

# Nadzor električne energije pomoću PLC-a i Modbus TCP protokola

---

Jelić, Vedran

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:519545>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-30**

*Repository / Repozitorij:*

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



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

**Stručni studij**

**Komunikacija između PLC-a i uređaja za nadzor električne  
energije pomoću Modbus TCP protokola**

**Završni rad**

**Vedran Jelić**

**Osijek, 2019.**

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA  
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada na preddiplomskom stručnom studiju**

Osijek, 24.09.2019.

**Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za obranu završnog rada  
na preddiplomskom stručnom studiju**

<b>Ime i prezime studenta:</b>	Vedran Jelić
<b>Studij, smjer:</b>	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
<b>Mat. br. studenta, godina upisa:</b>	A 4400, 21.09.2018.
<b>OIB studenta:</b>	16023187779
<b>Mentor:</b>	Doc.dr.sc. Ivan Aleksi
<b>Sumentor:</b>	
<b>Sumentor iz tvrtke:</b>	Filip Belić
<b>Predsjednik Povjerenstva:</b>	Izv.prof.dr.sc. Tomislav Keser
<b>Član Povjerenstva:</b>	Doc.dr.sc. Tomislav Matić
<b>Naslov završnog rada:</b>	Nadzor električne energije pomoću PLC-a i Modbus TCP protokola
<b>Znanstvena grana rada:</b>	<b>Procesno računarstvo (zn. polje računarstvo)</b>
<b>Zadatak završnog rada</b>	Tema uključuje slijedeće dijelove. Opći opis uređaja za nadzor električne energije Siemens SENTRON PAC3200. Opći opis Modbus TCP protokola. Detalji i specifičnosti komunikacije sa Siemens SENTRON PAC3200. Primjeri povezivanja PLC-a (Siemens S7) i uređaja Siemens SENTRON. PAC3200 u TIA Portal razvojnom okruženju.
<b>Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):</b>	Izvrstan (5)
<b>Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:</b>	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 3 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
<b>Datum prijedloga ocjene mentora:</b>	24.09.2019.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

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

Osijek, 07.10.2019.

**Ime i prezime studenta:**

Vedran Jelić

**Studij:**

Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika

**Mat. br. studenta, godina upisa:**

A 4400, 21.09.2018.

**Ephorus podudaranje [%]:**

13

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Nadzor električne energije pomoću PLC-a i Modbus TCP protokola**

izrađen pod vodstvom mentora Doc.dr.sc. Ivan Aleksi

i sumentora

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

Potpis studenta:

## Sadržaj

1.	UVOD .....	1
1.1	Zadatak i opis rada .....	2
2.	ENERGIJA .....	3
2.1	Električna energija .....	3
2.2	Energija i rad električne struje .....	4
2.3	Korisnost.....	4
2.4	Snaga i energija izmjenične struje .....	5
2.5	Efektivna vrijednost.....	8
2.6	Trokut snaga .....	8
3.	MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA.....	10
3.1	Digitalni instrumenti.....	13
3.2	Siemens Sentron PAC3200 .....	18
3.3	PLC.....	21
3.4	MODBUS TCP/IP .....	23
4.	KORIŠTENA UPRAVLJAČKA OPREMA .....	26
4.1	„Set22“ funkcijski blok.....	28
4.2	„Sequencer“ funkcijski blok.....	31
4.3	Sistemska funkcijski blok „MB_CLIENT“ .....	35
4.4	Podatkovni blok „Tags“ .....	37
4.5	Konfiguracija SENTRON PAC3200 za TCP/IP protokol .....	37
4.6	Aplikacija za kontrolu sustava .....	37
5.	ZAKLJUČAK.....	38
	LITERATURA.....	39
	SAŽETAK.....	40
	ABSTRACT .....	41
	ŽIVOTOPIS.....	42

## 1. UVOD

U ovom radu razmatra se Mjerenje i analiza trenutne ili potrošene električne energije može se postići uporabom SIEMENS SENTRON PAC3200 mjernim uređajem. Upravljanje sustava, spremanje izmjerenih vrijednosti u bazu podataka i upravljačko sučelje (SCADA) omogućeno je korištenjem SIEMENS S7 PLC-a. Uređaji se mogu povezati u jednu cjelinu pomoću Modbus TCP/IP komunikacijskog protokola. TIA Portal, Siemens programsko okruženje, nudi predefimirani funkcijski blok za Modbus TCP/IP komunikaciju, koji ovakav tip komunikacije čini još lakšim. Također TIA Portal omogućuje jednostavnu izradu programa za upravljanje sustava kao i obrada izmjerenih vrijednosti i njihov prikaz na upravljačkom sučelju.

## 1.1 Zadatak i opis rada

Zadatak ovog rada je objasniti kako se može mjeriti električna energija pomoću SIEMENS SENTRON PAC3200 mjernog uređaja i SIEMENS S7-1200 PLC-a putem MODBUS TCP/IP komunikacije.

U radu je potrebno objasniti slijedeće pojmove:

- Utjecaj električne struje i njen učinak prilikom toka
- Definirati će se snaga i električna energija
- Razlike između snaga istosmjerne i izmjenične struje
- Povijest mjerenja električne energije i kako smo danas razvili digitalne mjerne instrumente

Pobliže treba objasniti SIEMENS SENTRON PAC3200 mjerni uređaj kao i PLC sa SCADA sustavom. Potrebno je objasniti i TCP/IP protokol, kako je nastao i gdje se danas koristi. Treba opisati kako se povezuje mjerni uređaj sa PLC-om putem MODBUS TCP/IP protokola. Potrebno je objasniti primjer programa u SIEMENS programskom okruženju TIA portal i njegove blok dijagrame.

## 2. ENERGIJA

Poznavanje pojmova energije, rada i snage vrlo je važno za razumijevanje energetike kao grane znanosti. Energija je sposobnost tijela ili sustava da djeluje ili obavlja nekakav rad. Za paljenje žarulje, grijanje kuće ili samo pomicanje tijela potrebna je energija. Ako se energija pojavljuje zbog gibanja tijela, npr. kotrljanja lopte, naziva se kinetička energija. Pojavljivanje energije zbog same pozicije tijela, npr. lopte na vrhu brda koja se još ne kreće, naziva se potencijalna energija. Energija se može pojaviti u različitim oblicima kao što su električna, mehanička, kemijska ili toplinska. Energija je jedna od najvažnijih čimbenika u čovječanstvu.

### 2.1 Električna energija

Električna energija predstavlja najkvalitetniji oblik energije. Rijetko se koristi neposredno, već se pretvara u druge oblike kao što su toplinska, mehanička, kemijska i svjetlosna energija. Prednosti električne energije su lako transformiranje, sigurna i ekonomična distribucija korisnicima, brza raspoloživost i jednostavno mjerenje potrošnje.

Nedostatak je što se takva energija ne može skladištiti u značajnim količinama te je potrebno u svakom trenutku osigurati jednak omjer proizvodnje i potrošnje energije.

Kod pojma električna energija važno je spomenuti pojam toplinski učinak. Jouleova toplina definirana je kao toplinski učinak električne struje, uzrokovan električnim otporom, prilikom prolaska električne struje vodičem. Zakon transformacije električne energije u toplinu naziva se u počast fizičaru Jouleu, Jouleov zakon (2-1).

$$Q = I^2 * R \quad [J] \quad (2-1)$$

Jouleova toplina se ne stvara samo u električnim uređajima za zagrijavanje, nego u svim uređajima gdje struja nailazi na nekakav otpor. Većina uređaja, žice i vodovi imaju nekakav otpor, stoga će se prolaskom struje pojavljivati toplina. Zagrijavanjem uređaja može doći do izgaranja izolacije. Izolacija u električnim uređajima proizvodi se od raznih materijala kemijskog sastava. Takva toplina je nepoželjna i nastoji se svesti na minimum. Električne vodove treba dizajnirati tako da se u trajnom pogonu pri normalnoj struji ne zagrijavaju iznad maksimalno dopuštene temperature koju izolacija još može izdržati. Ovim zakonom fizičar James P. Joule dokazao je da se rad električne struje može pretvarati u druge oblike energije. [1]



## 2.2 Energija i rad električne struje

Osim iznosa energije, koja se u električnim uređajima ili troši ili proizvodi, veliku važnost ima još jedna fizikalna veličina zvana snaga.

Iz fizike je poznato da je obavljeni rad djelovanje sile na putu. Trošenjem energije izvršava se rad koji je jednak energiji. Rad je trošenje energije, odnosno djelovanje sile na određenom putu. Električni motor koji pokreće stroj obavlja rad.

Rad je obavljen kada je uspostavljeno gibanje tijela dok na njega djeluje suprotna sila koja se protivi gibanju. Rad je isto obavljen svaki puta kada se energija pretvori iz jednog oblika u drugu. Npr. za podizanje predmeta sa zemlje na neku određenu visinu potrebno je utrošiti energiju. Rad bi mogao obaviti čovjek, ali brži način je obaviti rad pomoću dizalice. Obavljeni rad bio bi jednak u oba slučaja kao i potrošena energija, no ipak postoji razlika u načinu obavljanja rada. Jasno je da će dizalica rad obaviti brže od čovjeka, stoga dizalica ima veću brzinu, odnosno snagu.

Snaga prikazuje odnos obavljenog rada u jedinici vremena. Električna snaga je količina rada obavljena prilikom toka struje kroz vodič u vremenu.

## 2.3 Korisnost

Idealiziranim prilikama možemo prikazati transformaciju gdje se sva električna energija na trošilu pretvara u koristan rad. U realnim uređajima samo će dio energije koja je na raspolaganju biti iskorištena za rad uređaja onako kako je konstruiran. Ostatak energije potrošit će se prilikom transformacije u samom uređaju zbog njegove nesavršenosti. Već sam prijenosni vodič zbog svog omskog otpora troši pri prolazu struje od izvora do trošila. Jedan dio energije stoga će energija na trošilu biti umanjena za taj iznos.

Iako se energija ne može izgubiti ili nestati, onaj dio energije koji nije iskorišten naziva se gubitak (2-2).

$$W_g = W_u - W \quad [J] \quad (2-2)$$

Korisnost nekog uređaja definirana je kao omjer korisno upotrijebljene energije i ukupne energije. [2]

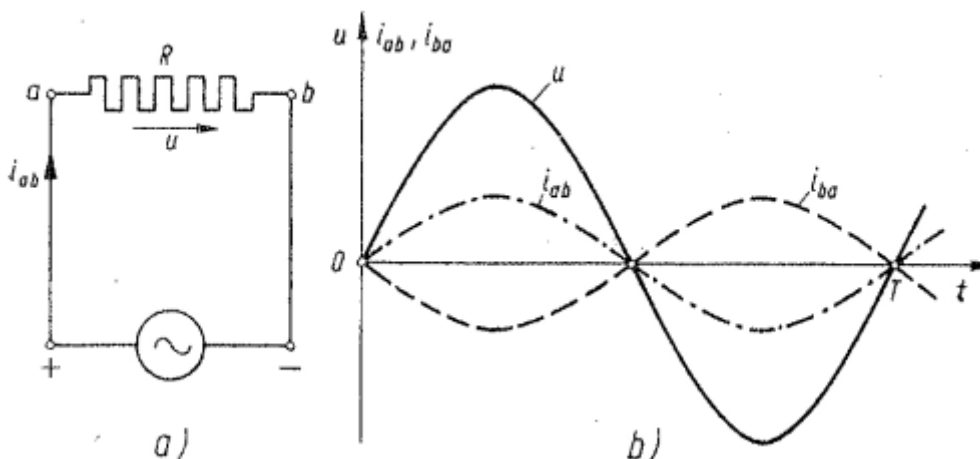
## 2.4 Snaga i energija izmjenične struje

Do sada spominjani pojmovi odnosili su se na istosmjernu struju. U tom slučaju struja i napon su bile vremenski konstantne veličine, stoga je i snaga konstantne veličine. Uzmemo li u obzir da su kod izmjeničnih sustava struja i napon vremenski promjenjive veličine, snaga je svakog trenutka drugog iznosa. Iz tog razloga sustavi se ne razmatraju samo s omskim otporom, nego s pojavama koje su vezane uz trajno promjenjiva električna i magnetska polja. Kako je magnetsko polje vezano uz induktivitet, a električno polje uz kapacitet, uzimaju se u obzir svi parametri strujnog kruga  $R$ ,  $L$  i  $C$ .

Kako bi se prikazali odnosi sva tri parametra u strujnom krugu, potrebno je posebno svaki parametar odrediti kako se međusobno odnose struja i napon. Razlike u trenutnim stanjima karakterizirane su kutom faznog pomaka.

### Omski otpor

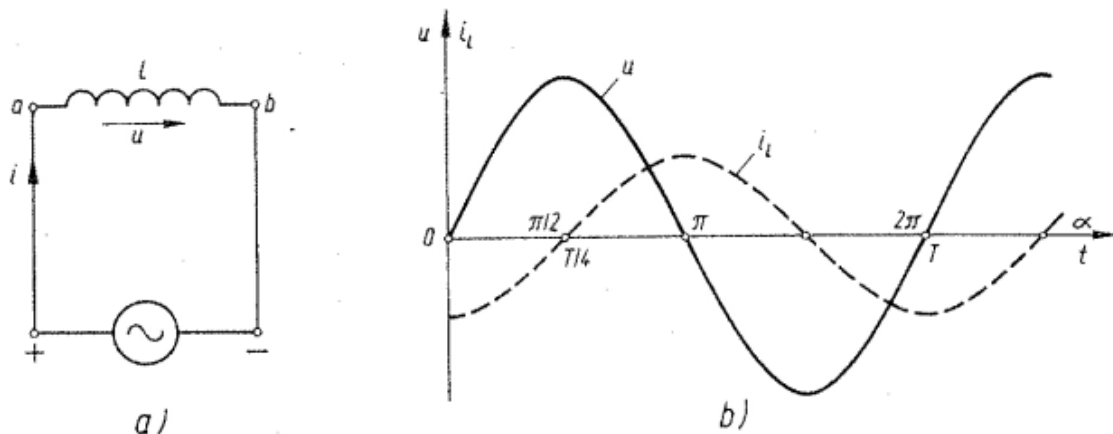
Kod razmatranja čistog omskog otpora ostale parametre zanemarujemo. Struja je sinusnog oblika kao i napon te su jednakih frekvencija. Kod priključenja omskog otpora na izvor izmjeničnog napona fazni pomak između struje i napona jednak je nuli.



