

Industrijske mreže i sustavi upravljanja

Dražić, Patrik

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:200:640212>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-27**

Repository / Repozitorij:

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



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

Stručni studij automatika

INDUSTRIJSKE MREŽE I SUSTAVI UPRAVLJANJA

Završni rad

Patrik Dražić

Osijek, 2023.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****Obrazac Z1S: Obrazac za imenovanje Povjerenstva za završni ispit na preddiplomskom stručnom studiju****Osijek, 15.06.2023.****Odboru za završne i diplomske ispite****Imenovanje Povjerenstva za završni ispit
na preddiplomskom stručnom studiju**

Ime i prezime Pristupnika:	Patrik Dražić
Studij, smjer:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. Pristupnika, godina upisa:	A 4547, 19.07.2019.
OIB Pristupnika:	42556509557
Mentor:	dr. sc. Željko Špoljarić
Sumentor:	,
Sumentor iz tvrtke:	
Predsjednik Povjerenstva:	dr. sc. Krešimir Miklošević
Član Povjerenstva 1:	dr. sc. Željko Špoljarić
Član Povjerenstva 2:	Zorislav Kraus, dipl. ing. el.
Naslov završnog rada:	Industrijske mreže i sustavi upravljanja
Znanstvena grana završnog rada:	Elektrostrojarstvo (zn. polje elektrotehnika)
Zadatak završnog rada	Opisati hijerarhiju inustrijskih sustava upravljanja. Osvnuti se na slojeve OSI modela i primjere. Navesti vrste serijskog prijenosa podataka te opisati mrežne standarde i protokole. Objasniti SCADA i DCS sustav upravljanja uz navođenje primjera.
Prijedlog ocjene pismenog dijela ispita (završnog rada):	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 3 razina
Datum prijedloga ocjene od strane mentora:	15.06.2023.
Potvrda mentora o predaji konačne verzije rada:	<i>Mentor elektronički potpisao predaju konačne verzije.</i>
	Datum:

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

Osijek, 02.07.2023.

Ime i prezime studenta:	Patrik Dražić
Studij:	Preddiplomski stručni studij Elektrotehnika, smjer Automatika
Mat. br. studenta, godina upisa:	A 4547, 19.07.2019.
Turnitin podudaranje [%]:	15

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Industrijske mreže i sustavi upravljanja**

izrađen pod vodstvom mentora dr. sc. Željko Špoljarić

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. Hijerarhija industrijske automatizacije.....	1
1.1.1. Senzori i aktuatori.....	2
1.1.2. Automatizacijski sustavi upravljanja	2
1.1.3. Procesna automatizacija	3
1.1.4. Upravljanje proizvodnjom.....	3
1.1.5. Upravljanje korporacijom.....	3
2. Open Systems Interconnections (OSI) model	4
2.1. Slojevi OSI modela.....	5
2.1.1. Fizički sloj	5
2.1.2. Sloj podatkovne veze.....	5
2.1.3. Mrežni sloj.....	5
2.1.4. Transportni sloj.....	5
2.1.5. Sloj sesije.....	6
2.1.6. Prezentacijski sloj	6
2.1.7. Aplikacijski sloj.....	7
2.2. Primjer OSI modela.....	7
3. Topologija	7
3.1.1. Zvezdasta.....	8
3.1.2. Prstenasta topologija.....	8
3.1.3. Linearna topologija.....	9
3.1.4. Mrežna topologija.....	9
3.1.5. Hibridna topologija.....	10
4. Serijski prijenos.....	10
4.1. Serijska sučelja.....	11
4.1.1. RS-232	11
4.1.2. RS-423	12
4.1.3. RS-422.....	12
4.1.4. RS-485.....	12
5. Mrežni standardi i protokoli	13
5.1. IEEE-488.....	13
5.2. CAN bus.....	13
5.3. Industrijski Ethernet	15

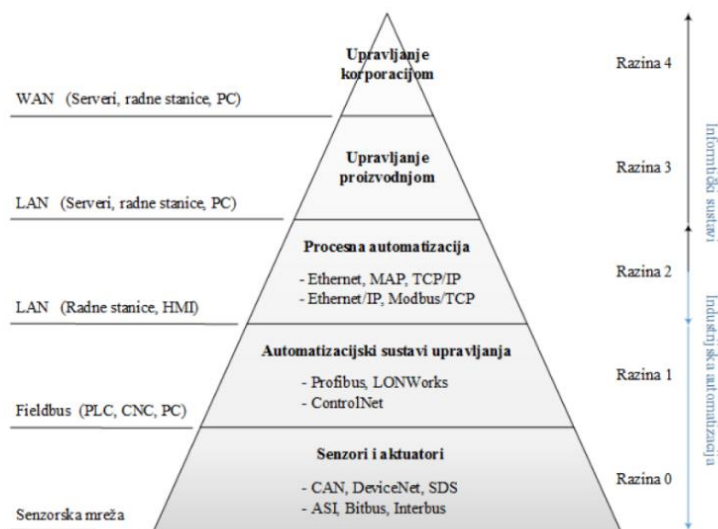
5.3.1. Industrijska Ethernet mreža	17
5.4. HART protokol	18
5.5. Foundation Fieldbus	19
5.5.1. H1 protokol.....	20
5.5.2. HSE protokol	22
5.6. Profibus.....	22
5.7. ASI-bus.....	24
5.8. ModBus	25
5.8.1. Serijski Modbus.....	26
5.8.2. Modbus TCP.....	26
5.8.3. Modbus PLUS	26
5.9. KNX.....	27
5.10. LonWorks	28
.....	29
6. Vrste i načini upravljanja.....	29
6.1. SCADA.....	29
6.1.1. SCADA hardware.....	31
6.1.2. SCADA software	33
6.2. DCS.....	34
7. ZAKLJUČAK.....	37
LITERATURA	38
SAŽETAK.....	39
ABSTRACT	39
ŽIVOTOPIS.....	40

1. UVOD

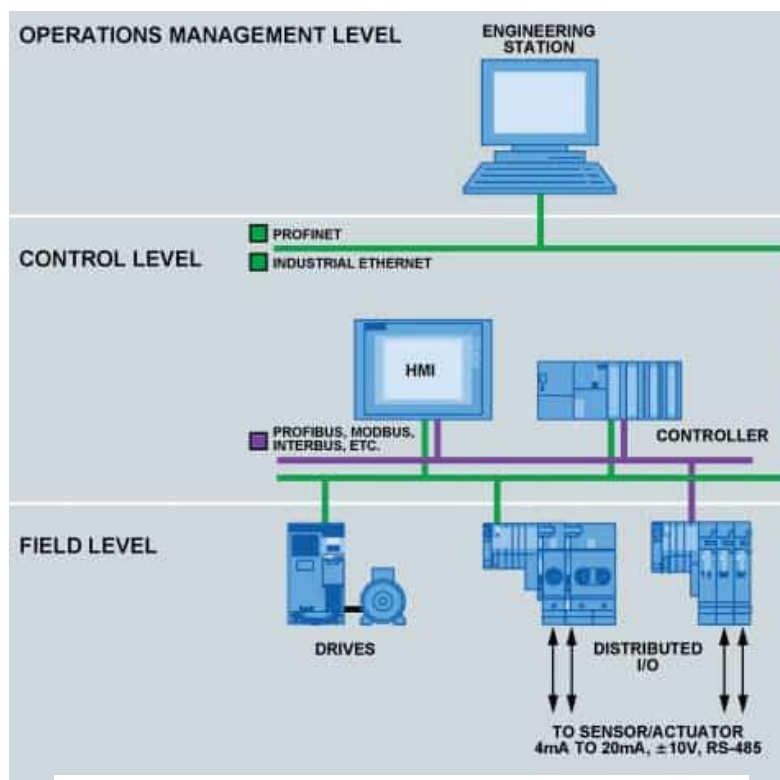
Krajem 1950-ih godina, najmoderniji industrijski proizvođači suočavali su se s hitnim i rastućim pitanjem: kako omogućiti uređajima u radionicama da šalju signale na daljinu i međusobno komuniciraju. Razvoj prvih rješenja serijske prijenosne podatkovne veze, poput RS-232, u 1960-ima dao je život industrijskim komunikacijama. Manje od tri desetljeća kasnije, nastankom modbusa, Ethernet-a, CAN (*eng. Controller Area Network*) sustava i fieldbusa otvorila su se vrata složenijim i povezanim komunikacijama. Omogućili su veći broj senzora, kontroliranih uređaja i drugih mrežnih čvorova da dijele neviđene količine podataka velikom brzinom. Posebno se Ethernet uzdigao da postane temeljna mrežna tehnologija u gotovo svakoj industrijskoj primjeni, zahvaljujući njegovoj sveprisutnosti. Razvojem ovih tehnologija industrijski automatizacijski sustavi postaju sve složeniji pa ih se počinje strukturirati u nekoliko hijerarhijskih razina. U ovome radu biti će objašnjeni mrežni standardi, njihov način rada, osnovni komunikacijski modeli, mrežne topologije i o sustavima za upravljanje i kontrolu industrijskih mreža

1.1. Hijerarhija industrijske automatizacije

Sama podjela čitavog sustava postrojenja i vođenja nekakve industrijske firme može se opisati kao hijerarhijska piramida. U nastavku se može vidjeti prema slici 1.1 grafički prikaz hijerarhije sa pripadajućim komunikacijskim standardima i protokolima korištenim na pripadajućim razinama, također prikazan je i poopćeni oblik na slici 1.2 koji prikazuje jedan od načina povezivanja uređaja odnosno računala unutar industrijskog postrojenja.



Slika 1.1. hijerarhijski prikaz automatizacije unutar industrije [1]



Slika 1.2 Poopćeni oblik hijerarhije unutar mreže [2]

1.1.1. Senzori i aktuatori

U najnižoj razini se nalaze senzori, I/O jedinice, aktuatori... Glavna svrha im je prikupljanje i prijenos mjerenih vrijednosti i podataka PLC-u na daljnju obradu. Komunikacija se nekada vršila putem strujne petlje 4-20mA zbog otpornosti na smetnje, a danas se koriste serijski (RS-232, RS-422, RS-485) i paralelni IEEE-488 standard. Sabirnica zamjenjuje Point-to-point komunikaciju što donosi kvalitetniji prijenos, veće brzine i smanjuje trošak kabliranja. Danas se fieldbus često koristi za prijenos informacija u razini polja. Zbog vremenskih zahtjeva, koji moraju biti strogo promatrani u procesu automatizacije, aplikacije u kontrolerima ove razine polja zahtijevaju cikličke transportne funkcije, koje prenose informacija u jednakim intervalima. Podatak mora biti što kraći kako bi se smanjilo vrijeme prijenosa poruke na sabirnici[3]. Time dobivamo vrlo kratko vrijeme obrade podataka (10 μ do 100 ms). Na ovoj razini koriste se mreže kao što su CAN, ASI, DeviceNet, LonWorks, a i fieldbus.

1.1.2. Automatizacijski sustavi upravljanja

Grupa strojeva ili uređaja koji se koriste za izradu jednog ili više proizvoda. Upravljanje se najčešće vrši preko PLC-a na osnovu podataka primljenih od senzora i uređaja sa nulte razine. Kako su postrojenja podijeljena na više proizvodnih grupa tako svaka grupa dobiva svoj

kontroler. Kontroleri se najčešće povezuju fieldbus mrežama kao što su ControlNet, Profibus, , LONWorks.

1.1.3. Procesna automatizacija

Na ovoj razini protok informacija uglavnom je prouzročen učitavanjem programa, parametara i podataka unutar kontrolera. Upravljanje se vrši preko predefiniраниh profila koji sadrže potrebne postavke za rad strojeva u određenim fazama proizvodnog procesa. Ova razina se sa sastoji od operatorskih i procesnih stanica te servera. Koriste se HMI-i (*engl. Human Machine Interface*) kao vizualni prikaz alarma, i informacija o nekom dijelu procesa. Jedan od bitnijih dijelova ovog računalnog sustava su SCADA (*eng. Supervisory_Control And_Data_Aquisition*) aplikacije koje služe centralizaciji komunikacije sa kontrolerima. Serveri sadržavaju baze podataka za proizvodnju i komuniciraju sa PLC-ovima, operatorskim stanicama i računalnom mrežom. Operatorska radna stanica omogućava ručni unos podataka za proces, odnosno mijenjanje ulaznih podataka; pregled svih događaja u procesu, pokretanje i zaustavljanje procesa, izvješća o proizvodnim procesima itd. Komunikacije se vrše preko ControlNet-a, Profibus-a ali se može koristiti i u LAN okruženju (*eng. Local Area Network*) putem Ethernet-a i TCP/IP protokola kao upravljačka sabirnica za povezivanje upravljačkih uređaja i računala gornje razine [3].

1.1.4. Upravljanje proizvodnjom

Komunikacija između postrojenja i menadžmenta se vrši preko računala unutar LAN-a. Jedan od programa korištenih na ovoj razini je MRP (*eng. Manufacturing Resource Planning*) za planiranje proizvodnih resursa. Koristi se za evidenciju sirovina, unos narudžbi te na osnovu tih informacija se planira i organizira kupovina potrebnih materijala/dijelova i proizvodnja. Automatskim prikupljanjem podataka sa strojeva i operatorskih terminala i daljnjom obradom koristeći razne metode i algoritme možemo izračunati naj optimalniji način rada nekog procesa. Jedan primjer bi bio optimizacija cjelokupnog procesa unutar tvornice korištenjem alata poput Matlab-a uz određene algoritme (genetski algoritam, dual-simplex, linearno programiranje...) za proračun optimalnog vremena preštelavanja strojeva odnosno stanja procesa (*eng. Job shop scheduling*).

