčić, G.; *Primjena PLC uređaja serije S7-1200 za upravljanje i vizualizaciju sustava odvodnje otpadnih voda*, MIPRO 2011. Computers in Technical Systems & Intelligent Systems, 2011.
- [11] Pressure and Pressure Measuring Devices, URL: file:///C:/Users/Moris/Downloads/93_Sample_Chapter.pdf, (pristupljeno 20.6.2021.)
- [12] Pressure Measurement, URL: <https://resources.saylor.org/>, (pristupljeno 18.6.2021.)
- [13] Pressure measurement instruments - U-tube Manometer, Mercury Barometer & Aneroid Barometer, URL: <http://www.machineryspaces.com/pressure-measurement.html>, (pristupljeno 17.6.2021.)

- [14] Pressure Sensor and Transmitter for Marine System Application, 2020. URL: https://www.microsensorcorp.com/Details_Pressure-Sensor-and-Transmitter-for-Marine-System-Application.html, (pristupljeno 16.6.2021.)
- [15] Pressure sensors: The Design Engineers Guide, URL: <https://www.avnet.com/wps/portal/abacus/solutions/technologies/sensors/pressure-sensors/media-types/water/>, (pristupljeno 20.6.2021.)
- [16] Pressure Sensing 101 – Absolute, Gauge, Differential & Sealed pressure, 2020., URL: <https://esenssys.com/differences-between-pressure-sensors/>, (pristupljeno 22.6.2021.)
- [17] Pressure sensor: What is a pressure sensor?, URL: <https://www.omega.co.uk/literature/transactions/volume3/pressure2.html>, (pristupljeno 23.6.2021.)
- [18] Pressure Measurement Overview, 2021, URL: <https://www.ni.com/en-us/innovations/white-papers/11/pressure-measurement-overview.html>, (pristupljeno 24.6.2021.)
- [19] Pressure Switches: Overview of Pressure Switches, URL: <https://www.gemssensors.com/product/pressure/pressure-switches>, (pristupljeno 26.6.2021.)
- [20] Suton, S.: *Mjerenje tlaka pomoću PLC uređaja i prikazivanje rezultata na HMI sučelju*, Diplomski rad, Sveučilište u Splitu, Split, 2018.
- [21] Wolf, P.: *Pressure Sensors*, University of Michigan, 2021., URL: <https://eng.libretexts.org/@go/page/22375>, (pristupljeno 25.6.2021.)
- [22] What is a Pressure Sensor?, URL: <https://www.hbm.com/en/7646/what-is-a-pressure-sensor/>, (pristupljeno 20.6.2021.)
- [23] Yoder, J.: *From Gauges to Transmitters - A Primer On Pressure Measurement Technology*, 2011, URL: <https://bit.ly/2Ub1gGe>, (pristupljeno 23.6.2021.)
- [24] S7-1200 Programmable Logic Controller, URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/465/36932465/att_106119/v1/s71200_system_manual_en-US_en-US.pdf, (1.7.2021)
- [25] Differential Pressure Transmitter 984M, URL: <https://www.beck-sensors.com/en/differential-pressure-transmitter-984/>, (3.7.2021.)
- [26] Evangelista Torricelli, URL: <https://www.britannica.com/biography/Evangelista-Torricelli>, (3.7.2021.)

POPIS SLIKA I TABLICA

Popis slika:

Slika 1: Odnosi između različitih tlakova [22].....	5
Slika 2: Manometar s brojčanikom [16].....	6
Slika 3: Manometar u obliku U-cijevi [2]	13
Slika 4: Bourdonova cijev [4]	14
Slika 5: Mjerenje tlaka s mijehom [13].....	15
Slika 6: Odašiljač tlaka serije 984M [25].....	17
Slika 7: Prekidač tlaka WIKA [7]	19
Slika 8: Pretvarači tlaka [8].....	20
Slika 9: Komponente PLC uređaja [24]	23
Slika 10: Siemens S7-1200 PLC [24]	24
Slika 11: Prikaz različitih modula [24]	24
Slika 12: KTP 600 osnovni HMI panel [24]	25
Slika 13: Portalni i projektni pregled [24].....	27
Slika 14: Odašiljač tlaka 984M [24]	28
Slika 15: Odabir PLC uređaja [Izrada autora].....	29
Slika 16: Odabir pristupačnih PLC uređaja [Izrada autora]	29
Slika 17: Povezani PLC uređaj i HMI panel [20]	30
Slika 18: Dodavanje analognih ulaza [Izrada autora]	30
Slika 19: Programiranje PLC uređaja [Izrada autora].....	31
Slika 20: Prikaz rada programskog bloka [Izrada autora].....	32
Slika 21: Konfiguracija programskih blokova [20].....	33
Slika 22: Definiranje tri indikatora tlaka [20]	34
Slika 23: Programski blok u aktivom stanju [20].....	35

Popis tablica:

Tablica 1: Međunarodne jedinice tlaka [7]	5
---	---