Slika 2.1 - Priklučak omskog otpora na izvor sinusnog napona. Grafički prikaz vremenske promjene napona i struje za strujni krug na slici.[2]

## Priključenje induktiviteta

Drugi slučaj koji se razmatra je priključenje induktiviteta na sinusni napon. Ostale parametre zanemarujemo. Izmjenični izvor će omogućiti protjecanje promjenjive struje kroz zavojnicu što će rezultirati induciranjem napona samoindukcije unutra zavojnice.

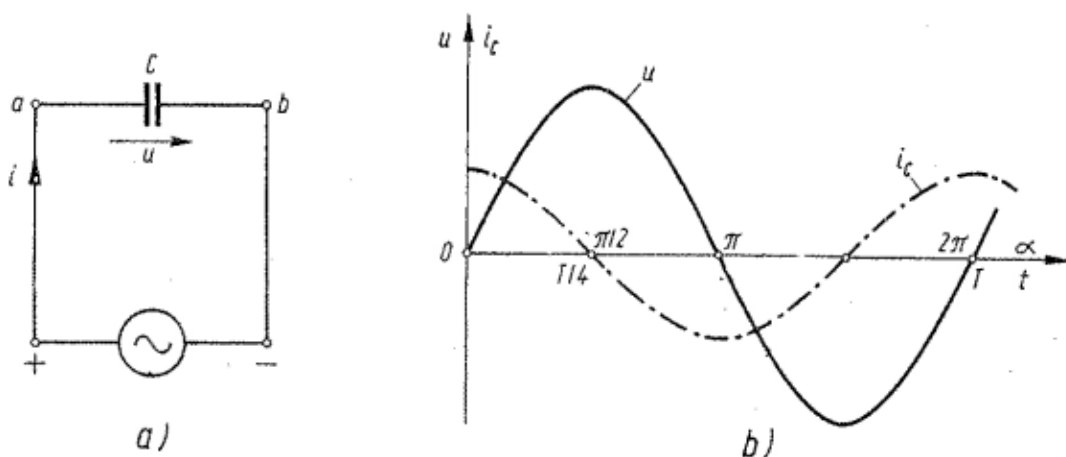


Slika 2.2 - Priključak induktiviteta na izvor sinusnog napona. Grafički prikaz vremenske promjene napona i struje za strujni krug na slici. [2]

Iz slike se može očitati kako struja kasni za naponom za  $T/4$ , odnosno fazni pomak je  $-90^\circ$ .

## Priključak kapaciteta

Treći slučaj koji se razmatra je priključenje kapaciteta na izvor sinusnog napona. Ostali parametri se zanemaruju.

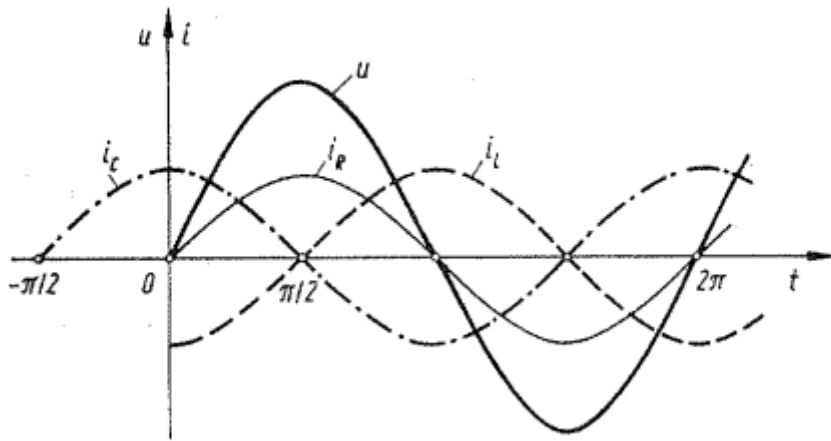


Slika 2.3 - Priključak induktiviteta na izvor sinusnog napona. Grafički prikaz vremenske promjene napona i struje za strujni krug na slici. [2]

Pod utjecajem izmjeničnog napona izvora kojem se tijekom vremena mijenja polaritet, pločice kondenzatora se nabijaju naizmjenice, malo pozitivnim, malo negativnim nabojem. Posljedica toga je gibanje elektrona vodičima od izvora prema kondenzatoru u jednom i u drugom smjeru. Struja ne teče kroz kondenzator, ali postoji u priključnim vodovima.

U ovom slučaju su struja i napon iste frekvencije, ali sada struja prethodi naponu za  $4/T$  odnosno fazni pomak između struje i napona je  $+90^\circ$ .

U strujnom krugu izmjenične struje računa se s time da se zbog promjenjivosti elektromagnetskog polja vrijednosti struje i napona ne poklapaju. Razlike u trenutnim stanjima karakterizirane su faznim kutom koji za tri slučaja može imati drugačije vrijednosti. Na slici su, uz krivulju napona, prikazane krivulje napona za sva tri slučaja opterećenja. Utjecaj kapaciteta povlači krivulju struje na desno, dok utjecaj induktiviteta povlači krivulju na lijevo. Utjecaj induktiviteta i kapaciteta su suprotni pa se može očekivati njihovo međusobno poništavanje ako djeluju zajedno u isto vrijeme.



Slika 2.4 - Fazno pomaknute induktivna i kapacitivna struja u odnosu na napon. [2]

Ovakav neskladan odnos trenutnih vrijednosti napona i struje najviše će se pokazati tamo gdje obje veličine djeluju istovremeno, pri korisnom radu što ga može obaviti energija izmjenične struje. [2]

## 2.5 Efektivna vrijednost

Efektivna vrijednost napona i struje kvantitativno povezuje amplitudu i oblik izmjeničnog napona i struje s količinom rada i snage u električnim strujnim krugovima. Drugim riječima efektivna vrijednost izmjenične struje odgovara onoj vrijednosti konstantne istosmjerne struje koja na otporniku otpornosti  $R$  proizvede istu količinu topline kao i ta izmjenična struja u istom vremenu na istom otporniku. Efektivna vrijednost računa se tako da se vrijednost amplitude struje ili napona podijeli s drugim korijenom iz dva.

### Faktor snage

Srednja vrijednost snage izmjenične struje za vrijeme jedne periode jednaka je umnošku efektivnih vrijednosti napona pomnoženo još s kosinusom faznog pomaka struje i napona. Budući da snaga ne ovisi samo o struji i naponu nego i o  $\cos \phi$ , taj faktor nazivamo faktor snage.

## 2.6 Trokut snaga

### Radna snaga

Jasno je da je cilj da faktor snage bude što veći. Umnožak efektivne vrijednosti struje i napona s faktorom snage (2-3) predstavlja korisni rad kojeg može obaviti energija izmjenične struje.

$$P = U \cdot I \cdot \cos\phi \text{ [W]} \quad (2-3)$$

### Jalova snaga

Pomnože li se efektivne vrijednosti struje i napona sa  $\sin \phi$  (2-4) dobiva se Jalova snaga. Snaga koja predstavlja beskorisnu energiju koja oscilira u strujnom krugu između izvora i trošila.

$$Q = U \cdot I \cdot \sin\phi \text{ [var]} \quad (2-4)$$

### Prividna snaga

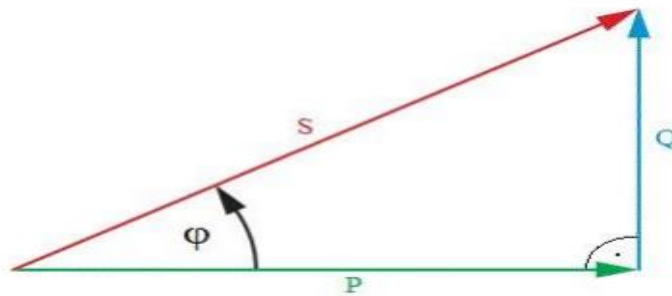
Sva induktivna i kapacitivna trošila imaju omski otpor. U realnom slučaju fazni pomak nikada ne može biti  $90^\circ$ . Električna energija koja dolazi u trošilo uvijek će biti veća od električne energije koja se vraća u izvor. To znači da se razlika energije negdje u krugu potrošila, odnosno

pretvorila u drugi oblik. Iskorišteni dio će biti veći smanjenjem faznog kuta, odnosno većim faktorom snage. Ovisno o faznom pomaku, snaga koju trošilo prima može biti:

- $\phi = 90^\circ$  - potpuno neiskorištena
- $0 < \phi < 90^\circ$  - djelomično iskorištena
- $\phi = 0^\circ$  potpuno iskorištena

Množenjem efektivnih vrijednosti struje i napona (2-5) ne dobiva se podatak o djelotvornosti, već samo prividna snaga. [2]

$$S = U \cdot I \text{ [VA]} \quad (2-5)$$

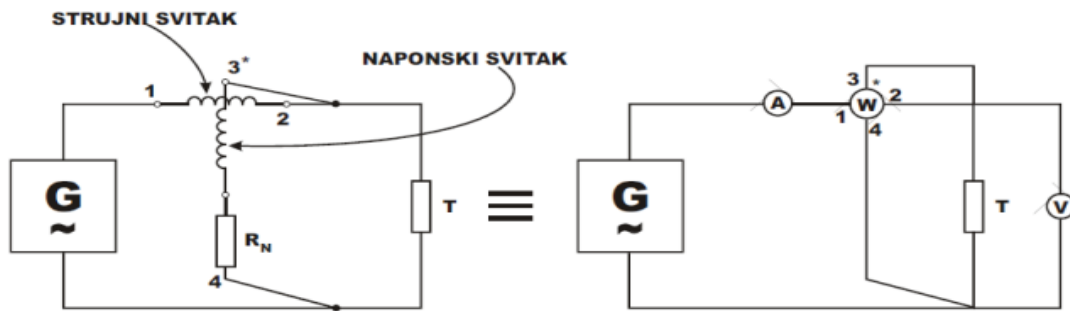


Slika 2.5 - Trokut snage [3]

### 3. MJERENJE ELEKTRIČNIH VELIČINA

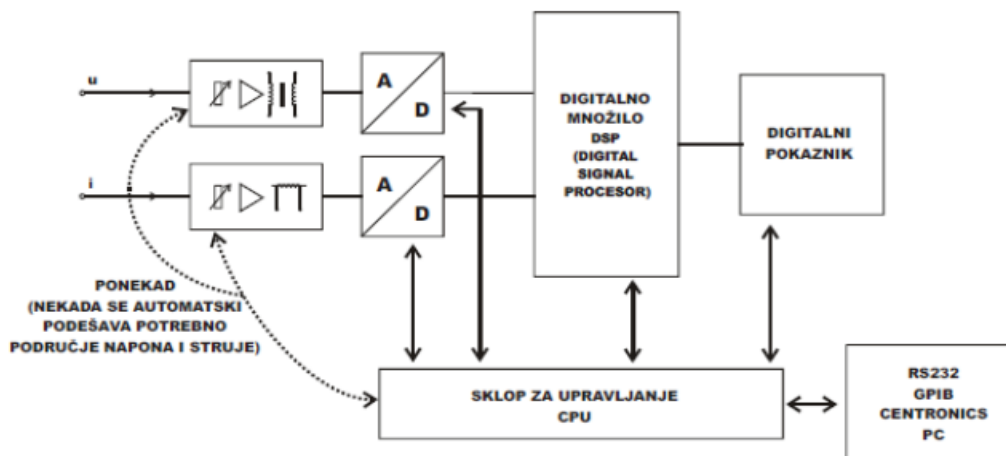
Mjereći napon i struju mjerenje snage kod istosmjerne struje obavlja se prema jednadžbi

$P = U * I$ . Osim ove indirektno metode, snagu je moguće izmjeriti direktno instrumentom. Instrument za mjerenje snage naziva se vatmetar. Elektrodinamički vatmetar je instrument s elektromehaničkom pretvorbom, dva svitka i četiri stezaljke (svije struje i dvije naponske). Strujni svitak se spaja u seriju trošilu, a naponski paralelno.



Slika 3.1 - Spajanje Analognog vatmetara [3]

Elektromehanički vatmetar spada u grupu analognih instrumenata. Pored analognih instrumenata postoje i digitalni instrumenti. S digitalnim instrumentima mjerenje je jednostavnije i brže te automatski odabiru strujna i naponska područja. Na digitalnom zaslonu pokazuju vrijednosti napona, struje, snage, jalovu i prividnu snagu i faktor snage. Pored ovih svih funkcija posjeduju i međusklopove za serijsku i paralelnu komunikaciju s PC uređajima. Ovakav način mjerenja omogućava automatizaciju mjerenja te brzu obradu i prikaz rezultata. [3]



Slika 3.2 - Digitalni vatmetar [3]

## Brojila energije

Brojila energije su slična elektrodinamičkim voltmetrima. Fiksni strujni namotaji priključeni su na glavni strujni krug i kroz njih teče struja opterećenja. Namotaji induciraju magnetno polje u kojem se giba rotor. Kroz rotor protječe struja, stvara se zakretni moment i rotor se počinje kretati. Zakretni moment jednak je umnošku struja (3-1).

$$M_e = k_1 * I * I \quad (3-1)$$

Struja rotora razmjerna je naponu (3-2) pa je zakretni moment razmjernan snazi:

$$M_e = k_2 * I * U = k_2 * P \quad (3-2)$$

Na istu os pričvršćena je kočna ploča koja se giba između polova permanentnog magneta i stvara kočni moment razmjernan brzini okretanja (3-3).

$$m_z = k_3 * n \quad (3-3)$$

Kod ravnotežnog stanja oba su momenta jednaka. Združivanjem konstanti množenjem cijele jednadžbe s vremenom (3-4) dobivamo da je broj okretaja pomnožen s vremenom jednak utrošenom radu.

$$n \cdot t = k_2 * P * t = k * W \quad (3-4)$$

Ovakva brojila većinom se upotrebljavaju za istosmjernu struju. Za mjerenje izmjenične struje koriste se indukcijska brojila.