1.1.5. Upravljanje korporacijom

Najviša razina je ekonomska, ona se bavi financijama, narudžbama, ljudskim resursima, dugoročnom planiranju proizvodnje i administracijom između svih proizvodnih postrojenja. Jedan od često korištenih računalnih sustava je ERP (*eng. enterprise resource planning*) koji se mogu

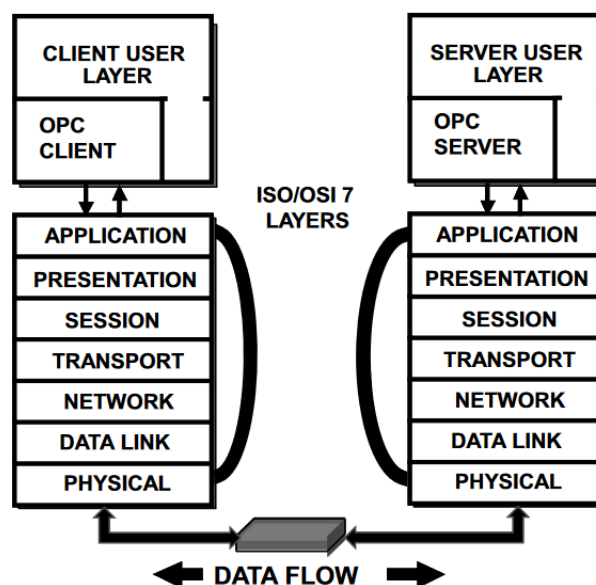
integrirati sa SCAD-om. Kao mreža se koristi Ethernet WAN kako bi se ostvarila globalna povezivost svih korporacijskih ogranaka.

2. Open Systems Interconnections (OSI) model

OSI model je referentni model za komunikacijske protokole koji se koriste u mrežama. Razvijen je od strane Međunarodne organizacije za standardizaciju (ISO) kako bi se osigurala kompatibilnost između različitih proizvođača mrežne opreme. Sastoji se od sedam slojeva koji se koriste za opisivanje procesa komunikacije između uređaja u mreži. Svaki sloj u modelu pruža specifične funkcije i usluge koje se koriste u procesu komunikacije, te se također može zamijeniti ili nadograditi neovisno o drugim slojevima.

Korištenjem OSI modela, različiti proizvođači mrežne opreme mogu se uskladiti s istim standardom kako bi osigurali da se njihovi uređaji mogu međusobno povezati i komunicirati na olakšan način, bez obzira na to tko je proizvođač uređaja.

Danas OSI model služi stručnjacima za važne smjernice i preporuke u razvoju mrežnih protokola. Mrežni komunikacijski protokol predstavlja skup određenih pravila (za prikaz podataka, signalizaciju, autorizaciju i otkrivanje pogrešaka) koja su potrebna da bi se podaci mogli prenijeti preko komunikacijskog kanala [3].



Slika 2.1. Blok prikaz OSI modela [4]

2.1. Slojevi OSI modela

2.1.1. Fizički sloj

Fizički sloj je prvi sloj u OSI modelu i odgovoran je za prijenos bitova preko fizičkog medija. Definiira odnos između uređaja i prijenosnog medija to uključuje raspored pinova, specifikacije kabela, vremenski raspored signala, čvorišta, repetitora, linijske impedancije. Također obavlja, sinkronizaciju bitova i kodiranje. Primarni cilj fizičkog sloja je osigurati pouzdanu vezu između odašiljača i primatelja, bez obzira na vrstu fizičkog medija koji se koristi.

2.1.2. Sloj podatkovne veze

Pruža pouzdan prijenos podataka između susjednih čvorova na mrežnom segmentu. Obavlja detekciju i kontrolu grešaka obično implementiran sa CRC (*eng. Cyclic Redundancy Check*). Ovaj sloj pruža pouzdan prijenos samo između dva sustava povezana direktno jednom vezom, ukoliko sustavi nisu povezani direktno odgovornost prijenosa odlazi na više slojeve. Neki od korištenih protokola su HDLC (*eng. High-level Data Link Control*)[5]. Kod Etherneta, ovaj sloj definiira format podatkovnih paketa ili okvira koji se šalju između uređaja. To uključuje izvorne i odredišne MAC adrese, kao i pravila za otkrivanje i ispravljanje pogrešaka u prijenosu. Također je odgovoran za upravljanje pristupom dijeljenim medijima i osiguravanje da samo jedan uređaj prenosi u isto vrijeme.

2.1.3. Mrežni sloj

Dok se sloj podatkovne a veza bavi metodom u kojoj se fizički sloj koristi za prijenos podataka, mrežni sloj se bavi s organiziranjem tih podataka za prijenos i ponovno sastavljanje. Ukratko, glavna funkcija ovog sloja je određivanje putanje i logično adresiranje. Ovaj sloj daje logičke adrese primljenim paketima što im zauzvrat pomaže da pronađu svoju putanju[5]. Kod Etherneta, ovaj sloj je odgovoran za dodjelu i rješavanje IP adresa te za usmjeravanje paketa između podmreža. On uvozi primljene podatke i uključuje izvorne i odredišne IP adrese, kao i druge informacije potrebne za usmjeravanje paketa do njegove konačne odredišne točke.

2.1.4. Transportni sloj

Transportni sloj pruža komunikaciju između procesa koji se izvodi na različitim uređajima. Usluge su slične podatkovnom sloju ali postoji nekoliko bitnih razlika :

1. Orijeantiran je korisniku, aplikacijski programeri izravno komuniciraju s transportnim slojem i iz te perspektive, transportni sloj je "mreža". Stoga bi transportni sloj trebao biti

više usmjeren prema korisničkim uslugama umjesto odražavanju onog što niži slojevi pružaju.

2. Određuje kvalitetu i vrstu usluga. Korisnik i transportni protokol možda će morati pregovarati o kvaliteti ili vrsta usluge koja se pruža. Korisnik može htjeti pregovarati o opcijama kao što su: propusnost, kašnjenje, zaštita, prioritet, pouzdanost itd.
3. Pri adresiranju potreban je mehanizam za mapiranje naziva usluga visoke razine u nisko razinsko kodiranje koje se mogu koristiti unutar zaglavlja paketa mrežnih protokola. U svojoj općoj formi, problem je prilično složen. Pojednostavljenje je razdvojiti problem na dva dijela: neka transportne adrese budu kombinacija adrese uređaja i lokalnog procesa na tom uređaju[5].
4. Kontrola zagušenja, ukoliko mreža postaje zagušena potrebno je smanjiti brzinu kojom se paketi ubacuju u podmrežu jer podmreža nema način za sprječavanje preopterećenja.

Danas u Ethernetu važni protokoli ovog sloja su TCP/UDP (*eng. Transmission Control Protocol / User Datagram Protocol*). TCP osigurava pouzdan prijenos podataka tako što koristi mehanizme poput potvrda o primitku i ponovnog slanja, dok UDP pruža brži i jednostavniji prijenos podataka bez provjere integriteta ili ponovnog slanja.

2.1.5. Sloj sesije

Sloj sesije upravlja postavljanjem sesije, razmjenom podataka ili poruka i prekida se kada sesija završi. Također prati identifikaciju sesije tako da samo određene strane mogu sudjelovati i sigurnosne službe za kontrolu pristupa informacijama o sesiji[5].Odgovoran za uspostavu, odražavanje i prekid sesije odnosno komunikacije između 2 ili više uređaja. Prijenos podataka u trenutnoj sesiji ostvaruje se simpleksom, poludupleksom ili dupleksom. Koristi se za sinkronizaciju i segmentaciju paketa u mrežnoj vezi. Sesijski, prezentacijski i aplikaciji slojevi se smatraju višim slojevima odnosno protokoli koji su u upotrebi se nazivaju višim protokolima i oni su obično implementirani u softver.

2.1.6. Prezentacijski sloj

Njegova glavna zadaća je format i sintaksa podataka za aplikacijski sloj. Bavi se kodiranjem, kompresijom podataka, enkripcijom, pretvorba tipova podataka. Neki od općih formata su FLAC(*eng.FreeLosslessAudioCodec*), WAV(*eng.WaveformAudio*), GIF(*eng.GraphicsInterchangeFormat*), MPEG(*eng.MovingPictureExpertsGroup*), RTF(*eng.RichTextFormat*),ASCII(*eng.AmericanStandardCodeforInformationInterchange*).

2.1.7. Aplikacijski sloj

Ovaj sloj služi za pristup mreži preko nekakvih korisničkih programa. Neki od protokola koji se koriste su DNS(*eng.DomainNameSystem*), HTTP(*eng.HyperTextTransferProtocol*), SMTP(*eng.SimpleMailTransferProtocol*) i POP3(*eng.PostOfficeProtocol*) za usluge e-pošte, FTP(*eng.FileTransferProtocol*) za prijenos datoteka, TelNET(*eng.TeletypeNetwork*) stariji i SSH(*eng.SecureShell*) sa zaštitom za pristup udaljenom računalu u obliku komandne linije.

2.2. Primjer OSI modela

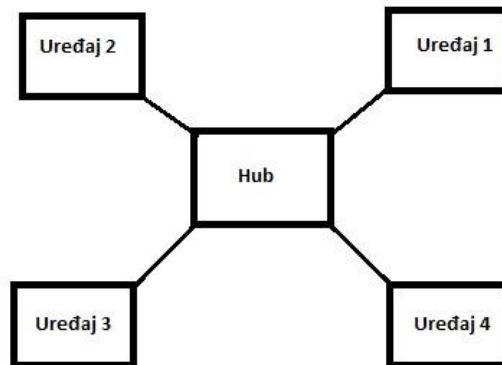
Unutar aplikacijskog sloja, web preglednik koristimo kao korisničko sučelje za pristupanje web stranicama. Web preglednik sam po sebi nije aplikacijski sloj. Komunikacija između web preglednika i web poslužitelja definirana je HTTP protokolom. Unutar prezentacijskog sloja funkcijama je određen format podataka kojim se pristupa preko web stranica kao i kodiranje te kompresija podataka (HTML, PHP, XML). Sloj sesije osigurava uspostavljanje, održavanje i prekid komunikacije između računala i web poslužitelja, te odlučuje hoće li se komunikacija ostvariti u poludupleksu ili dupleksu. TCP protokol kao glavni dio transportnog sloja osigurava pouzdan prijenos podataka između web poslužitelja i klijent računala. Dio mrežnog sloja jest logička adresa (IP) konfigurirana na klijent i poslužiteljskom računalu. Unutar ovog sloja pomoću usmjerivača definira se najbolja putanja prijenosa podataka. S obzirom da podaci ne mogu biti poslani izravno na logičku adresu, IP adrese se prevode u fizičke adrese u podatkovnom sloju. Podaci se potom pakiraju u okvire i šalju putem prijenosnog medija. Kabelske instalacije, hubovi, mrežne kartice, bežične veze, i drugi uređaji koji ostvaruju fizičku vezu između klijentskih računala i web poslužitelja sastavni su dio fizičkog sloja.

3. Topologija

Industrijski sustavi sastoje se od 2 ili više uređaja te kako postaju veći i složeniji dolazi se do potrebe za topologijom unutar mreža. Logička topologija prikazuje način na koji se ostvaruje prijenos podataka unutar mreže i definirana je mrežnim protokolima. Fizička topologija nam pokazuje fizički raspored spojenih uređaja (*eng.node*) unutar mreže. Osnovne su linearna (*eng.Bus*), zvjezdasta (*eng.Star*), prstenasta (*eng.Ring*), mrežna (*eng.Mesh*), i hibridna (*eng.Hybrid*).

3.1.1. Zvezdasta

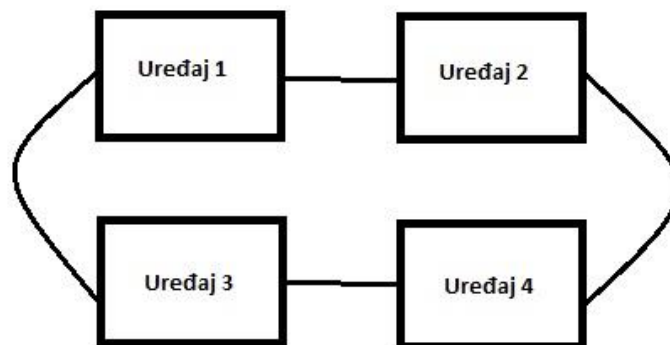
Uređaji su povezani na centralni uređaj poput preklopnika. Prestanak rada jedne veze ne utječe na rad drugih. Jeftina izvedba zbog centraliziranog pristupa, vrlo čest slučaj u LAN mrežama.



Slika 3.1 Zvezdasta (star) topologija

3.1.2. Prstenasta topologija

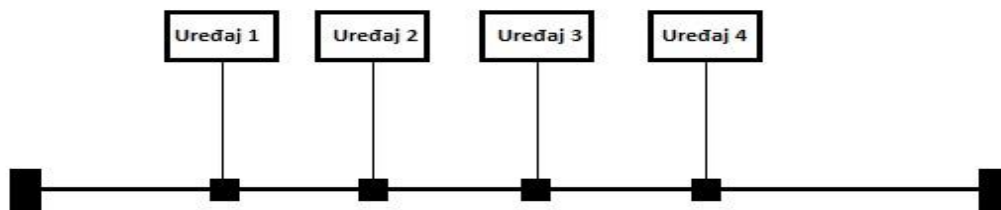
Uređaji su povezani slijedno usmjerenom vezom. Prijenos signala se vrši jednosmjerno duž prstena, tako da signal ili informacija može proći kroz sve uređaje prije nego li dođe do destinacije. Kako je spoj slijedan, prekid jednog uređaja prekida cijelu mrežu, u tom slučaju možemo koristiti dvostruki prsten kao oblik redundancije. Komunikacija se vrši *token passing* metodom.