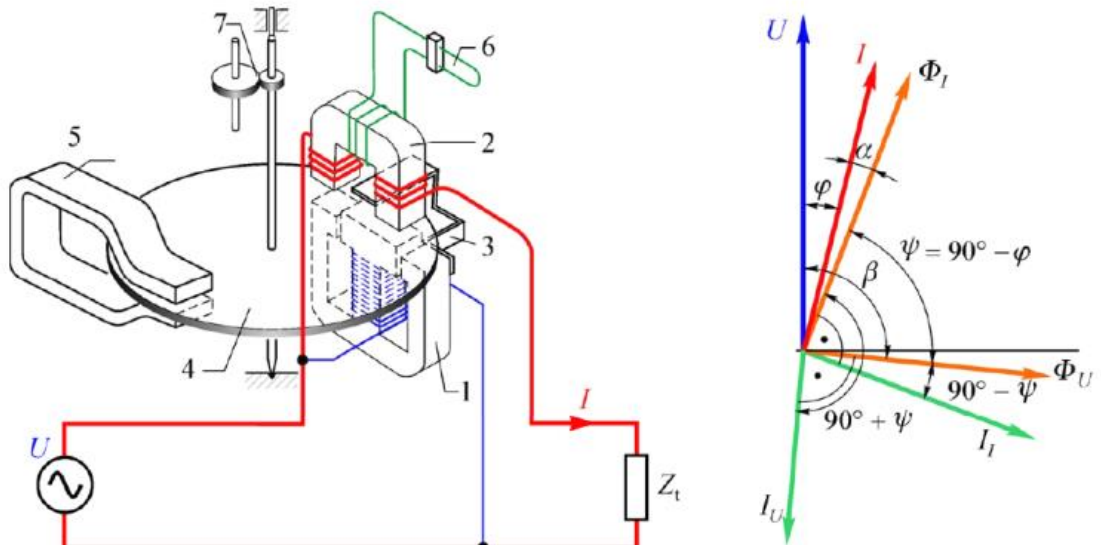
### Izmjenična brojila

Kao što je ranije spomenuto u sustavu izmjeničnih struja, postoje tri vrste snage te sukladno tome i brojila:

1. Brojila radne energije
2. Brojila jalove energije
3. Brojila prividne energije

Brojila radne energije rade na principu indukcijskih instrumenata, s tim da treba stvoriti putujuće magnetsko polje za ostvarenje zakretnog momenta.





Slika 3.3 - Indukcijsko brojilo [3]

Na slici : Dva elektromagneta: strujni (2) i naponski (1), kočni permanentni magnet (5), pomična aluminijska ploča (4) između polova elektromagneta, stremen za povrat magnetskog toka (3), petlja (6) za ugađanje faznog pomaka, prijenos na brojač (7).

Između plova elektromagneta rotira aluminijska ploča. Struja opterećenja protječe kroz željeznu jezgru s malim brojem zavoja. Na drugoj željeznoj jezgri nalazi se naponski svitak. Ovako izvedeno brojilo radi na principu putujućeg magnetskog polja koje se stvara položajem polova i faznim pomakom magnetskog toka koji stvaraju struje u naponskom i strujnom svitku. [3]

### 3.1 Digitalni instrumenti

Sve do sredine prošlog stoljeća, u tehnici, koristili su se samo analogni instrumenti. Kao što se može vidjeti u ranije opisanom dijelu, analogni instrumenti koriste davne, ali jednostavne i pouzdane metode mjerenja. Kako su oni dostigli vrhunac svog tehnološkog napretka, s druge strane praksa zahtijeva instrumente s užim granicama pogreške, razvijeni su mjerni instrumenti na drugom principu. Razvojem digitalne elektronike razvili su se i digitalni mjerni instrumenti. Ovakvi instrumenti imaju čitav niz prednosti u odnosu na analogne instrumente, kao što su veća točnost i rezolucija, brže mjerenje, smanjenje greške očitavanja itd.

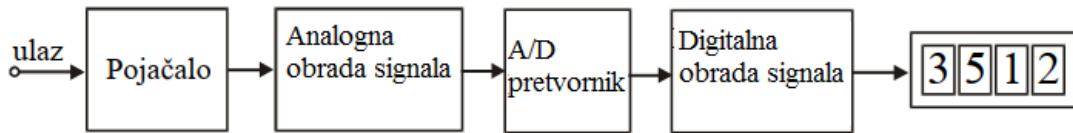
Prvi digitalni instrument bio je digitalni voltmetar proizveden pedesetih godina prošlog stoljeća. Velikih dimenzija, mase od oko 30kg, vrlo skup, ali točan (pogreška  $\pm 0,01\%$  - deset puta točniji od analognog instrumenta u to vrijeme). Tada je krenuo razvoj digitalnih mjernih instrumenata i bio je dosta brz. Mali broj tehnologija imalo je tu brzinu razvoja poput digitalne elektronike. Svaki napredak digitalne elektronike pronalazi primjenu u konstrukciji digitalnih instrumenata. Jedan od napredaka digitalnih instrumenata je programibilni digitalni mjerni instrumenti. Prvi programibilni mjerni instrumenti imali su mogućnost programiranja samo osnovnih funkcija mjernog instrumenta kao što je automatsko biranje mjernog opsega.

Povezivanje ovakvih instrumenata izvođeno je pomoću serijskih i paralelnih komunikacija. Sam početak opisuje paralelnu komunikaciju kao glomaznu, punu vodiča i nepraktičnu, stoga se kasnije prelazilo na serijsku komunikaciju koja se predstavlja kao pouzdanija.

Revoluciju u razvoju mjerne tehnike pokreće izrada mjernih instrumenata s ugrađenim mikroprocesorom. U početku su se ovi instrumenti nazivali „inteligentni instrumenti“, dok ih danas nazivamo mikroprocesorski programibilni mjerni instrumenti. Pojava ovih instrumenata uvelike poboljšava i proširuje karakteristiku mjerenja u odnosu na one bez mikroprocesora.

Velika većina mjernih pojava po svojoj prirodi su promjenjive veličine pa ih se ne može mjeriti pomoću digitalnih instrumenata. Kako bi promjenjive veličine mjerili digitalnim instrumentima, veličinu je potrebno prethodno pretvoriti u digitalni oblik. Sve promjenjive veličine nastoje se transformirati u istosmjerni napon jer je ta veličina pogodna za pretvaranje u digitalni oblik signala. Pretvaranje u digitalni oblik najčešće je pretvaranje istosmjernog napona u vrijeme, odnosno frekvenciju. [3]

Digitalni instrumenti imaju analogni i digitalni dio. U analognom dijelu nalazi se obično dijelilo i predpojačalo, čiji je zadatak kao i kod analognih. Digitalni dio čine A/D pretvornik, niz drugih digitalnih sklopova i pokaznik.



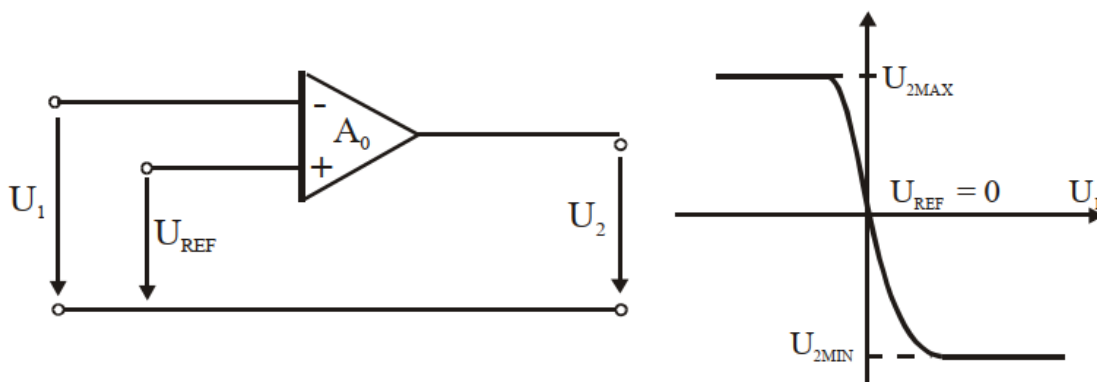
Slika 3.4 - Blok shema digitalnog instrumenta [3]

U digitalnim mjernim instrumentima prvo se analogni mjerni signal prilagođava (njegovu pojačavanje ili stišavanje), a zatim po potrebi ispravljanje. Ovaj prilagođeni analogni signal dovodi se u analogno digitalni pretvornik, gdje se analogni signal pretvara u digitalni. Dobiveni digitalni signal se dalje obrađuje pomoću digitalnih sklopova (brojači, memorije).

A/D pretvornici sastavljeni su od više sklopova kao što su integratori, logički sklopovi, komparatori, sklopovi za uzorkovanje, brojači. [6]

## Komparator

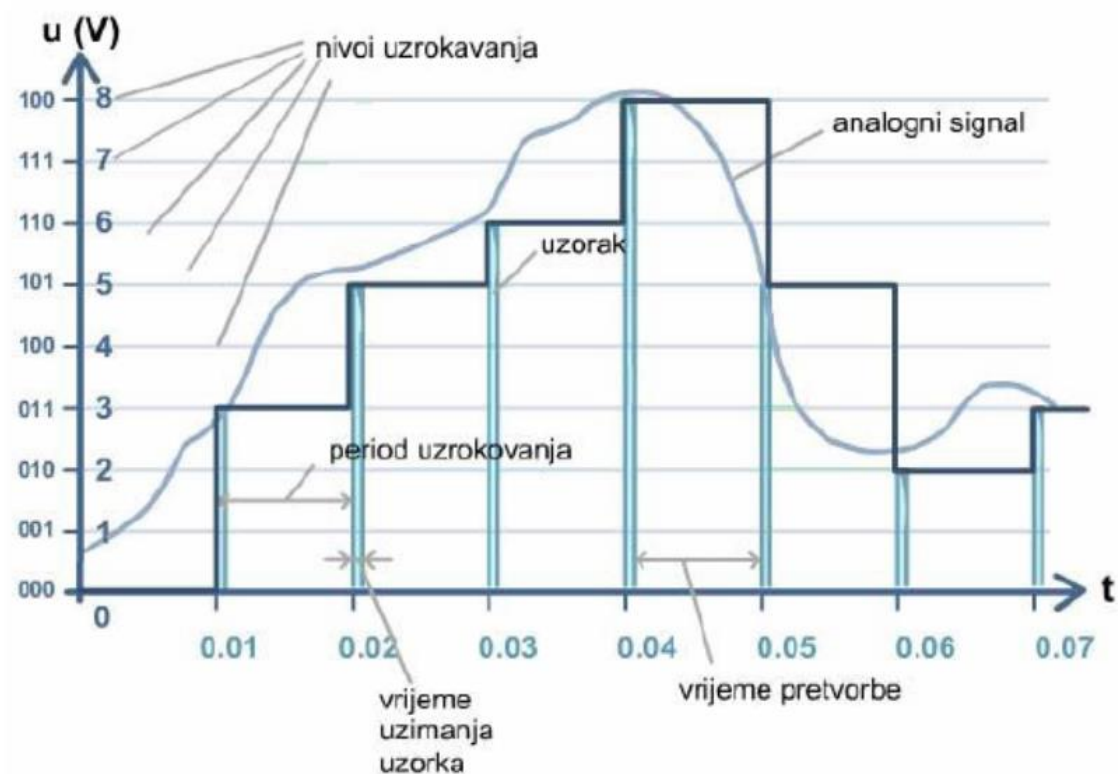
Komparator je nelinearni analogni sklop koji uspostavlja trenutak kada ulazni napon proizvoljnog iznosa  $U_1$  dostigne vrijednost referentnog napona  $U_{REF}$ . U tom trenutku komparator na izlazu mijenja stacionarno stanje ili daje impuls. [5]



Slika 3.5 - Komparator – Načelna shema i prijenosna karakteristika [3]

## Sklop za uzorkovanje

A/D pretvornik ne pretvara ukupni analogni signal u digitalnu vrijednost, nego samo njegove uzorke u vremenu. Pritom se ne uzima stvarni iznos uzorka, nego se uzima vrijednost prema najbližoj raspoloživoj razini u trenutku uzimanja uzorka. Kako se signal ne bi previše izobličio A/D pretvorbom, potrebno je dobro provesti diskretizaciju. To znači da koraci kojima se uzima uzorak signala kod diskretizacije moraju biti gusti po vremenu da se ne izgubi ni jedan harmonik ulaznog signala, a po amplitudi treba imati dovoljno veliku razlučivost kako bi se razlikovale male promjene amplitude.

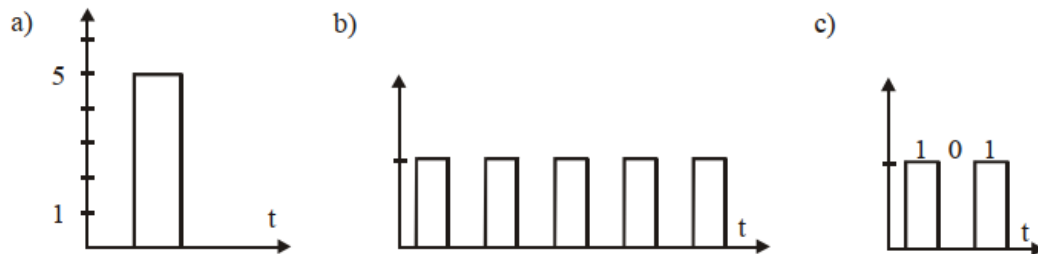


Slika 3.6 - Uzimanje uzoraka analognog signala [3]

Za razliku od analognih instrumenata, kod digitalnih mjernih instrumenata pokazivanje instrumenta je predano u numeričkom obliku. Izlazni signal je predstavljen određenim brojem znamenki. [3]

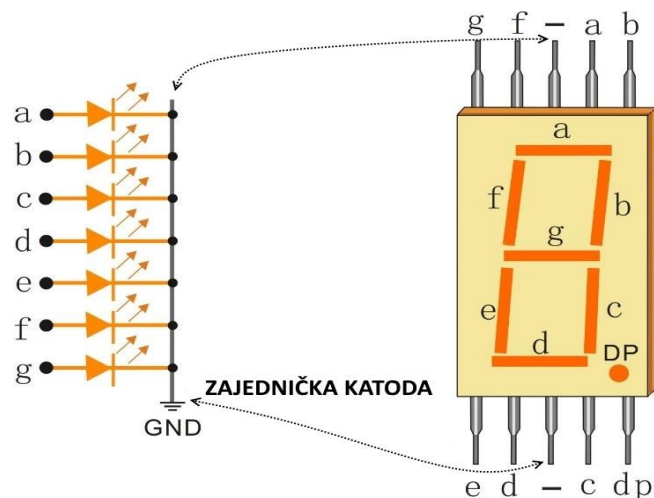
## Prikazivanje podataka

Osnovna karakteristika analognog podatka je neprekidnost, a digitalnog diskretno stanje. Podatak sadržan u digitalnom signalu iskazuje se pomoću diskretnih stanja, npr. postojanjem ili nepostojanjem napona.



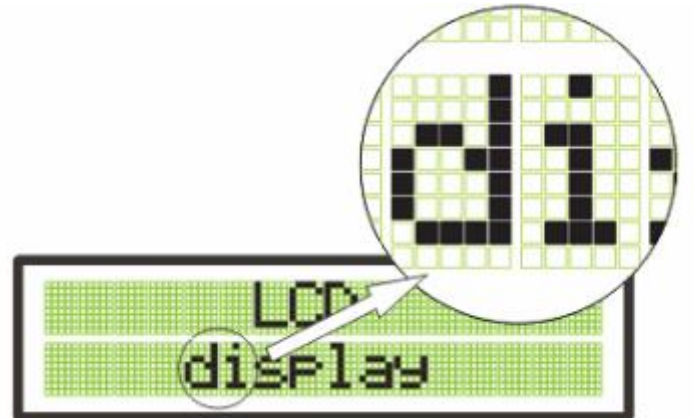
Slika 3.7 - a) podatak je prikazan analogno visinom impulsa koji iznosi 5 jedinica. Na slici b) podatak je prikazan digitalno pomoću 5 jednakih impulsa. Ovakav način se rijetko koristi jer je neprikladan zbog spore obrade. Na slici c) podatak je prikazan digitalno pomoću binarnog sistema. U binarnom sistemu baza je broj 2, za razliku od dekadskog sistema gdje je baza broj 10. U binarnom sistemu brojevi se izražavaju kao suma potencija broja 2. Postoje i drugi sistemi koji se koriste u digitalnoj tehnici kao što su oktalni (baza 8) i heksadekadski (baza 16). [3]

Za prikaz vrijednosti digitalnog instrumenta koriste se pokaznici na samom uređaju. Zadnjih dvadesetak godina najviše se upotrebljavaju pokaznici od malih svijetlećih poluvodičkih dioda. Dioda svijetle pri struji od nekoliko miliampera i naponu manjem od 2V. Pokaznik sa integriranim svijetlećim diodama za broječani prikaz naziva se sedam segmentni pokaznik. [3]



Slika 3.8 - 7 seg. Pokaznik [3]

Osim metodom sa LED Pokaznicima (engl. Light emitting diodes - LED) danas se koriste i pokaznici sa tekućim kristalima LCD (eng. Liquid Crystals Display - LCD). Dovođenjem električnog polja mijenja se raspored molekula, a tanki sloj prozirnog kristala u tekućem stanju prilikom djelovanja električnog polja postane neproziran. LCD pokaznici ne emitiraju nikakvo zračenje nego rade na principu specifičnih optičkih karakteristika.



*Slika 3.9 – LCD [3]*

### 3.2 Siemens Sentron PAC3200

Uređaj korišten u ovom radu je mjerni uređaj za nadzor i mjerenje parametra nekakvog sustava. Naziv mu je Siemens Sentron PAC3200.

Sentron PAC3200 je digitalni mjerni uređaj za nadzor i prikaz svih bitnih veličina u niskonaponskom sustavu. Moguće je mjeriti jednofazno, dvofazno, trofazno i može se koristiti dvožično, trožično ili četverožično u TN, TT i IT sustavima.

Dimenzije su mu 96x96mm i idealna je zamjena konvencionalnim analognim instrumentima.

Zahvaljujući njegovom širokom opsegu mjerenja napona, moguće ga je priključiti i do čak 690V.

Prilikom mjerenja visoke vrijednosti struje i napona potrebno je koristiti strujne i naponske transformatore.

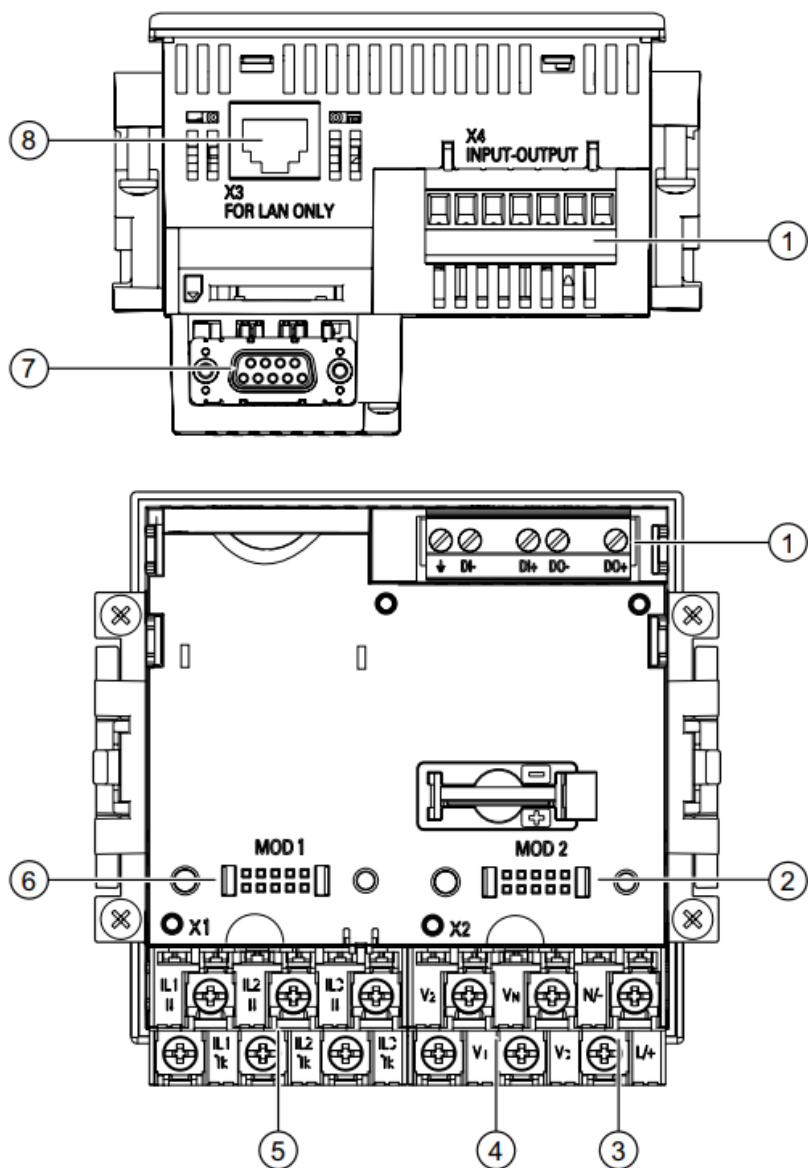
Ugrađen LCD pokaznik pogodan je i za očitavanje iz daljine. Svjetlost pokaznika je podešavajuća, stoga omogućuje pouzdanost prilikom loših svjetlosnih uvjeta.

Sentron PAC3200 ima širok spektar mogućnosti za praćenje, dijagnostiku, servisne funkcije, dvotarifno brojilo radne i jalove energije, univerzalno brojilo, brojač za praćenje vremena uključenog tereta.

Integrirano Ethernet sučelje ili dodatno sučelje omogućavaju komunikaciju sa drugim uređajima. Sentron PAC3200 posjeduje višenamjenske digitalne ulaze i izlaze. Parametri mogu biti podešeni direktno preko uređaja ili preko komunikacijskog sučelja. [9]



*Slika 3.10 - Siemens SENTRON PAC3200 [9]*

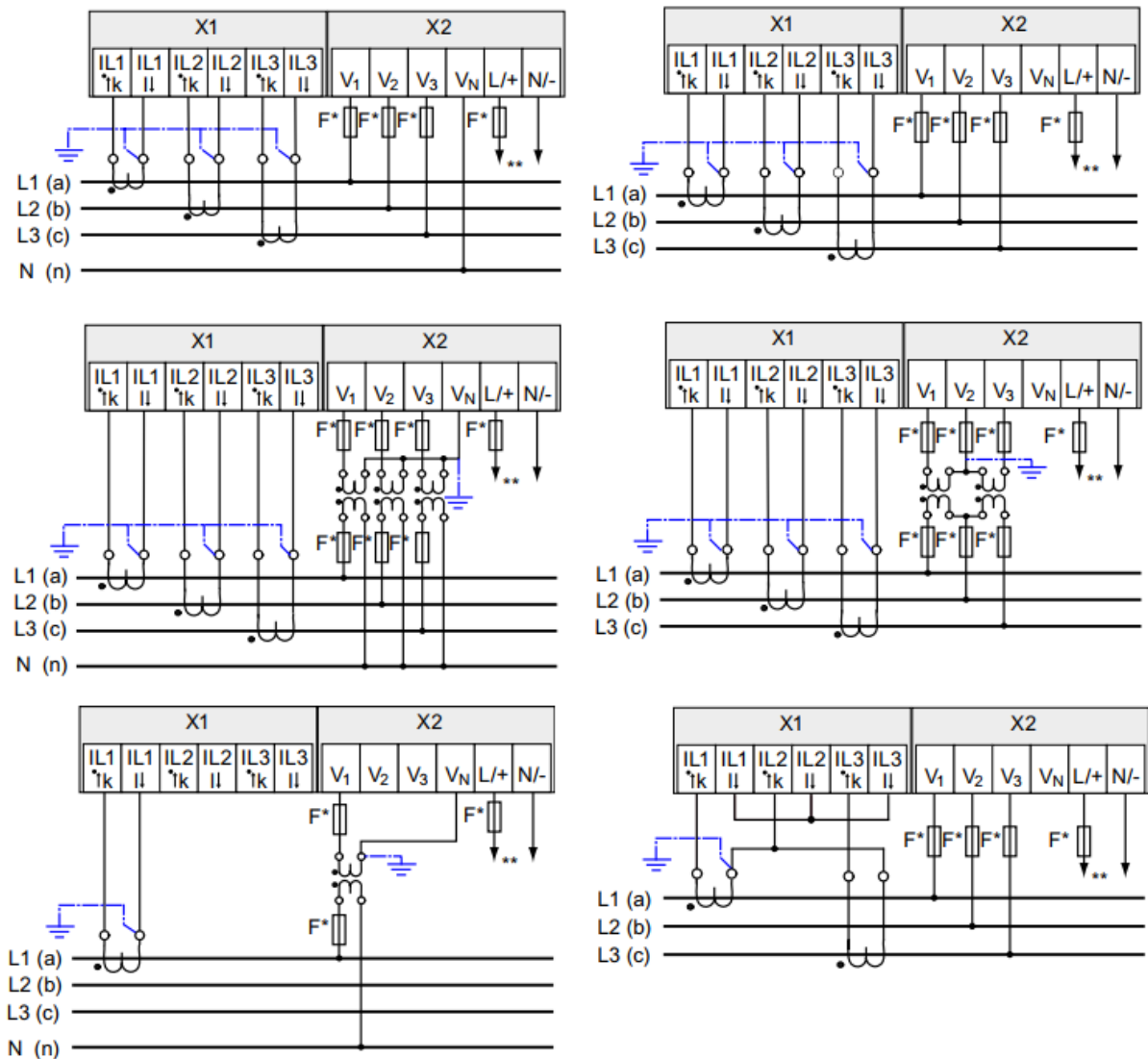


Slika 3.11 - Fizički prikaz SENTRON PAC3200 stezaljki [9]

- |                                   |                                  |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Digitalni izlaz/izlaz          | 5. Mjerenje struje IL1, IL2, IL3 |
| 2. Opcija                         | 6. Utor za proširenje            |
| 3. Napajanje L+, N-               | 7. Serijski konektor (opcija)    |
| 4. Mjerenje napona V1, V2, V3, Vn | 8. Ethernet konektor             |



SETRON PAC3200 može se spajati na mrežu u različitim oblicima, sa ili bez strujnih i naponskih transformatora, sa uravnoteženim ili ne uravnoteženim opterećenjem, dvožično trožično ili četverožično.

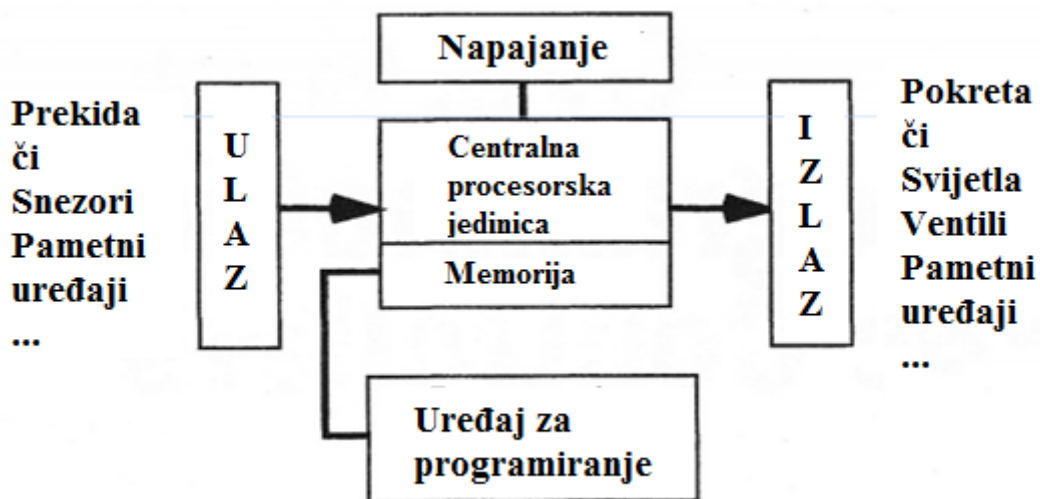


Slika 3.12 - Prikaz načina spajanja SETRON PAC3200 na mrežu [9]

### 3.3 PLC

Kako bismo koristili mogućnosti komunikacije mjernog uređaja sa računalom zbog analize podataka i samog programiranja, potrebno nam je i računalo. Industrijska računala se danas nazivaju PLC (*engl. Programmable Logic Controllers*). Računalo je uređaj koji kroz slijedne zadane instrukcije obrađuju ulazne podatke i stvara nove izlazne podatke (signale). Industrijska računala rade na istom principu, no njihova je izvedba kompaktnija, robusnija i prilagođena za industrijske radne uvijete.