Slika 3.2 Prstenasta (ring) topologija

3.1.3. Linearna topologija

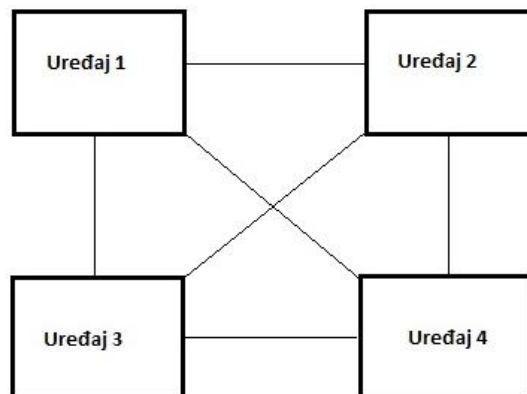
Koristi se sabirnica na koju su paralelno spojeni svi uređaji odnosno stanice. Na oba kraja sabirnice mora biti zaključena karakteristična impedancija zbog smanjenja refleksije signala, a time i smetnje u prijenosu. Duljina sabirnice i potrebna brzina prijenosa nam ograničavaju broj uređaja. Otežano otkrivanje grešaka kod istog razloga kao i kod prstenasta ukoliko izgubimo vezu s jednim uređajem. Ova topologija primjenjena je unutar svih fieldbus mreža.



Slika 3.3 Linearna (bus) topologija

3.1.4. Mrežna topologija

Uređaji su povezani usmjerenom vezom sa svim ostalim uređajima. Postoje osnovna pravila za realizaciju ove mreže. Za n uređaja potrebno je $n(n-1)/2$ fizičkih veza. Svaki uređaj mora sadržavati $n-1$ ulaza i izlaza. Veze između uređaja ne ovise jedna o drugoj što nam omogućava puno lakšu dijagnostiku grešaka. Također ova topologija je sigurnija i privatnija od ostalih jer se prijenos podataka vrši samo između uređaja koji su direktno povezani i koji šalju odnosno primaju poruku.

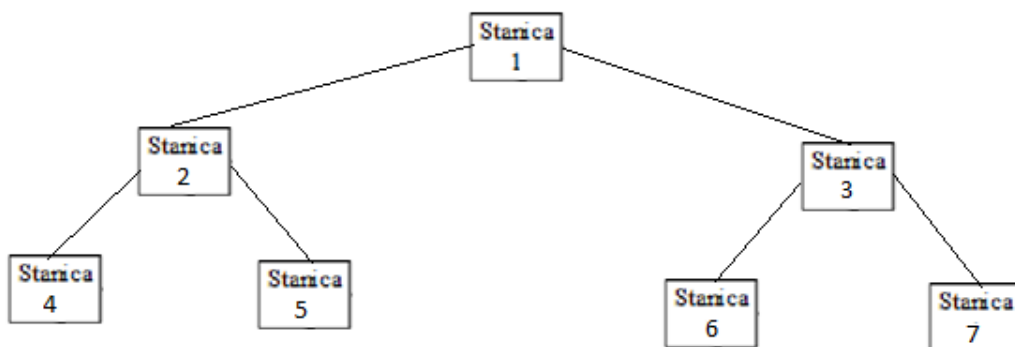


Slika 3.4 Mrežna (mesh) topologija

3.1.5. Hibridna topologija

Za većinu mreža korištenih u industrijskoj namjeni možemo koristiti hibridnu odnosno kombinacijsku topologiju linearne i zvjezdaste mreže, za stvaranje velikih mreža. Korištenjem takve hibridne mreže možemo konfigurirati razne mrežne standarde kao što su Ethernet, Foundation Fieldbus, DeviceNet, Profibus i CAN ovisno o potrebama. Ovakve mreže pružaju i prednosti i nedostatke korištenih topologija tako da je potrebno pravilna konfiguracija sukladna našim potrebama kako bi se ostvarila redundantnost sustava i fleksibilnost.

Kod stablaste mrežne topologije uređaji su povezani s „korijskim“ čvorom koji je središnja točka mreže. Međučvorovi se granaju od korijskog čvora, a krajnji uređaji su povezani s međučvorovima ili izravno s korijskim čvorom. Komunikacija obično teče od korijskog čvora prema listnim čvorovima ili međučvorovima. Topologija stabla je skalabilna i pruža redundantciju, što poboljšava pouzdanost mreže. Nedostatak je taj što kod većih i kompleksnijih mreža postaje skupa zbog potrebe velikog broja medija za povezivanje i održavanje same mreže.



Slika 3.5 Drvo (tree) hibridna topologija

4. Serijski prijenos

Kako mu ime govori serijski prijenos podataka odnosno bitova vrši se slijedno unutar nekakve komunikacijske linije. U usporedbi sa paralelnim prijenosom omogućuje puno veće udaljenosti slanja informacije i različite prijenosne medije. Povezivanje uređaja nam definiraju različiti serijski standardi, a sam prijenos podatak definiran je protokolom. Postoje 3 načina prenošenja podataka, a to su:

- Simplex – podaci se prenose samo u jednom smjeru
- Poluduplex – podaci se mogu prenositi u oba smjera ali ne u isto vrijeme
- Duplex – istovremeni prijenos podataka u oba smjera

4.1. Serijska sučelja

Serijska sučelja su nekakvi fizički načini povezivanja uređaja koja imaju različite električke i mehaničke karakteristike. Ona služe isključivo za povezivanje uređaja dok su protokoli zaduženi za prijenos i komunikaciju podataka. Najznačajnija su : RS-232, RS-423, RS-422, RS-485

U industriji se još koriste i strujne petlje, analogna (4-20 mA) i digitalna (20 mA). Pogodne su za povezivanje mjernih instrumenata i senzora.

4.1.1. RS-232

Preporučeni Standard (*eng. Recommended Standard*) – 232, originalno osmišljen za povezivanje terminala i modema. Prva verzija ovog standarda nastaje 1969.god. od strane EIA (*eng. Electronic Industries Association*). Trenutna aktualna verzija izdana je 1997.god. pod nazivom TIA-232F. Karakteristike logičkih stanja predajnika za slanje podataka su sljedeće:

- Logička '1' : -5V do -25V
- Logička '0' : +5V do +25V
- Nedefinirani logički prag: -5V do +5V

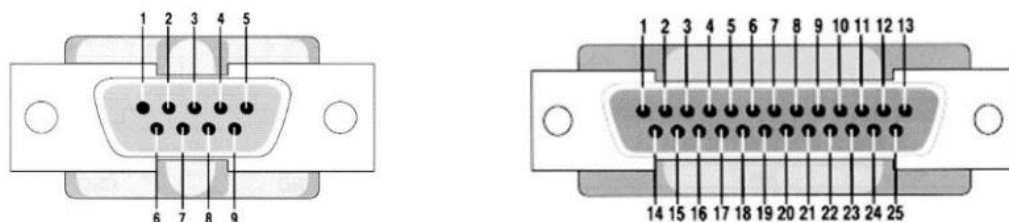
Dok kod prijemnika su:

- Logička '1' : -3V do -25V
- Logička '0' : +3V do +25V
- Nedefinirani logički prag : -3V do +3V

Vrijednosti napona za slanje upravljačkih signala su iste ali suprotnog polariteta.

U minimalnoj konfiguraciji potrebne su dvije linije za prijenos i zajednička masa. Za slanje i prijem podataka koriste se posmačni registri ugrađeni unutar jedinice, a za otkrivanje grešaka u prijenosu, provjera pariteta bita.

Ovaj standard definira konektor od 25 veze koje se dijele u 4 skupine: podatkovne, upravljačke, vremenske i sekundarne. Postoji i manja verzija sa 9 pinova.



Slika 4.1 DB-9 i DB-25 konektor [1]

4.1.2. RS-423

Vrlo slično RS-232 sučelju uz dodatna poboljšanja kao što su povećana brzina prijenosa podataka, povećana maksimalna moguća udaljenost za komunikaciju, moguće spojiti do 10 prijemnika na jedan predajnik. Većina poboljšanja dobiva se smanjenjem promjenom napona na užu spektru. Komunikacija nesimetrična kao i kod TIA – 232 i iste mehaničke specifikacije. Primjena u integriranim krugovima.

Vrijednosti napona logičkih stanja za predajnik:

- Logička '1' : -3.6V do -6V
- Logička '0' : +3.6V do +6V

Vrijednosti napona logičkih stanja za prijemnik:

- Logička '1' : -0.2V do -6V
- Logička '0' : +0.2V do +6V

4.1.3. RS-422

Sa ovim standardom dobivena su poboljšanja na RS-423, za razliku od prethodna dva standarda, ovaj standard koristi simetrično komunikacijsko sučelje, gdje se koristi balansirani diferencijalni signal. Također masa se ne koristi za određivanje logičkog stanja. Time dobivamo veće brzine prijenosa poruke i bolju otpornost na smetnje. Duljine prijenosa mogu ići do 1200m sa 100 kbit/s ili do 15m sa 10 Mbit/s. Danas se najčešće koristi kao pretvarač RS-232 sučelja sa nesimetrične na simetričnu liniju poboljšavajući otpornost na smetnje i veću udaljenost slanja signala.

Vrijednosti napona logičkih stanja za predajnik:

- Logička '1' : -2V do -6V
- Logička '0' : +2V do +6V

Vrijednosti napona logičkih stanja za prijemnik:

- Logička '1' : -0.2V do -6V
- Logička '0' : +0.2V do +6V

4.1.4. RS-485

RS-485 standard ima iste mogućnosti brzine i udaljenosti slanja signala kao i RS-422 ali omogućuje veći broj predajnika i prijemnika. Uređaji se spajaju u paralelnu (*eng. multidrop*) konfiguraciju i uređaji mogu komunicirati u *master-slave* konfiguraciji. Mreža se može ostvariti

kao 2-žična ili 4-žična, koristi se poludupleks u oba slučaja, ali kod 4-žične veza je ostvarena kao dvosmjerna komunikacija na odvojenim linijama. Vodiči na liniji se označavaju sa A i B te ako razlika napona veća od 200mV daje logičku 1, a ukoliko je napon negativan i apsolutna vrijednost veća od 200mV logičku 0.

Vrijednosti napona za predajnik:

- Logička '1' : +1.5V do +6V
- Logička '0' : -1.5V do -6V

Vrijednosti napona za prijemnik:

- Logička '1' : +0.2V do +6V
- Logička '0' : -0.2V do -6V

5. Mrežni standardi i protokoli

5.1. IEEE-488

Još nazvan GPIB (*eng. General Purpose Interface Bus*), sučelje koje se najčešće koristilo za komunikaciju PC-a i mjernih uređaja kao što su brojači, osciloskopi, voltmetri, sistemi za prikupljanje podataka. Razvijen je krajem 1960-ih god. GPIB koristi arhitekturu paralelne sabirnice s 24-pinskim konektorom i podržava do 15 uređaja (ili "instrumenata") na jednoj sabirnici. Svaki instrument na sabirnici ima jedinstvenu adresu, a komunikacija između kontrolera i instrumenata ostvaruje se nizom standardnih naredbi i odgovora. GPIB podržava velike brzine prijenosa podataka do 8 MB/s, što ga čini prikladnim za aplikacije koje zahtijevaju brzo prikupljanje podataka ili kontrolu instrumenta.

5.2. CAN bus

CAN (*eng. Controller Area Network*) je protokol razvijen od strane Boscha 1985.god kao glavna komunikacijska mreža unutar automobilske industrije. Koristi serijsku sabirnicu i komunikacijski protokol za povezivanje inteligentnih uređaja za aplikacije upravljanja u stvarnom vremenu. CAN može raditi s podacima brzine do 1 Mb/s preko moguće duljine linije do nekoliko kilometara, i ima izvrsne mogućnosti otkrivanja grešaka i zatvaranja (korištenje raznih filtera i maski za određivanje specifičnih poruka za specifične ECU-ove(*eng. Engine Control Unit*) ili uređaje). Osim korištenja u auto-industriji CAN se koristi i u medicini pa se u operacijskim salama koristi kao npr. svjetla, stolovi, kamere, rendgenski uređaji i bolesnički kreveti imaju sustave temeljene na CAN-u. Dizala i eskalatori koriste ugrađene CAN mreže, a bolnice koriste CANopen

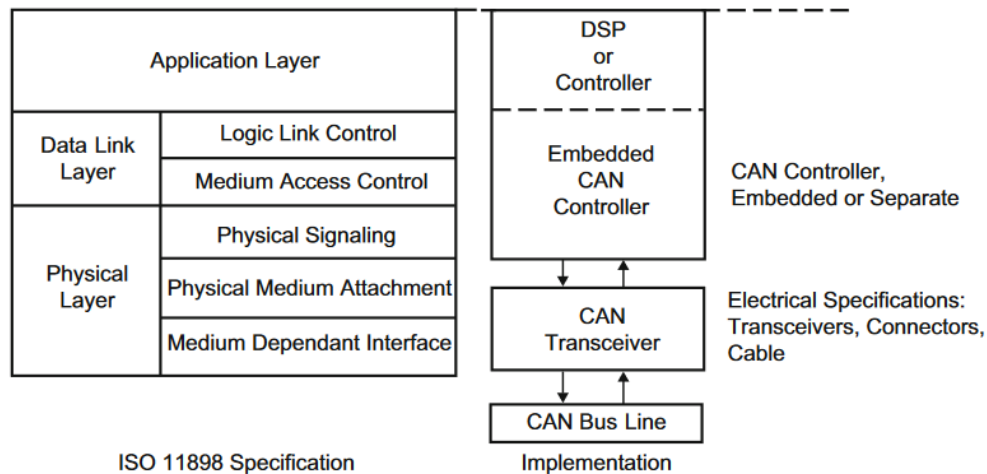
protokol za povezivanje uređaja za podizanje, kao paneli, kontroleri, vrata i svjetlosne barijere, međusobno i da ih kontroliraju. CANopen se također koristi i van industrijske primjene, laboratorijska oprema, sportske kamere, teleskopi, automatska vrata, pa čak i aparate za kavu[6].