Prvi PLC uređaji pojavili su se u Americi 60-tih godina prošlog stoljeća. Zamjenjuju staru relejnu tehniku. PLC uređaj bi se mogao opisati kao industrijsko računalo čiji je hardware i software prilagođen specifičnim industrijskim primjenama.



Slika 3.13 - Načelna shema industrijskog računala [10]

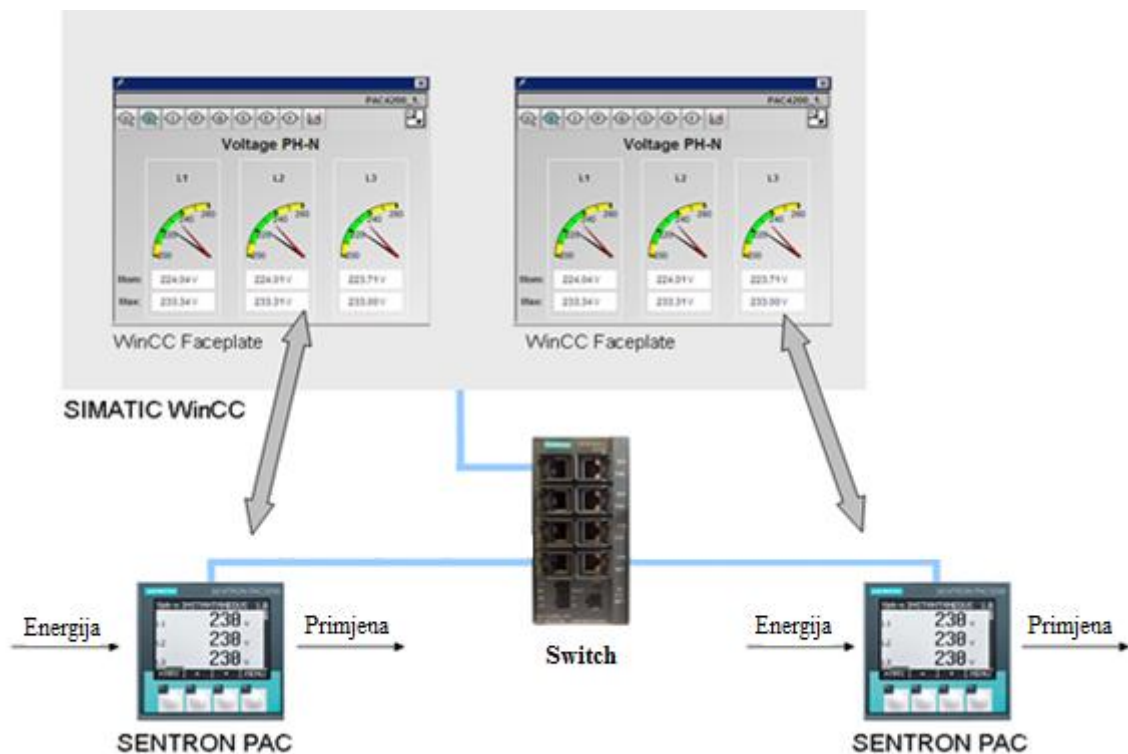
Svaki PLC se sastoji od više zasebnih jedinica koje su integrirane unutar uređaja. Upravljačka jedinica, memorija i periferno ulazno/izlazna jedinica su jedinice svakog PLC-a. Upravljačka jedinica sadržava procesorsku jezgru i aritmetičku jedinicu. Memorija se sastoji od promjenjivog dijela (ROM) na kojem se nalazi operacijski sustav i od nepromjenjivog dijela (RAM) koji se koristi za upisivanje željenog programa. RAM memorija koristi se još i za mjerače vremena, brojlara, stanja ulaza i izlaza i podatke sustava. Periferni moduli mogu biti modularni ili integrirani u sami uređaj, što daje mogućnost nadogradnje i proširivanja. Važan dio ove cjeline je i napajanje samog računala koje može biti izvedeno kao posebni uređaj ili se integrira unutar računala. [10]

## SCADA sustavi

SCADA (*engl. Supervisory Control and Data Acquisition*) predstavlja računalni sustav za nadzor, mjerenje i upravljanje sustavima. Svaki proces koji se može automatizirati pogodan je i za izradnju SCADA sustava.

SCADA sustav se ostvaruje pomoću HMI (*Human media Interface*) sučelja ispisivanjem relevantnih podataka i veličina sustava.

Osim nadzora i prikaza procesnih veličina, SCADA omogućuje prikupljanje raznih podataka i stvaranje vlastite baze podataka za pohranu procesnih veličina, obradu podataka, grafički prikaz sustava, kao i registracije alarma. [10]



Slika 3.14 - Prikaz SCADA sustava zajedno sa Sentron pac 3200 uređajem [10]

Arhitektura SCADA-e je sklopovska i programska. Sklopovska arhitektura predstavlja rad uređaja s kojima komunicira, a to su pretežito pametni elektronički uređaji (*engl. Intelligent Electronic Devices – IED*). Isto tako IED predstavlja podatkovnu komunikaciju sa SCADA-om. Osim IED-a SCADA posjeduje još dvije komponente: MTU i RTU. MTU (*engl. Master Terminal Unit*) preuzima, obrađuje i arhivira prikupljene podatke te predstavlja središnje računalo SCADA-e. RTU (*engl. Remote Terminal Unit*) prikuplja podatke s IED Sklopova.

### 3.4 MODBUS TCP/IP

Kako bismo povezali mjerni uređaj i računalo odnosno PLC, uz ostale komunikacije, razvijena je MODBUS TCP/IP komunikacija. Komunikacija se temelji na običnom TCP/IP komunikacijskom protokolu. On je danas najrasprostranjeniji protokol na lokalnim mrežama, a na njemu se zasniva i globalna mreža Internet.

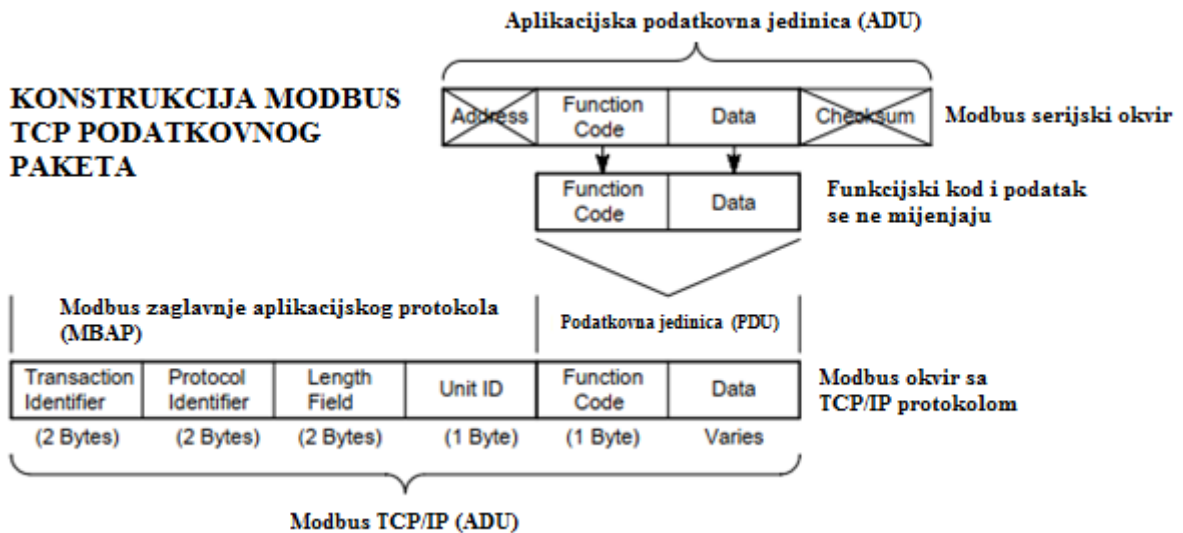
TCP/IP se sastoji od 4 mrežna sloja:

- Aplikacijski sloj
- Transportni sloj
- Mrežni sloj
- Sloj podatkovne veze

Također, Modbus je serijski komunikacijski protokol, dizajniran je od tvrtke Modicon (današnji Schneider Electric) 1979. godine radi povezivanja njihovih PLC-a. Modbus je danas standardni komunikacijski protokol i često se koristi prilikom komunikacije različitih elektroničkih uređaja.

MODBUS TCP/IP je zapravo MODBUS RTU protokol sa TCP sučeljem koje koristi Ethernet. Modbus struktura za slanje podataka nalazi se na aplikacijskom sloju protokola koja definira uvjete za organizaciju i prikazivanje podataka neovisno o transportnom sloju protokola. TCP/IP odnosi se na (*engl. Transmission Control Protocol*) i (*engl. Internet Protocol*), koji predstavljaju medij za slanje MODBUS TCP/IP podataka.

Ukratko rečeno, TCP/IP sadrži blok binarnih podataka koje će se razmjenjivati između računala. Glavna funkcija TCP-a omogućiti da su svi podaci koji se primaju budu ispravni, dok je IP-ova zadaća ispravno adresiranje i usmjeravanje podataka. Udruženje TCP protokola i IP protokola nalazi se na transportnom sloju i ne definira što podatak predstavlja niti kako će se podaci interpretirati. To je posao aplikacijskog sloja, u ovom slučaju Modbus-a. MODBUS TCP/IP koristi TCP/PI protokol i Ethernet radi slanja Modbus podatkovnih paketa između kompatibilnih uređaja. [7]



Slika 3.15 - Konstrukcija MODBUS TCP/IP podatkovnog paketa [7]

Iz ovog prikaza konstrukcije vidimo da su funkcijski kod i podatak ostavljeni u svojoj tradicionalnoj formi ADU (*engl. Application Data Unit*), dok se funkcija kontrole sume ne koristi. Isto tako funkcija adresnog okvira integrirana je u jedinicu za Modbus identifikaciju i tako postaje dio MBAP (*engl. Modbus Application Protocol*) zaglavlja.

MBAP zaglavlje ima dužinu od 7 bajta i sastoji se od sljedećih polja:

- **Identifikator transakcije** (polje zaduženo za uparivanje transakcije u trenutku slanja više poruka putem TCP povezanosti od strane klijenta bez potvrde za slanje).
- **Identifikator protokola** (ovo polje je u Modbus izdanju uvijek 0, opcija je za buduća proširivanja)
- **Polje duljine** (polje za brojanje bajtova preostalih polja, identifikatora jedinice, funkcijskog koda i podatkovnog polja)
- **Identifikator jedinice** (polje za identifikaciju udaljenog servera postavljenog na mreži koja nije TCP/IP karaktera. U Modbus izdanju ovo polje ima vrijednost 00.)

Kao i Ethernet, Modbus je lako dostupan svakome i podržan je od strane mnogih proizvođača industrijske opreme. Jednostavno ga je za razumjeti i pogodan je kandidat za korištenje u poduzećima sa nekim drugim komunikacijskim standardima. Kako Modbus i Ethernet imaju jako puno toga zajedničkog, udruženje Modbus-ovog aplikacijskog sloja sa Ethernet formom slanja

podataka, tvori kvalitetan industrijski komunikacijski standard. Kako Modbus TCP/IP koristi isti fizički i podatkovni sloj, TCP/IP protokol kao i Ethernet, postaje kompatibilan sa prethodno ugrađenom Ethernet infrastrukturom, konektorima, mrežnim uređajima i slično.

Kako je Ethernet dizajniran za uredsku okolinu i nije pogodan za industrijske uvjete, danas je omogućeno njegovo korištenje u svim uvjetima zbog novih robusnijih konektora, upletenih kablova i industrijskih mrežnih uređaja. [7]

Za bolje razumijevanje Modbus TCP/IP strukture i pojma otvoreni, Tradicionalan OSI (*engl. Open Systems Interconnect*) model prikazuje strukturu razvijanja komunikacijskih standarda. Model ne prikazuje pravu implementaciju nego prikazuje samu strukturu gdje što mora ići i što se mora napraviti.

U OSI modelu funkcije su podijeljene u 7 slojeva, gdje svaki sloj odrađuje točno zadanu zadaću. Svaki sloj koristi usluge sloja koji se nalazi ispod njega i pruža uslugu sloju iznad sebe.

Aplikacijski sloj – pruža mrežne usluge aplikacijama (programima). Ovaj sloj definira razne protokole za razmjenu i prikaz podataka. Pruža uslugu prezentacijskom sloju.

Prezentacijski sloj – omogućuje da su podaci čitljivi na određitu, brine se o formatu i strukturi podataka, pregovara o sintaksi prijenosa za aplikacijski sloj.

Sloj sesije – Uspostavlja, upravlja i prekida veze između aplikacija.

Transportni sloj – zadužen za pouzdan prijenos podataka između uređaja. Otkriva i ispravlja greške u prijenosu (zahtjeva ponovno slanje).