Duljina sabirnice (m)	Brzina slanja signala(Mbps)
40	1
100	0.5
200	0.25
500	0.10
1000	0.05

Tablica 5-1 Duljina sabirnica i brzina komunikacije [6]

CAN koristi multi-master, multi-drop arhitekturu mreže, gdje više ECU-ova može komunicirati međusobno putem zajedničkog komunikacijskog busa. Tipična topologija CAN-a uključuje linearnu ili zvjezdastu konfiguraciju, gdje su uređaji spojeni na zajednički bus ili središnju jedinicu. Komunikacija u CAN-u je zasnovana na porukama, gdje se podaci enkapsuliraju odnosno prenose kao poruke s jedinstvenim identifikatorima, poznatim kao CAN identifikatori (CAN ID), te se na taj način razlikuju vrste poruka.

CAN je poznat po svojim determinističkim i komunikacijskim sposobnostima u stvarnom vremenu, što ga čini pogodnim za kritične primjene u industriji. Poruke u CAN-u se šalju koristeći sustav prioriteta na temelju arbitraže, gdje poruke s višim prioritetnim CAN ID-ovima imaju prednost pred porukama s nižim prioritetnim CAN ID-ovima (0 predstavlja dominantni bit dok je 1 recesivan bit). To omogućuje učinkovitu i determinističku komunikaciju, osiguravajući da se kritične poruke šalju i primaju na vrijeme, što je bitno za primjene koje zahtijevaju preciznu sinkronizaciju ili koordinaciju između uređaja[6].



Slika 5.1 Arhitektura CAN mreže [6]

U usporedbi sa OSI modelom, CAN protokol koristi samo fizički i podatkovni sloj. Povezivanje sa aplikacijskom razinom vrši se preko protokola kao što su CANopen, DeviceNet, CAL.

- Aplikacijski sloj predstavlja poveznicu CAN protokola sa operacijskim sustavom ili aplikacijom CAN uređaja.
- Podatkovni sloj zadužen je za slanje i primanje podataka te provjeru njihove ispravnosti. Sastoji se od dva podsloja, LLC-a (*eng. Logical Link Control*) i MAC-a (*eng. Media Access Control*). LLC podsloj vrši funkcije izdvajanja podataka iz okvira, ispravke grešaka i signalizira preopterećenje u komunikaciji. MAC podsloj je zadužen za kreiranje okvira poruke, potvrdu njihovog prijema, vrši arbitražu pristupa sabirnici, te detekciju i signalizaciju greške.
- Fizički sloj definira sklopovlje (*engl. hardware*), karakteristike električnog signala, način kodiranja i sinkronizacije, prijenosni medij i sl. Najznačajniji raspoloživi slojevi su High-speed CAN, Low-speed CAN, Single-wire CAN, Software-selectable CAN.

5.3. Industrijski Ethernet

Zbog svoje popularnosti i povećanja brzine u LAN-ovima, Ethernet je široko rasprostranjen u industriji za međusobno povezivanje rada tvornica ili pogona. Industrijski Ethernet temelji se na istim industrijskim specifikacijama kao standardna Ethernet tehnologija, ali implementacija dva rješenja nisu identična. Primarna razlika između njih je vrsta hardvera koji se koristi. Industrijska Ethernet oprema dizajnirana je za rad u teškim okruženjima kao što je habanje komponente,

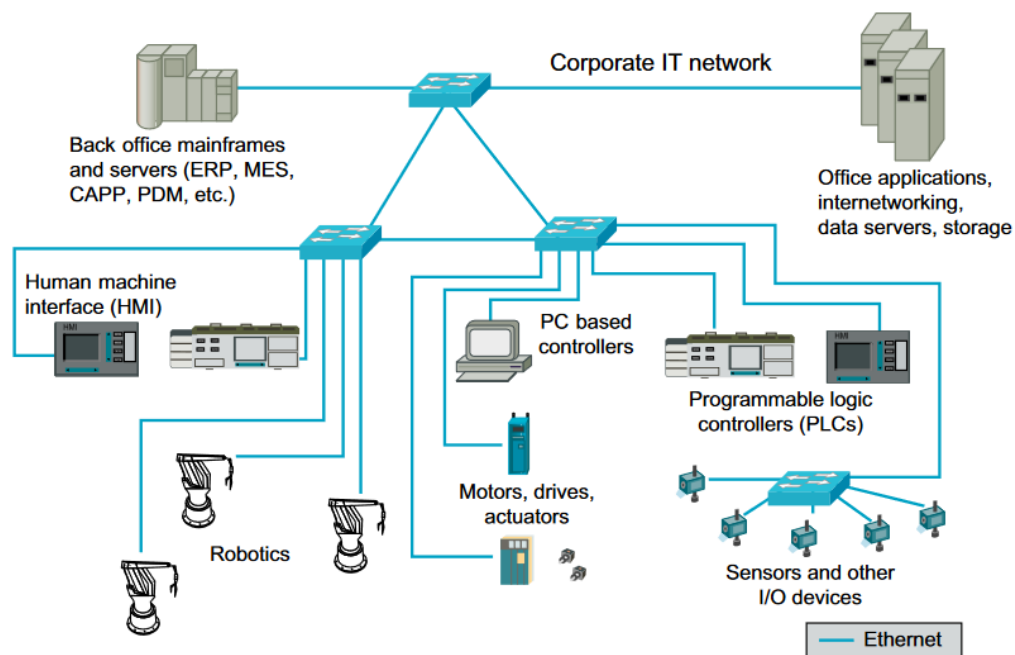
konvencijsko hlađenje i relejna signalizacija za rad na ekstremnim temperaturama kao i otpornost na vibracije i udarce. Zahtjevi za napajanje u industrijskim okruženjima razlikuju se od podatkovnih mreža, tako da oprema radi koristeći 24VDC. Da bi se povećala dostupnost mreže, Industrijska Ethernet oprema također uključuje značajke kao što su redundantni izvori napajanja. Oprema je također modularna, kako bi zadovoljila vrlo različite zahtjeve tvornice ili pogona [6].

Industrijski Ethernet omogućuje rad tradicionalnih alata i aplikacija, ali preko mnogo učinkovitije mrežne infrastrukture. Ne samo da proizvodnim uređajima daje mnogo brži način komunikacije, ali i daje korisnicima bolju povezanost i transparentnost, omogućavajući povezivanje s relevantnim uređajima bez potrebe za zasebnim pristupnicima.

Neke od prednosti industrijskog Etherneteta:

- Veća propusnost i brzina, Ethernet nudi propusnost (*eng. Bandwidth*) obično u punom dupleksu od 10 Mbps do 100 Mbps korištenjem tehnologija prekidača koja osigurava propusnost svim čvorovima u mreži. Ova sposobnost omogućava mrežama dostavu bitnih i upotrebljivih informacija. S dovoljno propusnosti, na mrežu se može dodati još aplikacija, uključujući one koje zahtijevaju istovremeni prijenos podataka, videozapisa i glasa, pogodno za ERP(*eng. enterprise resource planning*) sisteme.
- Optimizirana struktura i smanjeni troškovi. Jedna Ethernet mreža eliminira potrebu za implementacijom, podrškom i održavanjem odvojenih sustava, čime se smanjuju ukupni troškovi mreže i poboljšava pristup informacijama.
- Poboľšana pouzdanost i virtualna determinizacija. Industrijska Ethernet mreža je otvorena i transparentna te može istovremeno podržavati mnoge različite protokole. Već postoje protokoli koji omogućuju prioritetizaciju podataka i time čine Industrijsku Ethernet praktički determinističkom, što znači da je moguće s potpunom sigurnošću reći da se događaj dogodio unutar određenog vremenskog perioda. Industrijska Ethernet koristi mrežne komutacijske topologije koje smanjuju sudare poruka za sustave s vremenskim ciklusima poruka između 10 do 100 milisekundi [6]. Za ispunjavanje zahtjevnijih aplikacija u stvarnom vremenu, kao što su upravljanje strojevima, podaci se šalju posebnim protokolnim skupovima koji raspoređuju poruke s ciljem osiguravanja da svi čvorovi u mreži šalju podatke unutar fiksnog vremenskog ciklusa, istovremeno koristeći mehanizme kao što je TCP/IP.
- Kvaliteta usluge i redundantnost. Za mreže koje koriste komunikaciju temeljenu na paketima, inženjerski pojam kvalitete usluge (QoS) odnosi se na mehanizme kontrole

rezervacije resursa. Za industrijsku Ethernet mrežu, QoS znači mogućnost primjene višeg prioriteta na određene podatkovne okvire. QoS se može implementirati na temelju porta na kojem je okvir stigao kako bi se odredio prioritet okvira (port QoS), ili se može koristiti oznaka unutar okvira za određivanje prioriteta. Ove funkcije su korisne u poboljšanju determinizma mreže. Redundantnost omogućuje interkonekciju prekidača, odnosno ukoliko jedan uređaj ili vod otkáže drugi automatski preuzima njegovu funkciju u mreži kako ne bi bilo zastoja.



Slika 5.2 Generalna Industrijska Ethernet mreža [6]

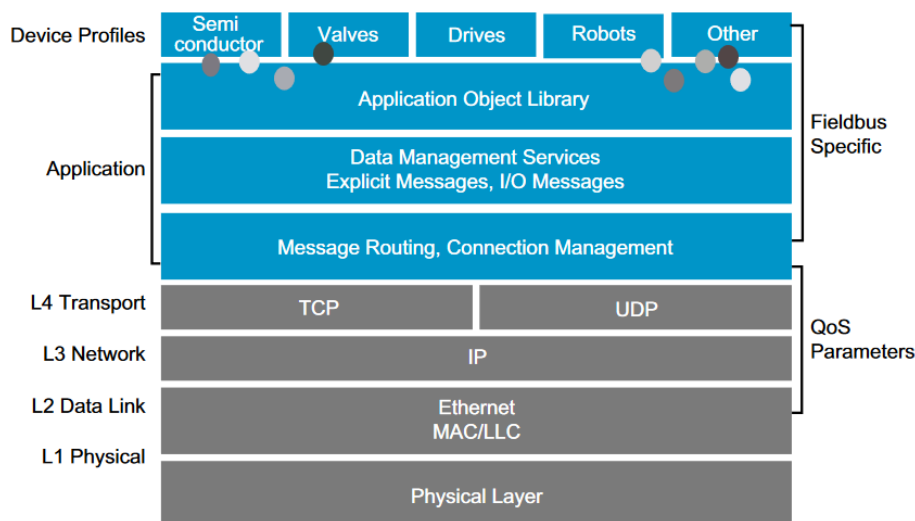
5.3.1. Industrijska Ethernet mreža

Industrijski Ethernet je širi od tradicionalne Ethernet tehnologije. U skladu s 7 slojnim OSI referentnim modelom, standardna Ethernet tehnologija se odnosi samo na slojeve 1 i 2 (fizički i podatkovni sloj), dok većina industrijskih Ethernet rješenja obuhvaća i slojeve 3 i 4 (mrežni i transportni sloj). To je postignuto korištenjem IP adresa u sloju 3, te (*eng. Transmission Control Protocol (TCP)*) i (*eng. User Datagram Protocol (UDP)*) u sloju 4, što se naziva IP paketni skup.

Na razini uređaja, Industrijska Ethernet mreža povezuje kontrolere s I/O uređajima tvrtke, uključujući senzore, pretvarače, ventile, transformatore i druge uređaje za automatizaciju i kretanje, poput robota, drivera i aktuatora. Povezivanje između ovih uređaja tradicionalno je postizano putem različitih Fieldbus-ova poput DeviceNet-a, Profibus-a i Modbus-a. Svaka

Fieldbus mreža ima specifične zahtjeve za napajanje, kabel i komunikaciju, ovisno o aplikaciji koju podržava. To je rezultiralo replikacijom više mreža na istom prostoru i potrebom za više setova rezervnih dijelova, vještina i podrške unutar iste organizacije [6].

Industrijski Ethernet protokolni skup obično se sastoji od Ethernet protokolnog skupa i Internet protokolnog (IP) skupa, koji su standardi razvijeni za komunikaciju podataka unutar automatizacijskih i upravljačkih mreža. Da bi postigla sinkronizirani pristup podacima, industrijska Ethernet oprema mora uključivati podršku značajka kao što su multicast kontrola (IGMP Snooping), QoS i virtualne lokalne mreže (VLAN). Industrijski Ethernet protokoli značajno se razlikuju od standardnih Ethernet protokola. Na primjer, u većini automatiziranih i kontrolnih mreža veliki postotak mrežnog prometa je lokalna, gdje lokalni uređaji komuniciraju, koristeći multicast model (jedan pošiljalac, više primatelja). Također postoji puno veća potreba za determinizmom i radom u realnom vremenu.



Slika 5.3 Model mrežnog sloja i protokolni modul Industrijske Ethernet mreže [6]

Korištenjem opreme temeljene na IEEE standardu, postoji mogućnost migracije operacija automatizacije u Ethernet okruženje zahvaljujući protokolima i tehnologijama kao što su: Ethernet/IP, Profinet, EtherCAT i Modbus TCP.

5.4. HART protokol

HART(*eng. Highway Addressable Remote Transducer*) uređaji prenose svoje podatke preko prijenosnih linija sustava 4 do 20 mA. To omogućuje parametrizaciju terenskih uređaja i pokretanje na fleksibilan način ili za očitavanje izmjerenih i pohranjenih podataka. Svi ovi zadaci

zahtijevaju terenske uređaje temeljene na mikroprocesorskoj tehnologiji [7]. Pri prijenosu podataka digitalni signal se prebacuje u analogni istosmjerni signal 4-20mA primjenom FSK modulacije koja je zasnovana na Bell 202 telefonskom komunikacijskom standardu [1]. Analogni strujni signal koristi se za prijenos primarne mjerne veličine, dok se putem digitalnog signala prenose informacije o statusu uređaja, konfiguracijski parametri, dijagnostički podaci, te dodatne mjerne vrijednosti. Brzina komunikacije iznosi 1200 bit/s, te je za pouzdanost komunikacije potrebno osigurati impedanciju petlje iznosa 230 Ω .

HART dopušta korištenje do dva mastera. Primarni (PC u kontrolnoj sobi, DCS kontroler, PLC) i drugi sekundarni (uređaj za rad u polju, HART terminal).

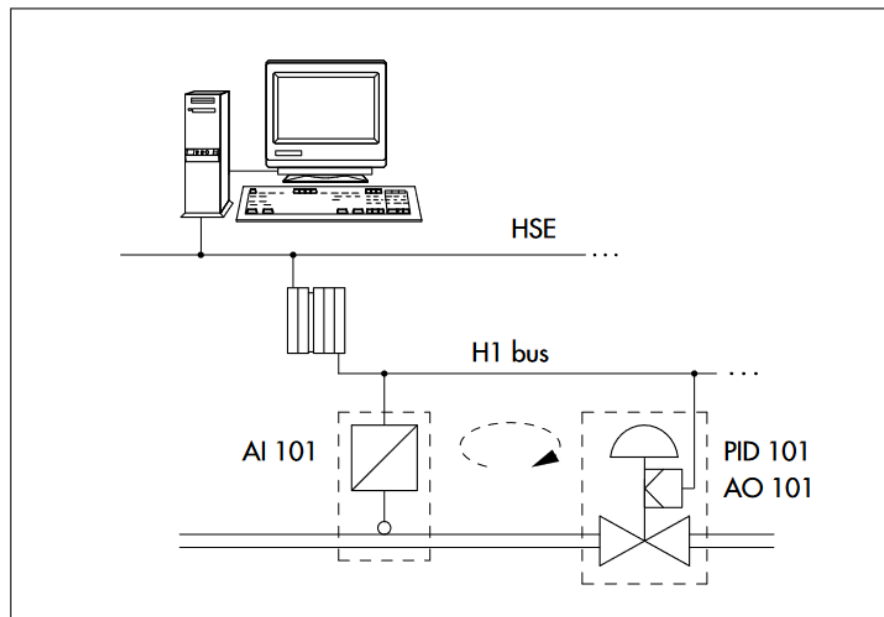
Postoje 3 osnovne konfiguracije spajanja a to su : *point-to-point* gdje je nadređeni uređaj spojen direktno sa HART uređajem, pomoću multipleksora (podržava *point-to-point* i *multidrop*) može se povezati više HART uređaja također u ovoj konfiguraciji multipleksor može raditi kao usmjerivač i omogućava povezivanje na druge protokole poput Etherneta, Profibusa i Modbusa. *Multidrop* konfiguracija nam omogućuje paralelni spoj uređaja od 15 do 62 ovisno od HART revizije uz uvjet korištenja dodatnog izvora napajanja.

5.5. Foundation Fieldbus

Foundation Fieldbus mrežni je standard u kojem se ostvaruje komunikacija između inteligentnih uređaja u polju preko iste sabirnice bez korištenja nadređenih uređaja (kontrolera). Ovo je realizirano primjenom distribuiranih upravljačkih funkcija koje se ugrađuju unutar uređaja u obliku funkcijskih blokova primjenom DD (*eng. Device Description*) programa. Ugrađeni su tvornički ili se mogu dodatno instalirati u uređaj. Foundation Fieldbus koristi dva komunikacijska protokola: H1/H2 i HSE.

H1 područje primjene zamišljeno je kao digitalna zamjena za analogni standard od 4 do 20 mA u širokoj upotrebi u industrijama fluidnih procesa, kasnije nazvanim automatizacijom procesa. H2 područje primjene namijenjeno je proširenju H1 koncepta za sustave koji imaju drugačiji skup zahtjeva uključujući veliku brzinu aplikacija za kontrolu i prikupljanje podataka, kasnije nazvane automatizacija proizvodnje. Kasnije H2 postaje zamijenjen HSE-om [8]. H1 nastaje u skladu specifikacijama standarda IEC 61158-2 i ISA S50.02 i glavna namjena mu je povezivanje uređaja u polju uključujući i područja s opasnostima od eksplozije ili zapaljivosti. HSE (*eng. High Speed Ethernet*) protokol zasnovan je na Fast Ethernet protokolu IEEE 802.3u i ISO/IEC 8802-3 te podržava brzine prijenosa do 100 Mbit/s. Upotrebljava se za povezivanje H1 dijelova na fieldbus

mreže više hijerarhijske razine upravljane kontrolerima ali i za povezivanje na PC sustave upravljanja i vizualizacije procesa.



Slika 5.4 Topologija Foundation Fieldbus mreže [8]

5.5.1. H1 protokol

- Koristi uvrnuti par komunikacijskog medija za fizički sloj. Podržava brzinu slanja podataka koja je ograničena na 31.25 kbit/s zbog smanjenja opterećenja na kablovski sustav. Omogućuje visoku pouzdanost za duge udaljenosti komunikacije (do nekoliko kilometara) bez potrebnih pojačivača signala ili repetitora [8].
- H1 protokol koristi shemu token-prenosa za kontrolu pristupa mediju u svom sloju središnjeg sloja podataka. Uređaji na mreži se izmjenjuju u prenošenju tokena kako bi dobili pristup komunikacijskom mediju i slali podatke. To osigurava determinističku komunikaciju i sprječava sudare, što rezultira pouzdanom i predvidljivom komunikacijom.
- H1 protokol koristi funkcijske blokove kao jedinice komunikacije. Funkcijski blokovi su unaprijed definirani softverski moduli koji predstavljaju određenu funkcionalnost, kao što su senzor, aktuator ili upravljač. Funkcijski blokovi se mogu konfigurirati, parametrizirati i povezivati kako bi obavljali različite zadatke u kontrolnom sustavu.

Blok simbol	Glavna funkcija
AI	Analogni ulaz, prihvaća digitalizirani prikaz vanjskog analognog signala s vanjskog hardvera. Obavlja skaliranje, filtriranje i pruža funkciju visokog i niskog alarma.
AO	Analogni izlaz, pruža digitalizirani prikaz analognog signala vanjskom hardveru. Uključuje ograničenja skaliranja, raspona i brzine promjene te nudi nekoliko opcija za stanje greške (sigurnost od greške).
DI	Diskretni ulaz, prihvaća 8-bitnu pozitivnu ulaznu vrijednost s vanjskog hardvera. Omogućuje filtriranje, izbornu inverziju i diskretne alarme.
DO	Diskretni izlaz, prosljeđuje 8-bitnu pozitivnu izlaznu vrijednost vanjskom hardveru. Omogućuje izbornu inverziju i stanje greške (sigurnost od greške).
PID	Proporcionalni, integralni, derivacijski regulator, omogućuje filtriranje, ograničenja zadanih vrijednosti i ograničenja brzine, podršku za prijenos unaprijed, ograničenja izlaza, alarme grešaka, odbacivanje načina rada i mogućnost zaustavljanja, ali PID algoritam ovisi o proizvođaču.
PD	Proporcionalni derivacijski kontroler, omogućuje filtriranje, ograničenja zadanih točaka i ograničenja brzine, podršku za prijenos unaprijed, ograničenja izlaza, alarme pogreške, odbacivanje načina rada i ručnu neobjektivnost, ali PD algoritam je specifičan za proizvođača.
ML	Ručni učitavač, prihvaća digitalizirani prikaz analognog signala iz AI bloka ili računala. Omogućuje funkciju ograničenja visokog i niskog izlaza i izlaz na druge blokove. Konceptualno, kontroler s čovjekom za upravljački algoritam
BG	Bias/Gain Station, jednostavan proračunski blok s izlaznim ograničenjima, koji se povezuje s drugim blokovima.
CS	Kontrolni birač, odabire između najvišeg, najnižeg ili prosječnog dva ili tri ulaza (iz drugih blokova). Omogućuje neuravnotežen prijenos signala.
RA	Ratio Station, prihvaća signale iz dva AI bloka (ili drugog izvora) i izračunava, kao svoj izlaz, ispravnu zadanu vrijednost koju će koristiti upravljački blok u svrhu kontrole omjera ulaznih parametara.

Tablica 5-2 Standardni funkcijski blokovi FB-a [8]

- Jedna od jedinstvenih značajki H1 protokola je mogućnost napajanja terenskih uređaja putem komunikacijske mreže, što uklanja potrebu za zasebnim žicama za napajanje. To pojednostavljuje instalaciju i smanjuje troškove u industrijskim postrojenjima.
- H1 protokol podržava naprednu dijagnostiku za terenske uređaje, omogućavajući aktivno održavanje i rješavanje problema. Uređaji mogu izvještavati o svom statusu, zdravlju i informacijama o dijagnostici upravljačkom sustavu, što omogućava rano otkrivanje problema i prediktivno održavanje.

5.5.2. HSE protokol

- HSE protokol omogućava prijenos podataka brzinama do 100 Mbit/s, što omogućava visokokvalitetnu komunikaciju s visokom propusnošću podataka. To je pogodno za aplikacije koje zahtijevaju brze cikluse ažuriranja i visoku preciznost, kao što su upravljanje procesima u zahtjevnim industrijskim postrojenjima.
- HSE protokol koristi Ethernet kao fizički sloj za komunikaciju, što omogućava jednostavnu integraciju s postojećim Ethernet infrastrukturom u industrijskim okruženjima. Ethernet je široko prihvaćen standard u komunikacijskoj industriji, što olakšava upravljanje i održavanje mreže.
- Podržava napredne sigurnosne značajke, kao što su enkripcija podataka, autentikacija uređaja i zaštita od neovlaštene pristupa. To osigurava sigurnost podataka i štiti mrežu od potencijalnih sigurnosnih prijetnji.
- HSE protokol osigurava visoku pouzdanost komunikacije, s automatskim otkrivanjem i rukovanjem greškama. Također omogućava determinističku komunikaciju, što znači da su vremenski ciklusi komunikacije predvidljivi i stabilni, što je važno za kritične industrijske aplikacije.
- SE protokol podržava napredne funkcionalnosti, kao što su napredno upravljanje resursima, mogućnost konfiguracije i parametrizacije uređaja na daljinu te bogati skup dijagnostičkih alata. To omogućava visoku razinu kontrole, upravljanja i dijagnostike u industrijskim aplikacijama.

5.6. Profibus

Profibus (*eng. Process Field Bus*), otvoreni komunikacijski standard za serijsku komunikaciju master/slave uređaja spojenih na zajedničkoj sabirnici. Profibus podržava komunikacijske udaljenosti do 15 km koristeći repetitore i optičke kablove, te brzine prijenosa od 9.6 kbit/s do 12 Mbit/s. Razmjena podataka ostvaruje se kroz aciklički i ciklički dio komunikacije. U acikličkom

dijelu se razmjenjuju konfiguracijski i dijagnostički podaci, a u cikličkom dijelu procesni podaci. Unutar PROFIBUS sustava dozvoljeno je spajanje od maksimalno 127 uređaja uz ograničenje sa 32 uređaja po segmentu.

- Fizički prijenos ostvaren je preko RS-485, MBP, optikom ili bežičnim prijenosom
- Aplikacijski sloj omogućuje pristup aplikacijama i predstavlja vezu između komunikacije i aplikacije. Kod PROFIBUS-a imamo tri protokola odnosno 3 vrste PROFIBUS-a. FMS i DP i PA.

PROFIBUS-FMS (*eng. Fieldbus Message Specification*) je komunikacijski protokol koji omogućava fleksibilnu i učinkovitu razmjenu podataka između uređaja u PROFIBUS mreži. Temelji se na modelu master-slave. Kod FMS-a više mastera može upravljati jednim slaveom. FMS i DP koriste identičnu tehnologiju prijenosa i pristupa sabirnici tako da imaju mogućnost istovremenog rada te se koristi u situacijama gdje PLC komunicira sa računalom preko FMS-a, u tom slučaju komunikacija sa I/O uređijma vrši se preko DP-a. Zbog nastanka Ethernet-a njegova uporaba je vrlo rijetka.

PROFIBUS-DP (*eng. Decentralized Periphery*) ovaj komunikacijski protokol specifično je optimiziran za veće brzine prijenosa podataka i povezuje isključivo komunikaciju PLC-a i senzora/aktuatora. Postoje 3 aktualne funkcijske verzije DP-V0, DP-V1 i DP-V2.

PROFIBUS-PA (*eng. Process Automation*) je verzija PROFIBUS-a za procesnu automatizaciju. Protokol gotovo isti kao DP jedina razlika jest reducirana razina naponskog i strujnog signala zbog postizanja sigurnosti. Uređaji se dizajniraju za rad u područjima sa rizicima od eksplozije koja može biti uzrokovana zagrijavanjem ili iskrenjem uređaja. Prijenos podataka i napajanja je ostvaren na istoj sabirnici.