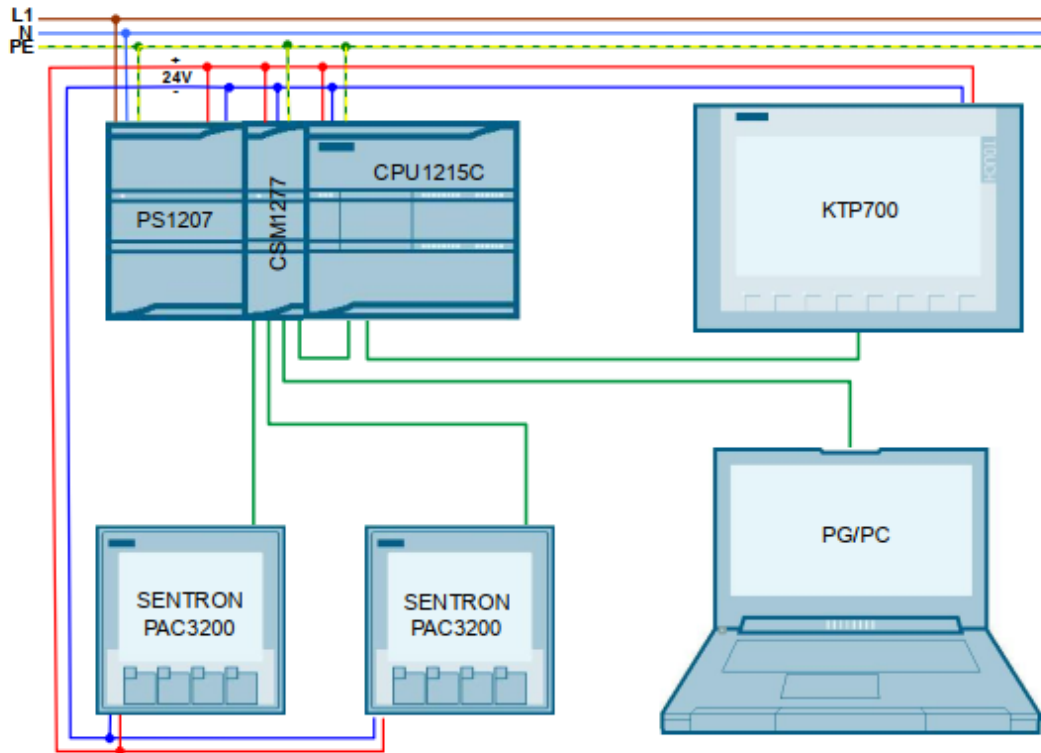
Mrežni sloj – pruža usluge povezanosti i odabira najboljeg puta za paket podatka.

Sloj podatkovnog linka – omogućuje pouzdan prijenos podataka preko medija. Otkriva pogreške u prijenosu preko fizičkog sloja. Brine se o pristupu mediju za prijenos podataka. Povezuje i odabire putanje između uređaja. Namijenjen je za direktno spojene veze.

Fizički sloj – brine se o fizičkim komponentama mreže, mediji za prijenos, konektorima, naponu i signalima.

## 4. KORIŠTENA UPRAVLJAČKA OPREMA

Za samu integraciju sustava potrebno je prvo povezati uređaje kako bi nesmetano komunicirali. Nakon što je mjerni uređaj povezan na odgovarajući način sa mrežom, isto tako se PLC mora povezati zajedno sa svojim komponentama. Ako se sustavom upravlja preko vanjskog pokaznika i on se spaja zajedno sa PLC-om. Sve komponente spojene su preko Ethernetu u jednu mrežu, svaki uređaj mora imati istu IP adresu. Principijelnu shemu spajanja prikazuje se sljedećom slikom.

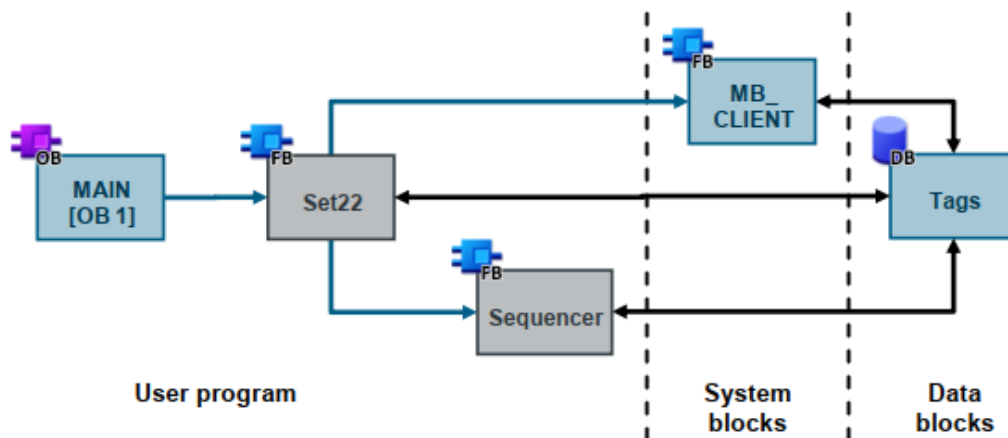


Slika 4.1 - Principijelna shema spajanja PLC-a, SENTRON PAC3200 i računala. [8]

Slika prikazuje više mjernih uređaja, što je TCP/IP komunikacijom lako izvedivo. Računalo se spaja na istu ranije spomenutu mrežu radi samog programiranja uređaja i podešavanja parametara TCP/IP komunikacije. SCADA sustav se isto dizajnira na računalu. Po završetku programa i parametara program se prebacuje na sam PLC odnosno njegovu memoriju.

Za programiranje uređaja za nadzor energije koristi se Siemensov software TIA portal (*engl. Totally Integrated Automation Portal*). TIA Portal Siemensova je programska podrška koja omogućava korisniku digitalnu automatizaciju sustava. Sastoji se od više dijelova: SIMATIC STEP 7 za PLC programiranje i SIMATIC WinCC za vizualizaciju preko grafičkog sučelja.

Za komunikaciju između PLC-a i SENTRON PAC3200 uređaja putem TCP/IP komunikacije, potreban je funkcijski blok MB\_CLIENT kojeg izabiremo u izborniku za odabir komunikacije. Ovaj blok postavlja TCP/IP komunikaciju i automatski se koriste funkcije poput TSEND, TRCV, TCON, TDISCON. [8]



Slika 4.2 - pregled programskih blokova [8]

Tablica 4.1 - Prikaz funkcijskih blokova SENTRON PAC3200 programa

Block	Description
OB "Main"	Ciklički organizacijski blok: Sadržava samo poziv FB "Set22"
FB "Set22"	Funkcijski blok za razmjenu podataka između više Sentron PAC3200 uređaja (ciklička programska sekvencija)
DB "InstSet22"	Primjer podatkovnog bloka FB "Set22"
FB "MB_CLIENT"	Integrirana instrukcija za MODBUS TCP komunikaciju SIMATIC S7-1200 kao klijenta u TIA Portal-u
DB "Tags"	Sadrži podatke od svih Sentron mjernih uređaja potrebnih aplikaciji
FB "Sequencer"	Funkcijski blok za razmjenu podataka između više Sentron PAC3200 uređaja (komunikacijska sekvencija)

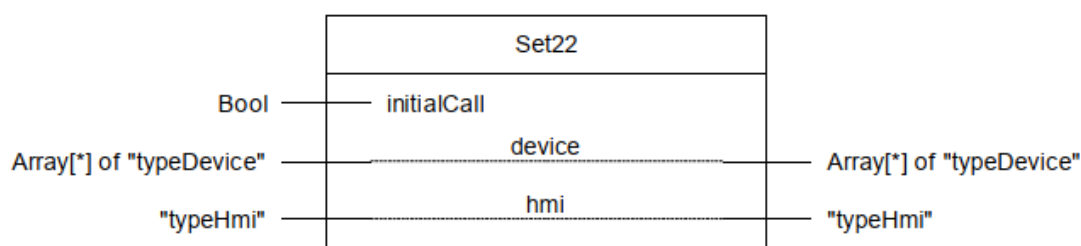


Glavna komponenta ovakve strukture je funkcijski blok „Set22“. Poziva se u cikličkom programu „MAIN“. Služi za kontrolu komunikacije između više mjernih uređaja SENTRON PAC3200 u sekvencama pri periodičnom pozivu MB\_CLIENT funkcijskog bloka. Baza podataka „instSet22“ prikuplja podatke koji se spremaju u bazu podataka. Glavni blok MB\_CLIENT integriran je u samo programsko sučelje TIA portal i služi za komunikaciju putem TCP/IP protokola.

Funkcija „Tags“ sadržava specifične informacije o samom mjernom uređaju poput njegove IP adrese, definirane limite potrošnje, trenutne potrošnje, radnih sati itd. Podaci se dohvaćaju putem „Set22“ funkcijskog bloka.

Funkcijski blok „Sequencer“ kontrolira sekvencijalnu komunikaciju između više mjernih uređaja.

#### 4.1 „Set22“ funkcijski blok

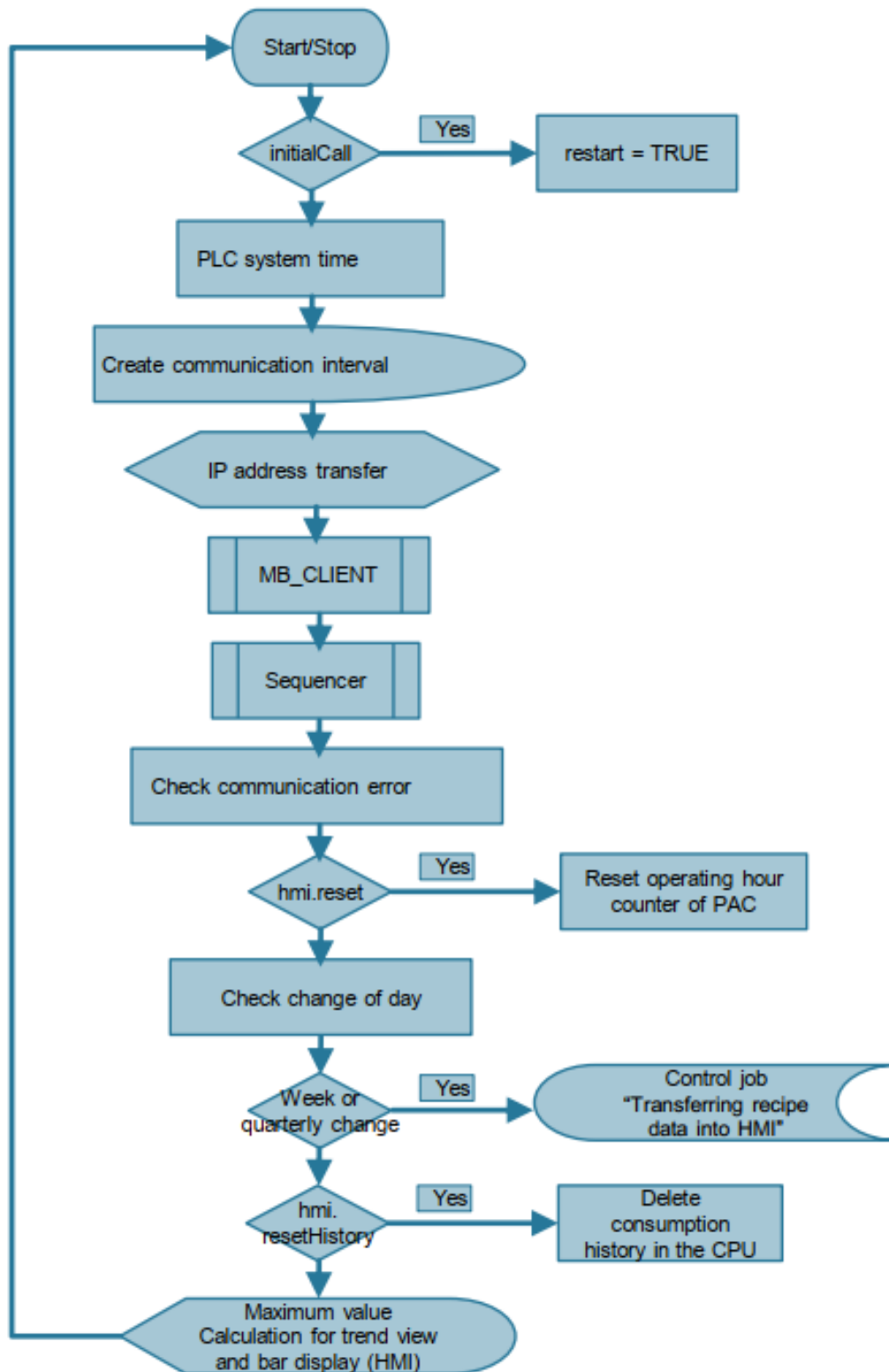


Slika 4.3 - Funkcijski blok „Set22 [8]

„Set22“ funkcijski blok za determinističko prikupljanje podataka da različitih SENRON PAC 3200 uređaja preko Modbus TCP/IP poziva se u cikličkom organizacijskom bloku. Funkcija sadržava ciklički programa i poziva funkcijski blok „Sequencer“ kako bi kontrolirao sekvencu komunikacije.

Tablica 4.2 - Prikaz parametara funkcijskog bloka „Set22“

Name	P type	Data type	Comment
initialCall	IN	Bool	Prvi poziv cikličkog organizacijskog bloka (parametar "Initial_Call")
device	IN_OUT	Array[*] of "typeDevice" (Table 3-3)	Niz svih podataka sa Sentron PAC mjernog uređaja
hmi	IN_OUT	"typeHmi" (Table 3-6)	PLC tip podataka za HMI oznake



Slika 4.4 - Dijagram programa funkcijskog bloka „Set22“ [8]

Restart - Za vrijeme inicijalnog poziva prekida, „restart“ bit se postavlja u jedan. On služi kako bi se spriječio npr. proračun vrijednosti potrošnje energije prilikom uspostave prve komunikacije nakon poziva prekida programa. Prilikom prve komunikacije samo trenutačne vrijednosti vremena smiju biti spremljene u bazu podataka, jer se potrošnja računa iz razlike vremena. Tek nakon druge komunikacije vrijednosti potrošnje se spremaju u bazu podataka.

PLC system time – system time se koristi prilikom gubitka komunikacije. Vrijeme alarmne poruke prekida komunikacije tvori se od vremena nastanka prekida i podešenog perioda čekanja funkcije „InstSet22“. Ako je vrijeme alarmne poruke prekida isteklo, a komunikacije se nije ponovno uspostavila, alarmna poruka prikazuje se na HMI-u.

Creating communication interval – komunikacija između mjernog uređaja i PLC-a je serijska. Prvo je uspostavljena komunikacije prema prvom uređaju. Ako u sustavu ima više mjernih uređaja ovaj postupak se ponavlja dok se ne uspostavi komunikacija sa svim uređajima. Vrijeme udaljenosti koje potrebno da se uspostavi kompletna komunikacija može se podešavati. Generira se impuls koji služi kao okidač za uspostavu komunikacije.