Profibus protokol	FMS/DP		PA	
	Fizički sloj	RS485	Optički kabel	MBP
Prijenos signala i kodiranje	Simetrična linija, NRZ kodiranje	Optički kabel, NRZ kodiranje	Simetrična linija, Manchester kodiranje	Simetrična linija, NRZ kodiranje
Brzina prijenosa	9.6 kbit/s – 12 Mbit/s	9.6 kbit/s – 12 Mbit/s	31.25 kbit/s	9.6 – 1500 kbit/s
Kabel	Upletena parica, oklopljen, tip A	Monomodno i višemodno stakleno vlakno, plastično vlakno, PCF	Upletena parica, oklopljen	Upletena parica, oklopljen, 4 vodiča, tip A
Topologija	Sabirnica	Sabirnica, prsten, zvijezda	Sabirnica, stablasta	Sabirnica
Br. nodeova	32 po seg.	126 u mreži	32 po seg.	32 po seg.
Br. obnavljača	9 – standardna izvedba sa pojačanjem signala	Neograničeno	4	9 – standardna izvedba sa pojačanjem signala

Tablica 5-3 Tehnologije i karakteristike prijenosa [1]

5.7. ASI-bus

ASI-bus (*eng. Actuator Sensor Interface*) industrijska mreža dizajnirana za povezivanje analognih senzora preko iste sabirnice te jednostavnih I/O uređaja kao što su senzori i aktuatori. To je sabirnica s najmodernijom tehnologijom od tradicionalnih industrijskih mreža. Ogroman je posao uložen u njen dizajn kako bi se postala najjednostavnija sabirnica za korištenje. Signal je robustan, uravnotežen i ima paritetnu redundanciju, tako da je kabliranje jednostavno. Može se postaviti u svakom slučaju; zvijezda, drvo ili linijski, bez ograničenja pada. Jedini zahtjev je da svi kablovi u signalnom segmentu moraju biti jednaki 100 metara ili manje u ukupnoj dužini. Odličan i jeftin alternativan izbor pored Etherneta, DeviceNet-a i Profibus-a.

ASI se također može koristiti kao sprega koja povezuje AS-i uređaje na kontroler fieldbus mreže. Drugi način generalno je bolji jer omogućuje povezivanje većeg broja ASI segmenata i komunikaciju pri većim udaljenostima. ASI je potpuno auto-podesiv. Odnosno automatski dodjeljuje postavke brzine prijenosa, pristupnih prava, okvira. Master će automatski obavljati funkcije potrebne za ispravan rad unutar mreže te će slati parametre svakom uređaju, dijagnosticirati i nadzirati sustav.

Za prijenosni medij koristi se ne oklopljeni dvožilni ravni kabel koji se u istome trenutku koristi i za napajanje od 30V. Ukoliko se povezuju uređaji većih energetske potrebe može se dovesti dodatni vod za napajanje.

Pri prijenosu signala koristi se izmjenična impulsna modulacija – APM (*eng. Alternating Pulse Modulation*) neke od prednosti korištenja ove metode pri prijenosu signala:

- Signal poruke sinkroniziran je sa linijskim naponom napajanja te se tako gubi istosmjerna komponenta
- Vrlo niska impedancija kabela zbog uskog frekvencijskog opsega

5.8. ModBus

Modbus je otvoreni serijski komunikacijski protokol razvijen 1979. od strane firme Modicon, namjenjen komunikaciji između PLC-ova. Modbus protokol pruža standard koji Modicon kontroleri (modicon je kasnije kupljen od strane Schneider Electric-a) koriste za analizu poruka. Tijekom komunikacije na Modbus mreži, protokol određuje kako će svaki kontroler znati adresu svog uređaja, prepoznati poruku koja mu je upućena, odrediti vrstu akcije koju treba poduzeti i izdvojiti sve podatke ili druge informacije sadržane u poruci. Ako je potreban odgovor, kontroler će konstruirati poruku odgovora i poslati je koristeći Modbus protokol [9].

Koristi master/slave način rada sa polu-dupleksom te unutar jedne Modbus mreže podržan je jedan master sa do 247 slave uređaja. Master šalje naredbu jednom ili više slave-u te oni odgovaraju sukladno o zahtjevu. Ukoliko slave uređaj ne može odgovoriti pojavit će se poruka greške ili *exception response*. Protokol ne definira nikakve posebne fizičke standarde nego se uglavnom koriste RS232 i RS485 sučelja. Također najnovija verzija protokola podržava i Ethernet, a Modbus/TCP podržava Internet okruženje. Ukoliko se poruka prenosi preko druge mreže ona se mora ugraditi u standardnu poruku za tu mrežu kao što je TCP/IP unutar Ethernet mreže. U suprotnom ukoliko se koriste RS standardi poruka se šalje definirana na sljedeći način:

- Device adress
- Function code – funkcija koju je potrebno izvršiti
- Data – ne obavezni podatci potrebni za izvršavanje funkcije
- Error check – provjera greške pri primanju

5.8.1. Serijski Modbus

Kod ove vrste Modbusa postoje dva načina prijenosa, a to su RTU i ASCII. Oni su zaduženi za pakiranje i kreiranje poruke od podataka te njeno dekodiranje. Način prijenosa se bira prilikom postavljanja mreže i mora biti isti za cijelu mrežu.

Kod ASCII prijenosa 1 byte predstavlja 2 ASCII znaka, znakovi su heksadecimalne znamenke, sve poruke su dakle kodirane u heksadecimalni sustav ali se prikazuju unutar ASCII znakova. Glavna prednost ovog načina je što dopušta vremenske intervale do jedne sekunde između znakova bez uzroka pogreške. Pri RTU prijenosu 1 byte se šalje kao 2 heksadecimalne znamenke bez korištenja ASCII prikaza to mu daje prednosti kao što je veća gustoća znakova koja omogućuje bolju propusnost podataka od ASCII-a za istu brzinu prijenosa. Koriste se 3 osnovne metode za detekciju greške, a to su: CRC (*eng. Cyclical Redundancy Check*), provjera pariteta bita i LRC (*eng. Longitudinal Redundancy Check*) [9].

5.8.2. Modbus TCP

Modbus TCP/IP (također Modbus-TCP) je jednostavno Modbus RTU protokol s TCP sučeljem koje radi na Ethernetu. U ovom načinu rada master/slave uređaje zamjenjuju klijenti (HMI, PLC) i serveri (ulazno/izlazni uređaji).

Budući da Modbus TCP/IP dijeli isti fizički i podatkovni sloj veze s tradicionalnim IEEE 802.3 Ethernet-om i koristi isti TCP/IP paket protokola, ostaje potpuno kompatibilan s već instaliranom Ethernet infrastrukturom kabela, konektora, mrežnog sučelja, čvorišta i sklopka. To je rezultat utiskivanja Modbus serijske poruke unutar protokola više razine.

5.8.3. Modbus PLUS

Uz standardni Modbus protokoli postoji i zatvorena verzija Modbus PLUS, te je njegova primjena većinski za povezivanje geografski udaljenih odnosno dislociranih uređaja.

Modbus PLUS protokol omogućuje povezivanje do 64 uređaja u mreži, na kraju svakog kabela potrebno je dodati otpornik od 220Ω. Potrebno je dodati jedinstvenu adresu svakom uređaju unutar mreže (1-64). Kao prijenosni medij koristi se dvožilni kabel s upletenom paricom

i omotačem, a za maksimalne udaljenosti prijenosa potrebno je koristiti optičke kablove i repetitore.

Komunikacija se ostvaruje kao *token passing* metoda gdje se token prosljeđuje između aktivnih uređaja od najniže do najviše adrese. Adrese uređaja ne ovise o fizičkoj lokaciji uređaja niti se moraju pridjeljivati u uzastopnom nizu. Sekvenca završava tako da uređaj sa najvišom adresom vraća poruku na uređaj sa najnižom adresom. Svaki uređaj zadržava token dok ne pošalje sve poruke. Redundancija je osigurana i prilikom ispada uređaja ili dodavanjem novog. Kreira se nova sekvenca i adresa se dodjeljuje automatski od 5 do 15 sekundi.

5.9. KNX

KNX je otvoreni standard za automatizaciju u zgradarstvu. KNX uređaji obično služe upravljanju rasvjetom, roletama i prozorima, sustavima HVAC, sigurnosnim sustavima, upravljanjem energentima, audio video sustavima, bijelom tehnikom, ekranima, služe za daljinsko upravljanje. Općenito u KNX sustavu, uređaji spadaju u tri kategorije: uređaji sustava (napajanje, programersko sučelje), senzori i aktuatori. Programska podrška za planiranje, dizajniranje i provođenje KNX instalacija naziva se ETS (*eng. Engineering Tools Software*).

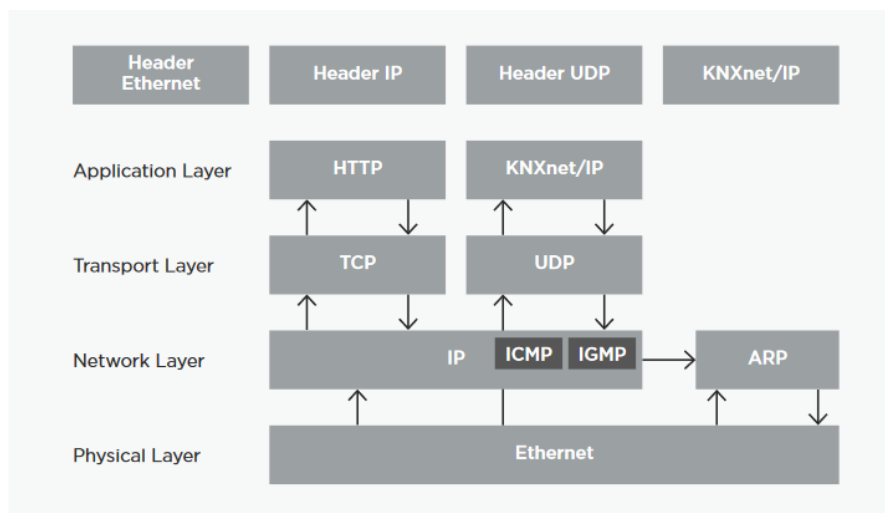
Podržane topologije mreže su stablasta, linijska i zvjezdasta (prstenasta topologija nije dopuštena). Na KNX mreži teoretski je moguće povezati do 50,000 uređaja. U ovoj mreži povezani uređaji formiraju distribuiranu aplikaciju te tako povezani uređaji izravno komuniciraju.

KNX podržava komunikaciju preko 4 prijenosna medija:

- KNX TP (*eng. Twisted Pair*) - Dvožilni podatkovni kabel s uparenom paricom je najčešći komunikacijski medij za KNX instalacije. Ovdje su svi uređaji međusobno povezani preko linijskog kabela. Kabeli s upletenim paricama isplativi su za kupnju i jednostavni za instalaciju. Brzina do 1600 bit/s
- KNX PL (*eng. Power Line*) - Korištenje postojećih električnih kabela u zgradi kao KNX komunikacijskog medija isplativ je način naknadnog opremanja zgrade KNX-om. Nema potrebe za polaganjem dodatnog bus kabela. Postojeći električni kabeli (jedna od tri faze + neutralna žica) sami postaju komunikacijski medij. Podatkovni signali se superponiraju na mrežni napon.
- KNX RF (*eng. Radio Frequency*) - komunikacija se vrši radio signalima opsegom od 868 do 870 MHz. Maksimalna snaga predaje KNX RF uređaja iznosi 5 mW do 25 mW s

brzinom prijenosa od 16.384 kbit/s uz. Prikladno rješenje ukoliko nismo u mogućnosti provlačiti nove kablove.

- KNX IP - koristi dvije Ethernet komunikacijske metode – tuneliranje i usmjeravanje – od kojih obje koriste UDP protokol. Tuneliranje se koristi za pristup sabirnici s lokalne mreže ili interneta u svrhe npr programiranje KNX instalacije, dok se usmjeravanje koristi za razmjenu telegrama preko Ethernet mreže, npr. spojiti dva KNX TP sustava putem Ethernet. KNX protokoli za ove dvije metode komunikacije nazivaju se KNXnet/IP routing i KNXnet/IP tunneling [10].



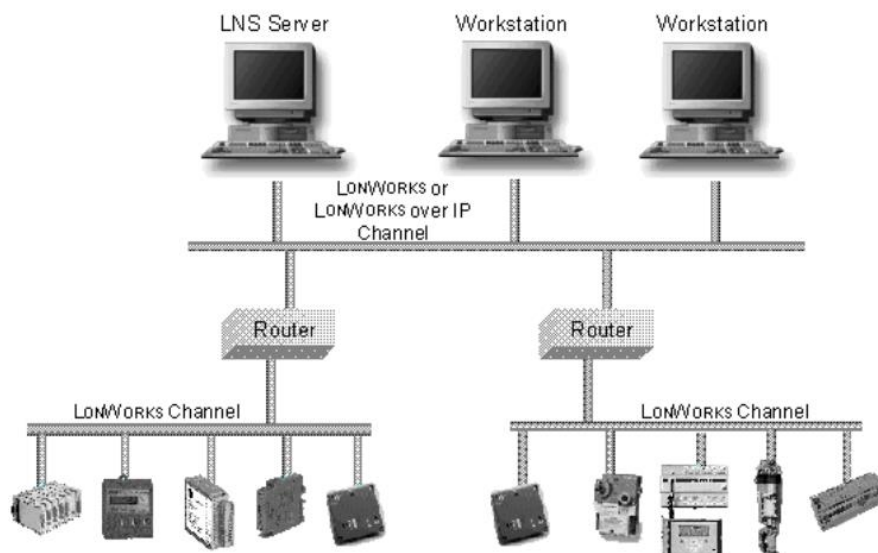
Slika 5.5 Slojevi KNX standarda [10]

5.10. LonWorks

Echelon Corporation 1988. stvara LonWorks, vodeće mrežno rješenje za kućnu automatizaciju, automatizaciju zgrada, javnog prijevoza te mrežama temeljenim na *peer to peer*, IoT (*eng. Internet of things*) komunikaciji.

Za razliku od ostalih mreža poput ProfiBus-a i ModBus-a, Lon (*eng. Local Operating Network*) funkcionira na način da bilo koji uređaj unutar mreže može komunicirati sa bilo kojim drugim uređajem. To se postiže na način tako što svaki node ili uređaj unutar te mreže ima ugrađen čip sa LonTalk protokolom kao firmware-om.

Protokol pruža skup komunikacijskih usluga koji omogućuju aplikacijskom programu u uređaju da šalje i prima poruke s drugih uređaja preko mreže bez potrebe za poznavanjem topologije mreže, imena, adrese ili funkcije drugih uređaja [11].



Slika 5.6 Prikaz Lon mreže u WAN okruženju [11]

LonWorks nije vezan ni za jedan fizički komunikacijski sloj. Ako je DeviceNet ograničen na CAN, a Profibus i Modbus su ograničeni na RS485, LonWorks može koristiti upleteni par, Ethernet ili čak mrežu napajanja kao svoj komunikacijski kanal.

Mreža se fizički sastoji od nekoliko kanala koji su međusobno povezani preko usmjerivača i ponavljača. Mreža je podijeljena na podmreže. Jedna domena može imati do 255 podmreža s najviše 127 čvorova, što daje najviše 32.385 čvorova po domeni. Čvorovi se mogu grupirati, a po jednoj domeni moguće je odrediti 256 grupa.

6. Vrste i načini upravljanja

6.1. SCADA

SCADA (*eng. Supervisory control and data acquisition*) mreže su veliki industrijski kontrolni i mjerni sustavi koji se prvenstveno koriste za kontrolu i praćenje stanja raznih uređaja na terenu koja su udaljena od središnjeg mjesta. SCADA mreže se široko koriste u širokom rasponu industrija, uključujući proizvodnju i prijenos električne energije, kemijska i petrokemijska industrija, autoceste i transport, proizvodnja nafte i plina i čelika. Moderni SCADA sustavi pokazuju pretežno upravljačke karakteristike otvorene petlje i koriste komunikacije na velikim udaljenostima, iako neki elementi upravljanja zatvorenom petljom i kratkim udaljenostima komunikacije također mogu biti prisutni [6].

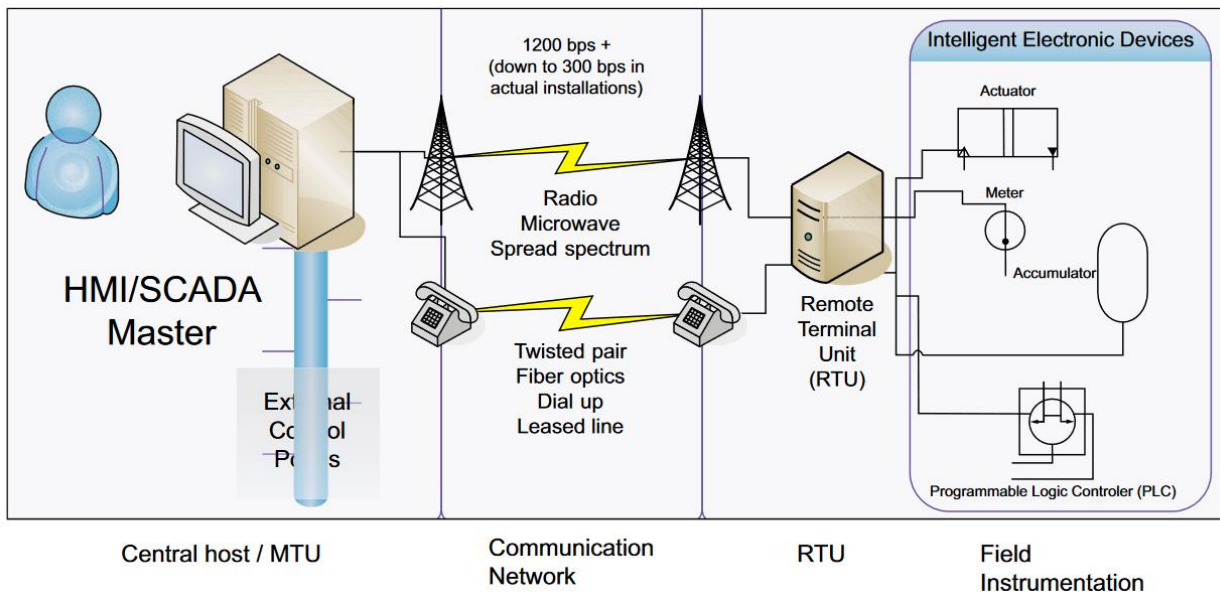
SCADA sustav obavlja četiri funkcije.

1. **Prikupljanje podataka** – Sustavi koje SCADA nadzire obično imaju stotine ili tisuće terenskih uređaja kao što su senzori, aktuatori, prekidači, ventili, transmiteri, mjerači i driveri. Neki uređaji mjere ulaze u sustav (na primjer, voda koja teče u rezervoar), a neki mjere izlazi (kao što je tlak ventila dok se voda ispušta iz rezervoara). Mogu mjeriti jednostavne događaje koji se mogu detektirati jednostavnim prekidačem za uključivanje i isključivanje, odnosno digitalni ulazi. Alternativno, mogu mjeriti i složenije situacije u kojima je važno točno mjerenje. U ovim slučajevima koriste se analogni uređaji, koji mogu detektirati kontinuirane promjene na ulazu napona ili struje. Mogu pratiti razinu tekućine u spremnicima, razinu napona u baterijama, temperaturu... Moderni SCADA sustavi obično zahtijevaju prikupljanje podataka u stvarnom vremenu, tj. podaci se moraju prikupljati na takav način da ga računalo može trenutno obraditi ili pohraniti. Prikupljanje podataka normalno uključuje ulazni skener ili prekidač, analogno-digitalni pretvarač i pretvarače signala koji mogu biti energetske senzori. Sustavi za prikupljanje podataka također mogu činiti dio sustava upravljanja procesom koji, putem korištenje odgovarajućeg softvera, omogućuje izravno digitalno upravljanje industrijskog procesa.
2. **Podatkovna komunikacija** – Mnoge kontrolne aplikacije moraju nadzirati više sustava iz kontrolne sobe, odakle dolazi do potrebe za komunikacijskim mrežama za prenošenje svih podataka prikupljenih od terenskih uređaja. Rane verzije SCADA-e komunikacije su vršile preko radija, modema ili posebne serijske linije, a danas se većinom koristi Ethernet ili preko Interneta. Svi SCADA podatci se kodiraju u format određenog protokola (DNP3, IEC 60870-5, UCA). Također u prošlosti su se više koristili zatvoreni (*eng. Proprietary*) dok je danas trend prema otvorenim i standardnim protokolima. RTU (*eng. remote terminal unit*) ili PLC moraju pružiti sučelje između terenskih uređaja i SCADA mreže, tako da su oni zaduženi za kodiranje podataka i preusmjerenje u SCADA glavnu stanicu mreže. RTU može primiti kontrolne naredbe od mastera i preko releja šalje električni signal na terenske uređaje.
3. **Prikaz podataka** – SCADA sustav kontinuirano nadzire svu instrumentaciju i obavješćuje operatera kada je neki faktor van granica normale u obliku alarma. Master pruža sveobuhvatni pregled cijelog upravljanog sustava i može prikazati više detalja kao odgovor na zahtjev korisnika. HMI (*eng. human machine interface*) prikazuje obrađene podatke operateru i omogućuje mu kontrolu nad procesom. HMI se može povezati na bazu podataka kako bi pružio trendove, dijagnostičke podatke i upravljačke informacije poput rasporeda održavanja, logističkih informacija ili detaljnih shema. SCADA je popularna zbog svoje kompatibilnosti i pouzdanosti.

4. **Upravljanje sustavom** - SCADA sustavi mogu automatski regulirati različite industrijske procese. Na primjer, ako se previše pritiska nakuplja u plinovodu, SCADA sustav može automatski otvoriti ventil za otpuštanje. Proizvodnja električne energije može biti prilagođena zahtjevima na elektroenergetskoj mreži. SCADA sustavi obično pokrivaju velika geografska područja, s kontrolnom aplikacijom smještenom u odgovarajućem terminalu koji se upravlja centralno od strane operatera. Pouzdane komunikacijske veze između glavnog SCADA sustava i uređaja na terenskoj razini su stoga ključne za učinkovito funkcioniranje takvih sustava. SCADA sustavi se usklađuju s standardnim mrežnim tehnologijama, pri čemu Ethernet i TCP/IP bazirani protokoli zamjenjuju starije zatvorene standarde. Iako određene karakteristike mrežne komunikacijske tehnologije temeljene na okvirima (determinizam, sinkronizacija, odabir protokola, prikladnost za okolinu) su ograničile usvajanje Etherneta u nekim specijaliziranim aplikacijama, sada se široko prihvaća u većini situacija. S razvojem softvera kao usluge pojavljuju se i SCADA sustavi smješteni na udaljenim platformama putem Interneta što donosi lakšu uporabljivost zbog uklanjanja potrebe postavljanja i održavanja sustava na lokaciji krajnjeg korisnika. Ovaj način donosi probleme sigurnosti, pouzdanosti i odziva Interneta [6].

6.1.1. SCADA hardware

Glavna stanica ili MTU (*eng. master terminal unit*) - je jedno računalo ili skup računalnih poslužitelja koji pružaju sučelje za SCADA sustav operaterima koji obrađuju informacije primljene od RTU-a i prikazuju rezultate na način koji je čitljiv čovjeku. *Host* ili *root* računalo zatim šalje naredbe na RTU lokacije za upotrebu od strane terenske instrumentacije. Najnovije analogne vrijednosti se prikazuju na ekranima kao brojčane vrijednosti ili kao odgovarajuća grafička reprezentacija. Alarmi se mogu prikazivati na ekranu kao crveni bljeskajuće ikone iznad odgovarajućeg terenskog uređaja. Sustav može imati mnogo takvih prikaza, i operater može odabrati relevantne prikaze u bilo kojem trenutku. Sve abnormalne situacije koje se detektiraju na terenskim instrumentima registriraju se na centralnom *hostu* kao alarmi, a operatori se obavještavaju obično putem zvučnih signala ili vizualnih signala.



Slika 6.1 Moderna arhitektura SCADA-e [6]

Uređaji kao sučelje terenskih podataka

RTU - ovi su uglavnom samostalne jedinice za prikupljanje podataka i upravljanje. To uključuje hardverske module kao što su mikroprocesor i pripadajuća memorija, analogni ulazi i izlazi, brojači, digitalni ulazi i izlazi, komunikacijska i I/O sučelja, napajanje, zajedno u kućištu. Manji RTU-ovi obično imaju manje od 10 do 20 analognih i digitalnih ulaza. RTU-ovi se koriste za pretvorbu elektroničkih signala primljenih iz terenske instrumentacije u komunikacijski protokol koji se koristi za prijenos podataka preko mreže. Upute se tradicionalno drže unutar PLC-a koji su u prošlosti bili fizički odvojeni od RTU-ova. PLC se direktno povezuju s terenskim instrumentima i uključuju programiranu inteligenciju u obliku logičkih postupaka koji se izvršavaju u slučaju određenih terenskih uvjeta. U novijim sustavima postoji mogućnost uklanjanja PLC-ova te se u tom slučaju lokalna logika kontrole nalazi unutar RTU-a.

PLC - potječe iz industrijske automatizacije te se stoga često koristi u proizvodnji i procesnim postrojenjima. SCADA sustavi, s druge strane imaju podrijetlo u ranim telekomunikacijskim aplikacijama gdje je bilo potrebno samo primiti osnovne informacije sa udaljenog izvora. RTU-ovi povezani s tim sustavima nisu imali potrebu za programiranjem kontrole jer je lokalni kontrolni algoritam bio pohranjen u relejnoj logici. Kako su se PLC-ovi i telemetrija sve više koristili, pojavila se potreba za utjecajem na program unutar PLC-ova putem udaljenog signala. Jednostavan lokalni kontrolni program mogao bi biti pohranjen unutar RTU-a i izvoditi kontrolu unutar tog uređaja. Istovremeno, PLC-ovi su počeli uključivati komunikacijske module kako bi omogućili izvještavanje o stanju kontrolnog programa. Proizvođači PLC-ova i

RTU-ova stoga konkuriraju na istom tržištu. Kao rezultat tih razvoja, razlika između PLC-ova i RTU-ova je postala manje jasna i terminologija je gotovo zamjenjiva.

Komunikacijske mreže – Suvremeni SCADA sustavi obično koriste nekoliko slojeva mehanizama za provjeru, kako bi osigurali da je prenesena naredba primljena od strane željenih ciljeva. U SCADA mrežama postoje dva često korištena komunikacijska modela: pristup prema anketiranju i pristup prema natjecanju.

Pristup prema anketiranju (*eng. polled communication model*) je najjednostavniji komunikacijski model za upotrebu. Glavni uređaj *master* potpuno kontrolira komunikacijski sustav i ponavlja zahtjeve za prijenosom podataka između sebe i više podređenih uređaja *slaves*. Podređeni uređaji ne pokreću transakcije, već se oslanjaju na glavnog uređaja. Pristup je uglavnom poluduplex. Ako podređeni uređaj ne odgovori u definiranom vremenu, glavni uređaj ponavlja zahtjev (obično do tri puta) i zatim označava podređeni uređaj kao nedostupan prije nego što pokuša slijedeći podređeni uređaj u nizu.

Pristup prema natjecanju (*eng. Contention communication model*) koristi se uglavnom metoda CSMA/CD protokola gdje nema glavnog *master* uređaja nego se uređaji pojedinačno natječu za pristup prijenosnom mediju. U takvom sustavu sudari su neizbježni, a stanice se moraju nositi s njima. U situaciji kada jedan uređaj za nadzor i upravljanje (RTU) želi komunicirati s drugim RTU-om, tehnika koja se koristi je odgovoriti na upit od strane glavnog uređaja *master* s porukom koja ima određenu adresu različitu od one glavnog uređaja. Sudari se izbjegavaju slušanjem medija prije slanja vlastite poruke [6].