IP adress transfer / MB\_CLIENT / FB „Sequencer“ – prilikom pripreme za komunikaciju sa određenim mjernim uređajem, četvrti oktet bitova IP adrese uređaja sprema se u polje „CONNECT“ funkcijskog bloka „MB\_CLIENT“. On se poziva ciklički i kontrolira komunikaciju sa svojim parametrima koji se mogu podešavati u funkcijskom bloku „Sequencer“.

Checking communication error - provjerava se vrijeme poruke prekida komunikacije upisano u bazu podataka. Ako se komunikacija nije ponovno uspostavila, taj mjerni uređaj se označava kao nedostupan. Provjerava se također i izlaz iz MB\_CLIENT. Ako on ima potvrdni impuls prema određenom mjernom uređaju, komunikacije se uspostavlja.

Resetting operating hour of PACs – Ako se dogodio reset brojača radnih sati mjernog uređaja preko operacijskog panela, svaka mjerena vrijednost mora imati uvid u to. Tagovi koji su zaslužni za spremanje vrijednosti sati su tada resetirani. Vrijeme resetiranja je relativno dugo, jer je komunikacija sa mjernim uređajem sekvencijalna.

Checking change of day – Ako dođe do promjene dana, ukupna potrošnja energije dodaje se tjednoj potrošnji energije i postavlja se u 0.

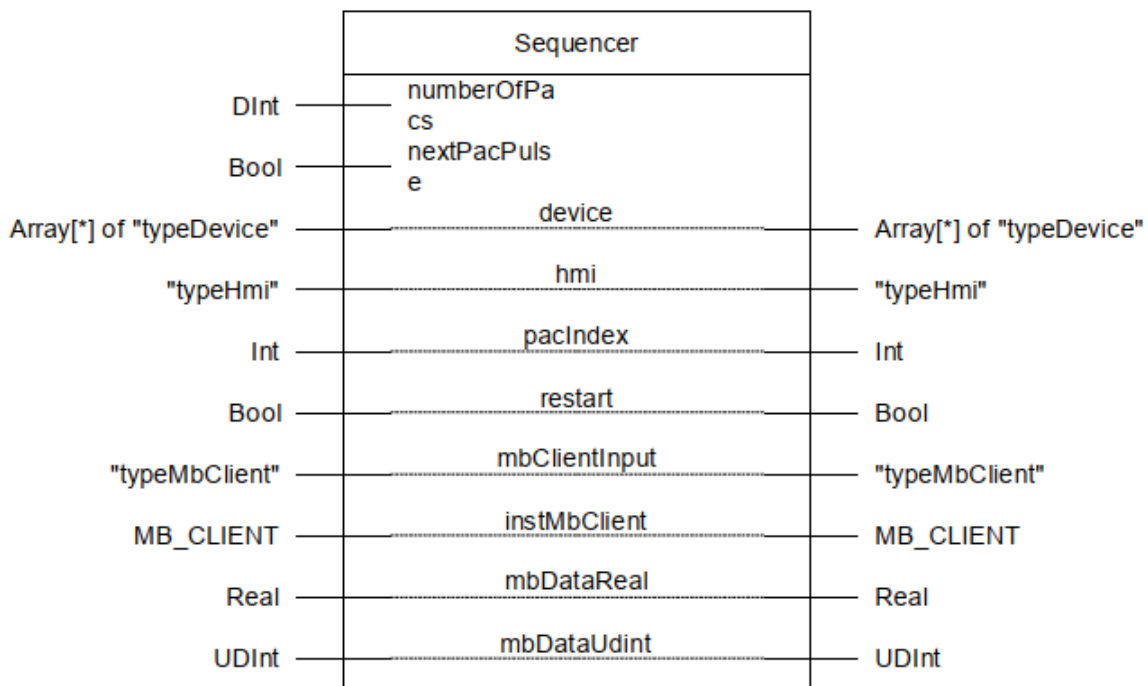
Checking change of week - ako broj dana premaši vrijednost od 7, vrijednost se sprema za taj tjedan. Vrijednost tjedne potrošnje je 0 i broj dana se postavlja u 1.

Control job (Job mailbox) „Transferring recipe dana to HMI“ – omogućuje prijenos podataka iz baze podataka prema HMI-u i njegov prikaz na ekranu.

Delete consumption history in the CPU – kada je zatraženo od strane operatora brisanje povijesti podataka, određenom kombinacijom bitova različitih parametara dolazi do njihovog brisanja iz memorije.

Maximum calculation for trend and bar display in HMI – maksimalna vrijednost potrošnje energije prilikom prikazivanja na ekranu definirana je kao maksimalna moguća potrošnja svih potrošača u 24 sata. [8]

## 4.2 „Sequencer“ funkcijski blok

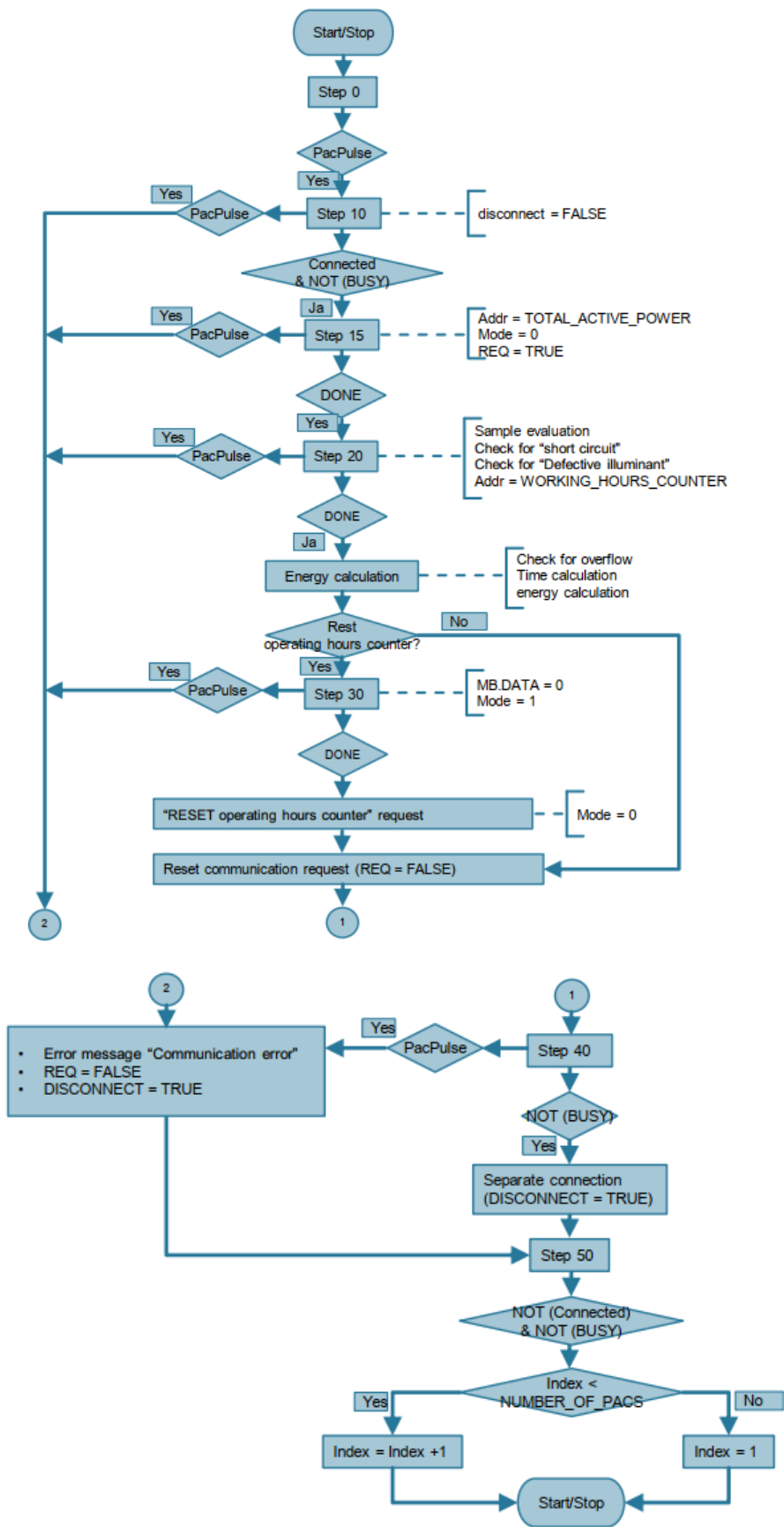


Slika 4.5 - Funkcijski blok „Sequencer“ [8]

Funkcijski blok „Sequencer“ kontrolira sekvencijalnu komunikaciju za razmjenu podataka između više SENTRON PAC3200 mjernih uređaja putem Modbus TCP/IP protokola i pozvan je iz funkcijskog bloka „Set22“,

Tablica 4.3 - Prikaz parametara funkcijskog bloka „Sequencer“

Name	P type	Data type	Comment
numberOfPacs	IN	DInt	Broj Sentron PAC uređaja
nextPacPulse	IN	Bool	Impuls za početak komunikacije
device	IN_OUT	Array[*] of "typeDevice" ( <a href="#">Table 3-3</a> )	Niz svih podataka sa Sentron PAC mjernog uređaja
hmi	IN_OUT	"typeHmi" ( <a href="#">Table 3-6</a> )	Niz podataka sa HMI oznakama
pacIndex	IN_OUT	Int	Indeks Sentron PAC uređaja koji je trenutno aktivan
restart	IN_OUT	Bool	Prvi krug komunikacije sa svim Sentron PAC uređajima
mbClientInput	IN_OUT	"typeMbClient" ( <a href="#">Table 3-10</a> )	Ulazni parametri za pozivanje FB "MB_CLIENT"
instMbClient	IN_OUT	MB_CLIENT	Primjer podatka za FB "MB_CLIENT"
mbDataReal	IN_OUT	Real	Podatak FB "MB_CLIENT" u decimalnom zapisu
mbDataUdint	IN_OUT	UDInt	Podatak FB "MB_CLIENT" u cjelobrojnom zapisu



Slika 4.6 - Dijagram programa funkcijskog bloka „Sequencer“ [8]

Step 0 – U koraku 0 čeka se „Trigger pulse“ odnosno pokretni impuls. Nakon pojave pokretnog impulsa parametar MB\_CLIENT „DISCONNECT“ se resetira i kreće se na korak 10.

Step 10 – Ako su MC\_CLIENT parametri „CONNECTED“ i „NOT BUSY“ postavljeni, omogućeno je očitavanje električne energije. Svaki parametar mjernog uređaja ima jedinstveni Modbus registar adresa. Komunikacija započinje slanjem „REQ“ parametra MB\_CLIENT-u.

Step 15 – U koraku 15 čeka se povratna informacija odnosno „DONE“ poruka MB\_CLIENT-a. Poruka označava da je vrijednost električne snage uspješno poslana od strane SENTRON PAC3200 mjernog uređaja prema prijemniku odnosno PLC-u. Prilikom slanja vrijednosti električne snage SENTRON tvori vrijednost od n uzoraka bez izlaska iz koraka 15. To vrijeme uzorkovanja može se podešavati.

Step 20 – U koraku 20 čeka se za potvrđnu poruku „DONE“ koja daje informaciju kako je vrijednost brojača radnih sati uspješno prenesena od SENTRON PAC3200 do PLC-a. Vrijednost Električna energija tvori se množenjem električne snage iz koraka 15 i razlike vrijednosti brojača radnih sati između zadnje dvije vrijednosti. U slučaju reseta brojača sati od strane operatora, vrijednost koja se upisuje u registar je 0 putem „write“ funkcije samog MB\_CLIENT-a. Ako se nije dogodio reset, resetira se parametar „REQ“ MB\_CLIENT-a i prelazi se na korak 40. Ako se kojim slučajem u koraku 20 dogodi pokretni impuls, on se može protumačiti kao pogreška u komunikaciji koja nas vodi do koraka 50.

Step 30 – U koraku 30 čeka se potvrda poruka „DONE“ koja upućuje na to da se u bazu podataka za vrijednost brojača radnih sati upisuje 0. Resetiraju se vrijednosti brojača radnih sati. MB\_CLIENT funkcija „read“ postavlja se u 1, a zahtjev za uspostavu komunikacije se resetira preko „REQ“ parametra MB\_CLIENT-a. Ako se kojim slučajem u koraku 30 dogodi pokretni impuls, on se može protumačiti kao pogreška u komunikaciji koja nas vodi do koraka 50.

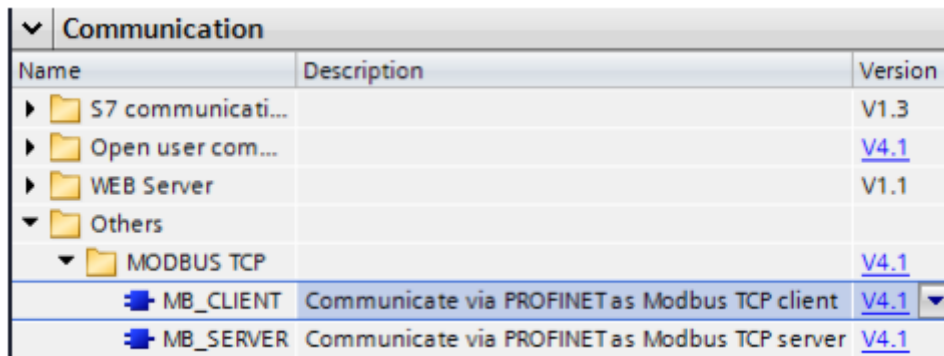
Step 40 – U koraku 40 jednostavno se provjerava dostupnost SENTRON uređaja i ako je „NOT BUSY“ stanje MB\_CLIENT-a istinito, postavlja se „DISCONNECT“ stanje za sljedeći uređaj. Ako se kojim slučajem u koraku 20 dogodi pokretni impuls, on se može protumačiti kao pogreška u komunikaciji koja nas vodi do koraka 50.

Step 50 – Ako su stanja „NOT CONNECTED“ i „NOT BUSY“ MB\_CLIENT-a postavljena indeks SENTRON mjernog uređaja se povećava za jedan ili se resetira na 1 i vraća se na korak 0.

[8]

### 4.3 Sistemski funkcijski blok „MB\_CLIENT“

Funkcijski blok MB\_CLIENT dolazi integriran u sami Siemensov program TIA portal. Može ga se pronaći pod izbornikom „Communication > Others > MODBUS TCP“. Ovdje se radi o verziji 4.1.



Communication		
Name	Description	Version
▶ S7 communicati...		V1.3
▶ Open user com...		V4.1
▶ WEB Server		V1.1
▼ Others		
▼ MODBUS TCP		V4.1
■ MB_CLIENT	Communicate via PROFINET as Modbus TCP client	V4.1
■ MB_SERVER	Communicate via PROFINET as Modbus TCP server	V4.1

Slika 4.7 - Odabir Modbus TCP komunikacije u TIA portal-u [8]

STEP 7 generira funkcijski blok „MB\_CLIENT“ prilikom njegovog postavljanja u „MAIN“ program. U programu funkcijski blok „MB\_CLIENT“ poziva se jednom prilikom jednog ciklusa u funkcijskom bloku „Set22“. Njegovim pozivom upravlja se različitim parametrima bile to funkcije za pisanje ili čitanje „MB\_MODE“, koji podatak se prenosi „MD\_DATA\_\*“ te sa kojim uređajem se komunicira „CONNECT“. Podaci funkcijskog bloka MB\_CLIENT spremaju u bazu podataka „InstSet22“.

```
REGION 5 MB_CLIENT call
| #instMbClient(REQ := #statMbClientInput.req,
|             DISCONNECT := #statMbClientInput.disconnect,
|             MB_MODE := #statMbClientInput.mode,
|             MB_DATA_ADDR := #statMbClientInput.mbDataAddr,
|             MB_DATA_LEN := #MB_DATA_LEN,
|             MB_DATA_PTR := #statMbDataReal,
|             CONNECT := #statMbClientInput.connect);
END_REGION
```

Slika 4.8 - Program funkcijskog bloka MB\_CLIENT [8]

Svaki parametar ima svoju jedinstvenu podatkovnu adresu. U ovom slučaju koristiti će se parametri za ukupnu radnu snagu i brojač radnih sati koji se može proizvoljno mijenjati.



Tablica 4.4 - Prikaz parametara i adresa

Operation	Function code	Length (Words)	MB_MODE	MB_DATA_ADDR (Req.adr. + offset)
Očitavanje ukupne radne snage	0x03	2	0	40001 + 65 = 40066
Očitavanje brojača radnih sati	0x03	2	0	40001 + 213 = 40214
Pisanje radnih sati	0x10	2	1	40001 + 213 = 40214

Poznata je početna adresa koja je u ovom slučaju 40001. Svaki parametar ima svoje odstupanje od početne adrese koji je u ovom slučaju za ukupnu radnu snagu 65. Na adresi 40066 nalazi se vrijednost ukupne potrošene radne snage. Kod brojača radnih sati, želi li se pročitati njegova vrijednost ili se njegova vrijednost želi upisati, adresa je ista. Promjenom bita na MB\_MODE parametru mijenjamo funkciju pisanja ili čitanja registra.

Podatak o komunikaciji dolazi preko parametra „CONNECT“ čiji je podatkovni tip „TCON\_IP\_v4“.

Tablica 4.5 - Parametri podatkovnog parametra „TCON\_IPv4“

Name	Data type	Default value	Comment
InterfaceId	HW_ANY	64	Identifikacija CPU Ethernet sučelja
ID	CONN_OUC	1	Identifikacija povezanosti
ConnectionType	Byte	16#0B	Zapisnik komunikacije (16#0B = TCP/IP)
ActiveEstablished	Bool	true	Aktivna uspostava komunikacije (ako je klijent "true")
RemoteAddress	IP_V4		IP adresa Sentron PAC uređaja
ADDR	Array[1..4] of Byte		kao niz bajtova
ADDR[1]	Byte	192	Oktet IP adrese
ADDR[2]	Byte	168	Oktet IP adrese
ADDR[3]	Byte	0	Oktet IP adrese
ADDR[4]	Byte	16#0	Oktet IP adrese
RemotePort	UInt	502	IP broj priključka Modbus servera
LocalPort	UInt	0	Vrijednost mora bit 0 za MB_CLIENT komunikaciju

Za svaki mjerni uređaj podatak o komunikaciji je identičan, jedino se razlikuje četvrti oktet IP adrese koji se provjerava prilikom uspostavljanja komunikacije. Prije samog pozivanja MB\_CLIENT potrebno je kopirati prva tri okteta IP adrese mjernog uređaja u podatak o komunikaciji kako bi se podesila maska podmreže kao i klasa mreže. [8]

#### 4.4 Podatkovni blok „Tags“

Tags blok služi kako bi prenio izmjerene vrijednosti SENTRON mjernog uređaja prema HMI sučelju i njihovo prikazivanje na ekranu.

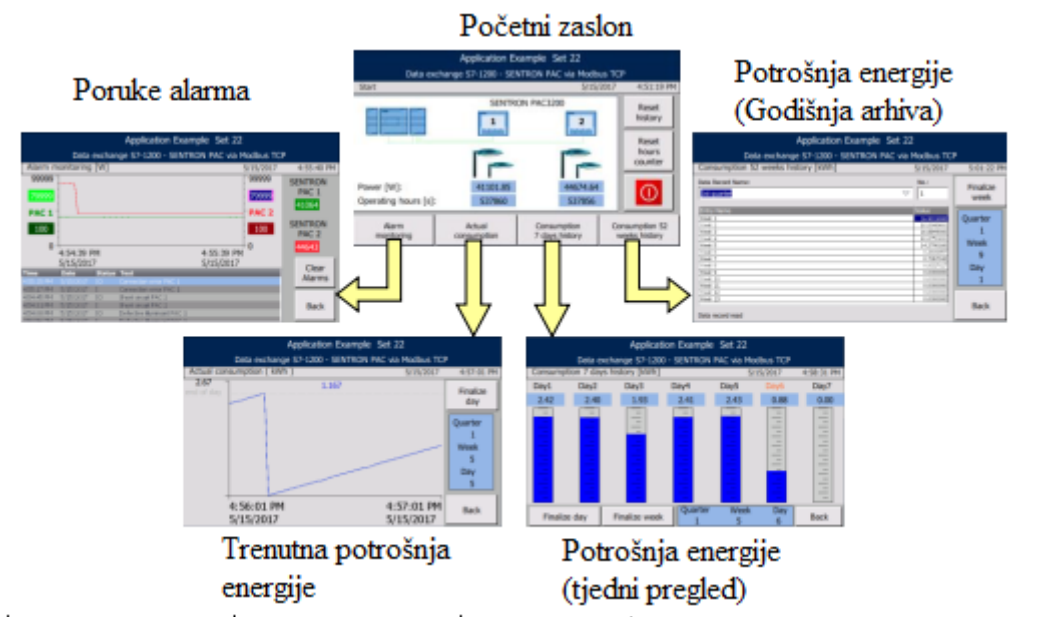
#### 4.5 Konfiguracija SENTRON PAC3200 za TCP/IP protokol

Prilikom otvaranja glavnog izbornika uređaja, pod opcijom „Settings > Communication“ moguće je mijenjati postavke komunikacije. Za IP adresu se postavlja 192.168.0.xxx. Za masku podreže postavlja se 255.255.255.0. Za izlaznu adresu postavlja se 0.0.0.0 i odabire se MODBUS TCP protokol.

Računalo s kojim se izmjenjuje program PLC-a kao i sami PLC moraju biti na istoj IP adresi kao i SENTRON uređaj.

#### 4.6 Aplikacija za kontrolu sustava

SCADA sustav prikazuje se na ekranu i operatoru je omogućeno praćenje sustava i iščitavanje vrijednosti kao i pristup bazi podataka. Na aplikaciji je moguće pratiti trenutnu potrošnju energije, godišnju ili tjednu potrošnju električne energije i alarme. [8]



Slika 4.9 - Prikaz SCADA sustava za kontrolu električne energije [8]

## 5. ZAKLJUČAK

U ovom radu napravljen je opis osnovnih pojmova potrebnih za razumijevanje električne energije i manifestacije snage u strujnom krugu objasnio se i sam princip rada digitalnih mjernih instrumenata. Upoznajemo se sa SIEMENS SENTRON PAC3200 mjernim uređajem koji pruža široki spektar mogućnosti prilikom mjerenja električnih veličina nekog sustava. Izmjerene vrijednosti električnih veličina lako se spremaju u bazu podataka. Za računalnu analizu električnih veličina i upravljanje sustavom koristi se SIEMENS S7 – 1200 PLC koji omogućava jednostavno programiranje i dizajn upravljačkog sučelja putem SCADA sustava. Detaljno je objašnjen Modbus TCP/IP komunikacijski protokol između mjernog uređaja i PLC-a. Modbus je prilagodio standardni TCP/IP protokol za industrijske svrhe te ga učinio robusnijim i pouzdanijim. TIA Portal nudi već unaprijed dizajniran funkcijski blok za Modbus TCP/IP komunikaciju. Možemo vidjeti kako TCP/IP protokol adresira parametre i šalje ih prema računalu na dodatnu obradu. Funkcijski blokovi koji su potrebni za program analize i upravljanja ovakvim sustavom detaljno su objašnjeni svaki pojedinačno. Tijek rada svakog funkcijskog bloka prikazani su sa dijagramima programa.

## LITERATURA

- [1] V. Pinter, Osnove elektrotehnike, prva knjiga, ITP „Tehnička Knjiga“ D.D, Zagreb, 1994.
- [2] V. Pinter, Osnove elektrotehnike, druga knjiga, ITP „Tehnička Knjiga“ D.D, Zagreb, 1994.
- [3] P. Krčum, Električna mjerenja, sveučilište u Splitu, odjel za stručni studij, Split, 2012.
- [4] I. Sutlović, Energetika, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije, Zagreb
- [5] S.W. Fardo, D.R. Patrick, Electrical power systems technology, treće izdanje, The Fairmont Press Inc., Lilburn GA, dostupno na URL: [https://books.google.hr/books/about/Electrical\\_Power\\_Systems\\_Technology.html?id=bohwbWi3bUMC&redir\\_esc=y](https://books.google.hr/books/about/Electrical_Power_Systems_Technology.html?id=bohwbWi3bUMC&redir_esc=y)
- [6] A.S. Morris, R. Langari, Measurement and Instrumentation, drugo izdanje, Joe Hayton, dostupno na URL: <https://www.pdfdrive.com/measurement-and-instrumentation-principles-e19238305.html>
- [7] Acromag, Introduction to MODBUS TCP/IP, Acromag Incorporated, 2005, Wixom MI, dostupno na URL: [https://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro\\_modbustcp.pdf](https://www.prosoft-technology.com/kb/assets/intro_modbustcp.pdf)
- [8] Siemens, Dana Exchange between S7-1200 and SENTRON PAC via MODBUS TCP (Set22), 2017, dostupno na URL : [https://support.industry.siemens.com/cs/document/40614428/data-communication-between-s7-1200-and-sentron-pac3200-via-modbus-tcp-\(set-22\)?dti=0&lc=en-WW](https://support.industry.siemens.com/cs/document/40614428/data-communication-between-s7-1200-and-sentron-pac3200-via-modbus-tcp-(set-22)?dti=0&lc=en-WW)
- [9] Siemens, Power monitoring device SENTRON PAC3200, 2017, dostupno na URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/26504150/manual-sentron-power-monitoring-device-pac3200?dti=0&lc=en-WW>
- [10] Siemens, SIMATIC S7-1200 Programmable controller, 2016, dostupno na URL: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109741593/simatic-s7-s7-1200-programmable-controller?dti=0&lc=en-WW>

## SAŽETAK

U ovom radu objašnjeni su pojmovi električne energije. Utjecaj struje u strujnom krugu i razlike između utjecaja istosmjerne i izmjenične struje. Računanje snaga izmjenične struje i bitni parametri sustava. Razvoj digitalni instrumenti za mjerenje električnih veličina i koja je razlika u odnosu na analogne instrumente. Objasnili se komunikacije između SENTRON PAC3200 mjernog uređaja za mjerenje električne energije sa SIMATIC S7-1200 PLC-om putem Modbus TCP/IP protokola. Funkcija TCP/IP protokola i kako ga koristiti. Čitanje i pisanje izmjerenih vrijednosti mjernog uređaja i njihovo adresiranje. Spremanje vrijednosti u bazu podataka radi analize i upravljanja sustavom putem SCADA sustava.

**Ključne riječi :** Električna energija, Snaga, Mjerenje, Sentron PAC3200, Simatic S7, SCADA

## ABSTRACT

**Title:** Communication between the PLC and the power monitoring device using the Modbus TCP protocol

In this paper, the concepts of electricity are published. The influence of current in the circuit and the differences between the effects of direct current and alternating current. Calculation of AC power and essential system parameters. The development of digital instruments for measuring electrical quantities and what is the difference with analog instruments. The communication between the SENTRON PAC3200 power meter with SIMATIC S7-1200 PLC via Modbus TCP / IP was explained. Function of TCP / IP protocol and how to use it. Read and write measured values of measuring devices and address them. Saving values in radio analysis databases and managing the system through the SCADA system.

**Keywords:** Electricity, Power, Measurement, Sentron PAC3200, Simatic S7, SCADA

## ŽIVOTOPIS

Rođen 2. 5. 1995. u Osijeku, trenutno prebivalište je u Belišću. Pohađao je osnovnu školu Ivan Kukuljević u Belišću koju završava sa odličnim uspjehom. Nakon osnovne škole upisuje smjer elektrotehničar u Srednjoj Školi Valpovo i završava ju sa vrlo dobrim uspjehom. 2014. godine nakon završetka srednje škole i stjecanja zanimanja elektrotehničar, zapošljava se u tvrtki „TEO – Belišće d.o.o“. Prilikom radnog odnosa usavršava znanja stečena tokom školovanja i steče nova znanja u području elektrotehnike, automatike, industrijske informatike i strojarstva. 2016 godine prekida radni odnos i upisuje stručni studij, smjer Automatika na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku. 2019. godine obavlja stručnu praksu u tvrtki „TEO – Belišće d.o.o“ u trajanju od 5 tjedana. Pod mentorstvom Filipa Belića upoznaje se sa novim znanjima vezanim za programiranje i upravljanje sustavima. Na fakultetu proširuje svoje znanje iz područja digitalne elektronike, automatskog upravljanja i programiranja.

---