6.1.2. SCADA software

Veći dio SCADA sustava je konfiguriran za određenu hardversku platformu. Također su dostupni brojni opći SCADA softverski proizvodi koji se mogu prilagoditi zahtjevnoj primjeni. Takvi softverski proizvodi su obično fleksibilniji i kompatibilni s različitim vrstama hardvera i softvera.

SCADA softverski proizvodi pružaju osnovne komponente za izgradnju specifičnog softvera za primjenu, koji se mora definirati, dizajnirati, napisati, testirati i implementirati zasebno za svaki sustav

- a) Glavna stanica – koristi generalni operacijski sistem baziran na Windows NT ili Unixu

- b) Upravljačka terminalna stanica, koja se također koristi za upravljanje hardvera centralnog glavnog računala, obično je iste vrste kao i operativni sustav centralnog glavnog računala. Bavi se umrežavanjem centralnog glavnog računala s upravljačkim terminalima.
- c) Aplikacija centralnog glavnog računala, koja je odgovorna za obradu prijenosa i primanja podataka između RTU-a i centralnog glavnog računala. Ova aplikacija obično uključuje neke sustave definirane za funkcije specifične za aplikaciju. Također pruža grafičko korisničko sučelje koje nudi ekrane s imitacijom procesa, stranice s alarmima, stranice s trendovima i funkcije za upravljanje.
- d) Aplikacijski softver upravljačke terminalne stanice, koji omogućuje korisnicima pristup informacijama na aplikaciji centralnog glavnog računala. Ovaj softver može također uključivati neke sustave definirane za funkcije specifične za aplikaciju. Obično je podskup softvera koji se koristi na centralnim glavnim računalima.
- e) Komunikacijski protokoli uobičajeno se nalaze unutar glavne stanice. Potrebni su za kontrolu prijevoda i interpretaciju podatak unutar komunikacijskih veza.
- f) Softver za upravljanje komunikacijskom mrežom, koji je potreban za kontrolu komunikacijske mreže i omogućava praćenje napada i kvarova.
- g) Softver za automatizaciju RTU-ova, koji omogućava inženjerskom osoblju konfiguriranje i održavanje aplikacija smještenih unutar RTU-ova (ili PLC-ova). To često uključuje lokalnu automatizacijsku aplikaciju i bilo koje zadatke obrade podataka koji se obavljaju unutar RTU-ova (ili PLC-ova).

6.2. DCS

DCS (*eng. Distributed Control Systems*) je računalni sustav za upravljanje procesima ili postrojenjima s mnogo kontrolnih petlji, u kojem su autonomni kontroleri raspodijeljeni diljem sustava, bez centralne nadzorne kontrole. Koncept DCS-a povećava pouzdanost i smanjuje troškove instalacije lokaliziranjem kontrolnih funkcija blizu procesne jedinice, s daljinskim praćenjem i nadzorom. Neki od najpoznatijih DCS sistema su ABB 800xA, Siemens Symatic PCS7, Honeywell Experion.

Danas su funkcionalnosti SCADA-e i DCS-a kao nadzornih i upravljački sustava vrlo slične, ali se DCS obično koristi u velikim kontinuiranim procesnim postrojenjima gdje je visoka pouzdanost i sigurnost važna, te kontrolna soba nije geografski udaljena, ali i u velikim procesima gdje nije potrebna velika količina programiranja [12].

Osnovne komponente DCS mreže: Operatorske stanice(glavni dio DCS mreže, računala za pregled alarma, uvid u proizvodnju, pregled procesa...), server, arhivsko i inženjersko računalo (serveri su zaduženi za sav promet između operatorske stanice i kontrolera u polju, inženjerska računala se koriste za stvaranje programske logike, konfiguraciju hardware-a, grafičkih prikaza za operatore te ih prenosi na kontrolere/ekrane), DCS kontroleri (izvršavaju programsku logiku, nadziru I/O module, šalju podatke prema serveru za kreiranje grafičkih sučelja, većinsko korištenje industrijskog Ethernet standarda), izvršni IED poljski uređaji.

DCS kontroleri su obično dizajnirani s užim fokusom na kontrolu procesa. Na primjer, implementacija složene kaskadne višestruke PID kontrolne sheme s ograničenjima, na DCS-u može se izvesti puno brže i jednostavnije od PLC-a. PLC-ovi su općenitije namjene - možete implementirati istu kontrolnu shemu, ali će trajati dulje, funkcije kao što su praćenje, ograničavanje resetiranja, odabir signala, filtriranje ponekad moraju biti eksplicitno programirane tako da je potrebno znati sve detalje niske razine

Glavne razlike DCS-a od SCADA-e :

- DCS ima raspoređenu arhitekturu odnosno funkcije upravljanja su raspoređene na više kontrolera, obično na mjesto za koje je potrebna ta funkcija.
- DCS je originalno dizajniran za upravljanje velikih i složenih industrijskih postrojenja
- DCS sustavi obično su čvrsto integrirani s drugim sustavima u postrojenju, kao što su sigurnosni instrumentacijski sustavi, napredni sustavi za upravljanje procesom i sustavi za upravljanje sredstvima.
- DCS koristi i podržava manji broj komunikacijskih protokola i nešto je sporiji od SCADA okruženja

	SCADA	DCS
Osnovna funkcija	Prikupljanje i pohrana podataka	Automatizacija podsustava
Izvori podataka	RTU, PLC, IED	DCS uređaj
Prostorna veličina	Relativno velika	Relativno mala
Pouzdanost veze	Relativno mala	Vrlo visoka
Odziv	Nedeterministički	Deterministički
Povratna petlja upravljanja	Otvorena	Zatvorena
Industrijski proces	Diskretni	Kontinuirani
Tip komunikacije	Vertikalna	Horizontalna
Komunikacijski model	Klijent/Server	Peer-to-peer
Metoda dohvata podataka	Spontano	Ciklički

Tablica 6-1 Osnovne razlike SCADA-e i DCS-a kao sustava nadzora i upravljanja [12]

Dok SCADA sustavi imaju HMI ili računala koja nisu obavezno od istog proizvođača, DCS sustavi imaju grafička sučelja koja su obično integrirana unutar DCS sistema što može rezultirati velikom uštedom ljudskog rada na velikim projektima.

Kako su godine prolazile, implementirano je mnogo načina konsolidacije i ponovne upotrebe često pisanog koda. Taj kod za višekratnu upotrebu bilo je potrebno napisati u formatu koji kontroler koristi, npr. prilagođeni Funkcijski blokovi, Add on Instrukcije (AOIs), itd., koje je programer napisao za kontroler. Jednom napisan, kod se može inicijalizirati bilo koji broj puta za upotrebu unutar kontrolera. Iako je to, barem u ranijim danima, bilo nezgodnije u SCADA implementaciji, DCS je imao mnoge unaprijed definirane funkcije koje su se mogle prilagoditi i primijeniti za razne aplikacije.

DCS je sustav koji odabiremo za ograničena manja mjesta, poput postrojenja ili tvornica, dok se SCADA koristi kod sustava na koji se šire na mnogo veću geografsku lokaciju. DCS uvijek mora biti spojen na I/O sustava, dok SCADA radi kada i komunikacija u sustavu ne bude uspješna jer čuva sve trenutne vrijednosti.

7. ZAKLJUČAK

Pri postavljanju komunikacijske mreže unutar industrijskog okruženja potrebno je pažljivo odabrati najbolje standarde u danom trenutku. Obično to ovisi o trenutnim postojećim sustavima korištenim u postrojenju. Organizirana hijerarhija jasno daje uvid u stupnjeve komunikacije te uz OSI model omogućava jasno i pregledno spajanje i definiranje komunikacijskih standarda. Svaka razina radi u drugačijem okruženju specifične zadatke te ovisno o potrebama odabiru se komunikacijski protokoli, sučelja i medij prijenosa. Foundation Fieldbus, CAN i DeviceNet ostaju među najkorištenijim komunikacijskim tehnologijama pretežito zbog visoke otpornosti na ekstremne uvjete rada na najnižoj razini. Također uz njih se koristi i Modbus za serijsku komunikaciju i KNX kao komunikacijski standard za zgradarstvo. Danas većina komunikacije teži ka korištenju Industrial Ethernet-a zbog njegove raširenosti, pouzdanosti i performansa. Topologije mreže određuju način povezivanja i komunikacije uređaja te svaka donosi određene mane i prednosti, dok nam OSI model služi kao referentni model za nastanak ostalih komunikacijskih protokola. Pri upravljanju i umrežavanju svih sustava i uređaja u postrojenju tu su SCADA i DCS sistemi. SCADA pruža nadzor, kontrolu i prikupljanje podataka iz raznih dislociranih uređaja isustava. DCS je više usmjeren na nadzor i integraciju cjelokupnog postrojenja s najvišom razine sigurnosti i pouzdanosti. DCS sustavi za razliku od SCADA-e sadrže integrirane nadzorne slojeve i uređaje za jednostavnije i brže postavljanje unutar postrojenja.

LITERATURA

- [1] - Jenčić Silvano, Industrijske računalne mreže, Sveučilište u Splitu, 2015.
- [2] - Electrical Technology, What are Industrial Communication Networks? An Overview, Prosinac 2016., <https://www.electricaltechnology.org/2016/12/industrial-communication-networks-systems.html>
- [3] - Samuel Dijev, industrial networks for communication and control, Technology University of Košice
- [4] - Guarin Leonardo Serna, AutomationNetworkSelection_3rdEd_Chapter3, <https://www.scribd.com/document/410321733/AutomationNetworkSelection-3rdEd-Chapter3-pdf>
- [5] - Kumar Sumit, Dalal Sumit, Dixit Vivek, THE OSI MODEL: OVERVIEW ON THE SEVEN LAYERS OF COMPUTER NETWORKS, Dept. of Computer Science Engineering, Dronacharya Collage of Engineering (Gurgaon) Haryana, India, Rujan 2019.
- [6] - Zhang Pheng, Advanced Industrial Control Technology, Elsevier, 2010.
- [7] - Schulung Samson, HART Communications, Samson AG, Prosinac 1999., <https://www.samsongroup.com/document/1452en.pdf>
- [8] - Fieldbus inc., Foundation Fieldbus Primer, 24. lipnja 2001., https://www.fieldbusinc.com/downloads/primer1_1.pdf
- [9] - Pefhany Spero, MODBUS protocol, Trexon Inc., Siječanj 2000. http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~smokey/software/about/sixnet/modbus/modbus_protocol.pdf
- [10] - KNX Association, KNX Basics, KNX Association, 2000., https://www.knx.org/wAssets/docs/downloads/Marketing/Flyers/KNX-Basics/KNX-Basics_en.pdf
- [11] - Echelon Corporation, Introduction to the LONWORKS® System, 1999., http://www.mitsubishitechinfo.ca/sites/default/files/078-0183-01A_1.pdf
- [12] - Chanchal Dey, A DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM (DCS), University of Calcutta, 2020.
- [13] - Belkacem Kada, Alzubairi Ahmed, Tameem A.Y., IEEE_IndustrialCommunicationNetworksandtheFutureofIndustrialAutomation, ResearchGate, Siječanj 2019., https://www.researchgate.net/publication/331927809_Industrial_Communication_Networks_and_the_Future_of_Industrial_Automation
- [14] - Omer Abdu Idris, ARCHITECTURE OF INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS, European Scientific Journal, Siječanj 2014., <https://core.ac.uk/download/pdf/236408945.pdf>
- [15] - Anderson Mondy, What is DCS? (Distributed Control System), RealPars, Svibanj 2019., <https://realpars.com/dcs/>

SAŽETAK

U ovom završnom radu opisane su mrežne hijerarhije te način organiziranja skupa uređaja i njihovo upravljanje unutar industrijske primjene. Pojašnjeni su osnovni modeli poput OSI-a, vrste topologija te njihove primjene u korištenim mrežama. Također opisan će se osnovni serijski prijenos te razlike između osnovnih serijskih sučelja. Kronologno tome opisan će se neka od najpoznatijih komunikacijskih sučelja i standarda za industrijsku komunikaciju, gdje će se objasniti primjene i specifikacije pojedinih te razvoj cjelokupne komunikacijske tehnologije. Na poslijetku će se govoriti o sustavima nadziranja i upravljanja poput SCADA-e kao centraliziranim otvorenim petljama i DCS kao decentraliziranim zatvorenim petljama

Ključne riječi: topologija, komunikacijski+standardi, industrijska+komunikacija, SCADA, DCS

ABSTRACT

Industrial networks and control systems

In this final paper, network hierarchies and the way of organizing a set of devices and their management within an industrial application are described. Basic models such as OSI, types of topologies and their applications in used networks are explained. It will also describe the basics of serial transmission and the differences between basic serial interfaces. Chronologically, some of the most well-known communication interfaces and standards for industrial communication will be described, where the applications and specifications of each and the development of the entire communication technology will be explained. Finally, monitoring and control systems such as SCADA as centralized open control loops and DCS as decentralized closed control loops will be discussed.

Keywords: topology, communication+standards, industrial+communication, SCADA, DCS

ŽIVOTOPIS

Patrik Dražić rođen je 19.09.2000. godine u Osijeku. Pohađao je osnovnu školu Augusta Šenoae nakon koje upisuje i završava elektrotehničku i prometnu školu Osijek, smjer tehničar za mehatroniku. 2019 upisuje stručni studij elektrotehnike na FERIT-u, smjer automatika.

Potpis autora: