

# 10. IDUSTRIJSKE KOMUNIKACIONE MREŽE

## 10.1 Topologije lokalnih računarskih mreža

Široko je prihvaćeno da se sve računarske mreže dijele u tri kategorije na osnovu prostora koji povezuju. To su *Local Area Network - LAN*, *Metropolitan Area Network - MAN* i *Wide Area Network - WAN*. Mada često nije moguće precizno klasifikovati određenu mrežu u odgovarajući tip, mogu se uslovno definisati u odnosu na rastojanja koja pokrivaju:  $LAN < 5 \text{ km}$ ;  $km < MAN < 25 \text{ km}$ ;  $WAN > 25 \text{ km}$ . Pored rastojanja, tip mreže određuju i drugi faktori: intenzitet komunikacija, prostorna koncentracija uređaja (prema vrstama, kvalitetu,...), stepen razvijenosti infrastrukture za povezivanje, ekonomski i drugi.

Lokalna računarska mreža – *LAN*, po pravilu funkcioniše u okviru jednog objekta (ili na jednom njegodom spratu). Postoji više tipova *LAN* mreža koje se razlikuju po topologiji mreže, vrsti linija za povezivanje i metodi pristupa.

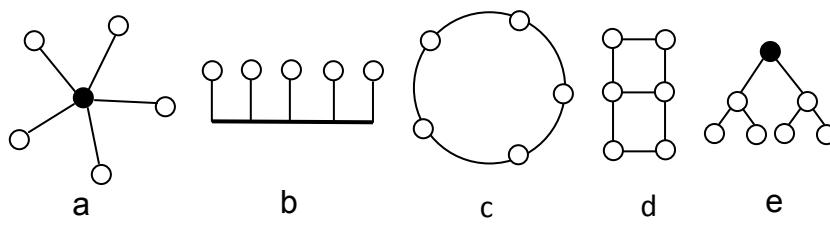
Za definisanje mreže na fizičkom nivou prije svega je bitna njena topologija. Topologija se odnosi na fizički raspored komponenata mreže i način povezivanja. Na Sl.10.1 su skicirani standardni tipovi topologija poznati kao a-zvijezda, b-magistrala, c-prsten, d-ljestvica i e-stablo. Pored navedenih lokalna računarska mreža može biti realizovana kao kombinacija dvije ili više tipskih topologija, mada je to više svojstveno *MAN* i *WAN* mrežama.

### Mreže topologije zvijezde

Kod LAN mreža topologije zvijezda, sve komponente u mreži su povezane na jedan centralni čvor (*hub*).

Sa stanovišta razmjene podataka od bitnog znača je da jedinice ne dijeli zajedničke linije za vezu. Svaka jedinica ima stalni i direktni pristup glavnom čvoru sa kojim jedino može razmjenjivati podatke.

Druga važna osobina je da se ovakva struktura može koristiti za povezivanje analognih i digitalnih elemenata.



Sl.10.1

### Mreže topologije magistrale (*Bus*)

Infrastrukturu magistrale čini jedan kabal koji povezuje sve računare i ostale periferijske jedinice (među kojima se podrazumijevaju i senzori i aktuatori). Jedinice se priključuju na mrežu posredstvom *mrežnog adaptera* koji je u vidu kartice ugrađen u njih. Jedinice na mreži komuniciraju jedna sa drugom tako što šalju podatke preko linija za vezu. Kada se podaci nađu na mreži oni se zapravo šalju svim jedinicama na magistrali. To je razlog da pristup jedinica magistrali mora biti arbitriran na odgovarajući način.

### Mreže topologije prstena (*Ring*)

Ova mreža povezuje jedinice u jedan logički prsten. Izlazna (predajna) linija jedne jedinice se povezuje kao ulazna (prijemna) linija sljedeće jedinice, tako da podaci putuju po prstenu i prolaze kroz svaku jedinicu. Kada jedinice želi da preda poruku ona je šalje na predajnu liniju preko koje se poruka prenosi do prve sljedeće jedinice. Jedinica koja je primila poruku ispituje da li je poruka upućena njoj. Ako jeste, jedinica preuzima poruku; ako nije, jedinica prosljeđuje poruku sljedećoj jedinici. Pošto su sve jedinice vezane u zatvorenom prstenu i koriste zajedničke linije za prenos potrebno je arbitrirati zahtjevima za prenos.

Osnovni nedostata ove topologije je malena pouzdanost, jer kada otkaže jedna jedinica u mreži nije moguće pristupiti jedinicama iza nje.

### Mreže ljestvičaste topologije

Osnovno svojstvo ovih mreža je velika pouzdanost. Ona proizilazi iz redundantnosti prenosnih linija. Po pravilu između svake dvije jedinice postoji više paralelnih linija za vezu. Ako otkaže povezivanje po jednoj liniji, veze se uspostavlja po drugoj putanji.

Zbog velikog broja linija za vezu, ovaj tip mreže omogućava veliku prohodnost podataka i kada je povezan velik broj jedinica.

### Mreže topologije stabla

Mreže topologije stabla odgovaraju povezivanju jedinica tako da njihove veze podsjećaju na stablo. Na vrhu mreže sa nalazi jedan čvor koji odgovara korijanu izvrnutog stabla. Od korijena se stablo grana tako da se mogu uspostaviti različite strukture.

Mreže ove topologije po strukturi izvorno čine hijerarhijsku strukturu sa više nivoa. Iz tog razloga zadovoljavaju zahtjeve većine sistema srednje veličine namjenjenih za rad u realnom vremenu.

## 10.2 OSI referentni model

Međunarodna organizacija za standardizaciju (*International Standard Organization – ISO*), je (u ranim sedamdesetim godinama prošlog vijeka) usvojila standardni model sistema za komunikacije (*Open System Interconnection-OSI*) za definisanje jedinstvenog i sveobuhvatnog modela komunikacionih mreža. Iako postoje i drugi modeli za formiranje komunikacionih mreža, *OSI* model se obično koristi kao referenca za klasifikaciju i opis najrazličitijih komunikacionih protokola.

*OSI* referentni model definiše sedam nivoa ili slojeva komunikacije:

- sloj aplikacije
- sloj prikaza podataka
- sloj sesije
- transportni sloj
- mrežni sloj
- sloj veze podataka
- fizički sloj.

*OSI* model opisuje način na koji informacija putuje od aplikacije sa jednog računara ili nekog uređaja do aplikacije koja se izvršava na nekom drugom umreženom računaru ili uređaju. Za računar ili bilo koji drugi uređaj koji je u stanju da razmenjuje informacije sa drugim umreženim

računarima ili uređajima koristićemo zajednički termin *mrežni čvor* ili samo *čvor*. Informacija se prenosi od aplikacije u izvorišnom čvoru do aplikacije u odredišnom čvoru. Na svom putu informacija najprije prolazi naniže kroz sve slojeve izvorišnog čvora, zatim se fizički, putem komunikacione linije, prenosi do odredišnog čvora gdje prolazi ponovo, ali sada naviše, u obrnutom redoslijedu kroz sve slojeve da bi konačno stigla do odredišne aplikacije. Svaki sloj obavlja određenu transformaciju podataka ili provodi skup aktivnosti koje se odnose na jedan specifični aspekt komunikacije. Tako se fizički sloj odnosi na prenos binarnih signala preko fizičkog prenosnog medijuma, sloj veze problem puzdanog prenosa, mrežni sloj reguliše rutiranje poruka u mreži složene topologije i tako dalje, sve do sloja aplikacije koji je u direktnoj interakciji sa krajnjim korisnikom (ili korisničkom aplikacijom). Sloj višeg nivoa koristi usluge sloja nižeg nivoa. Na primjer, sloj veze priprema pakete koji će biti poslati na mrežu, ali ne učestvuje u neposrednom prenosu paketa već je to zadatak fizičkog nivoa koji jedini direktno pobuditi prenosnu liniju da bi se na njoj postavila logička 0 ili 1.

### 10.2.1 Fizički sloj (*Physical Layer*)

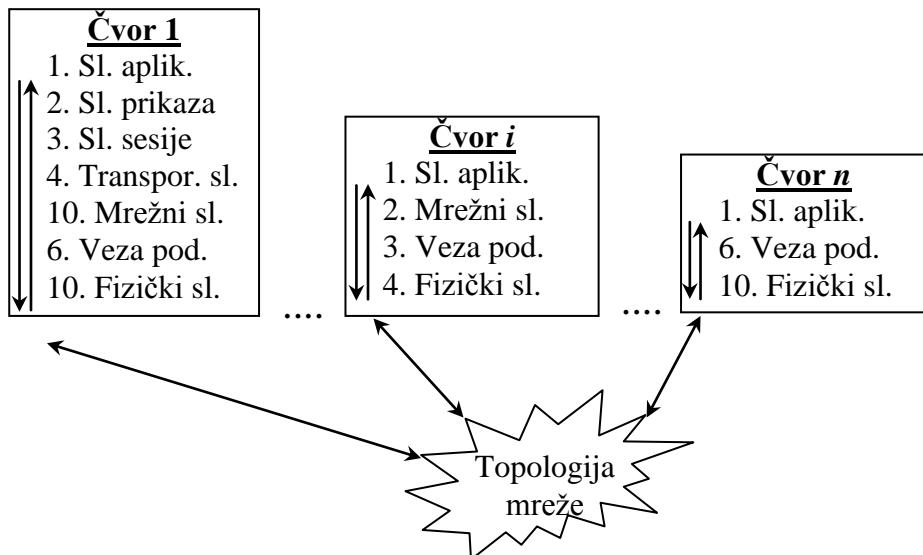
Fizički sloj je odgovoran za prenos bita preko zajedničkog fizičkog medijuma mreže, odnosno mrežnog kabla ili bežične veze. Fizički sloj definiše električne karakteristike signala koji učestvuju u prenosu podataka, kao što su naponski nivoe logičke 0 i logičke 1 i bitska brzina prenosa. Ovaj sloj takođe definiše način sprege čvora na prenosni medijum sve do nivoa tipova utičnica i rasporeda pinova na priključnim konektorima. Ukoliko se radi o bežičnom prenosu, tada se na fizičkom nivou specificira frekvencija nosećeg signala i tip modulacije.

#### Medijumi za prenos

Izbor fizičkog medijuma za prenos diktiran je zahtevanom dužinom linije, pouzdanošću i brzinom prenosa. Najčešće korišćeni prenosni medijumi pomoću provodnih linija (navедени u rastućem redosledu u odnosu na kompleksnost i performanse) su:

- dvožični pravi neoklopljeni bakarni provodnici (npr. *AS bus*)

- dvožične bakarne neoklopljene parice



Sl.10.2

- dvožične oklopljene bakarne parice (npr. *PROFIBUS*)
- koaksijalni kabal (npr. industrijski *ethernet*)
- optički kabal (PROFIBUS / industrijski *ethernet* i slično).

Pored navedenih žičanih veza koristi se i radio prenos (medijum je vazduh)

Ovaj sloj prenosa posjeduju sve mreže. Iz tog razloga je signalima u ovom sloju već posvećeno dosta pažnje u prethodnom poglavlju.

### 10.2.2 Sloj veze podataka (*Data Link Layer*)

Zadatak ovog sloja je da kreira komunikacioni kanal za pouzdan prenos podataka između dva čvora povezana fizičkom komunikacionom linijom. Pored toga sloj uključuje detekciju grešaka, njihovo otklanjanje i izvještavanje o nastalim greškama. U lokalnim mrežama, sloj veze podataka garantuje ekskluzivan pristup medijumu za prenos. Zbog ovoga je sloj podjeljen u dva podsloja: sloj za upravljanje pristupom medijumu (*Medium Access Control - MAC*) i sloj za upravljanje logičkom vezom (*Logic Link Control - LLC*), koji su još poznati pod nazivom slojevi 2a i 2b. Upravljanje pristupom medijumu (*MAC*) reguliše pristup zajedničkom fizičkom medijumu od strane više predajnika. Upravljanje logičkom vezom (*LLC*) je zaduženo za pakovanje informacija u okvire i kontrolu ispravnosti prenosa.

**Upravljanje pristupom medijumu (MAC)** treba da obezbjedi koordinisano korišćenje zajedničkog, djeljivog fizičkog prenosnog medijuma od strane više primo/predajnika. Naime većina fizičkih komunikacionih linija su tipa magistrale. U jednom vremenu preko magistrale se može prenositi samo jedna poruka. Problem nastaje kada više od jednog predajnika želi da šalje podatke. Najpoznatiji standardi za *MAC* sloj su: *IEEE 802.3 (Ethernet, CSMA/CD)*, *IEEE 802.4 (token bus)* i *IEEE 802.5 (token ring)*.

#### *Tehnike pristupa*

S obzirom da se kroz liniju u jednom trenutku može prenositi samo jedna poruka (ukoliko se ne koristi neki specijalan način modulacije), mora postojati mehanizam za utvrđivanje koji od uređaja mogu koristiti prenosni kanal. Za broj uređaja koji "slušaju" poruku važno je samo da on ne pređe gornju granicu datu maksimalnom snagom signala. Pristup kanalu ili magistrali kontrolisan je takozvanom tehnikom pristupa. Postoji nekoliko kategorija tehnika pristupa.

Osnovna podjela je na centralizovane i decentralizovane. Decentralizovane tehnike pristupa djele se još na determinističke i stohastičke.

#### *Master/slave tehnika pristupa*

Tipična centralizovana tehnika pristupa je tzv. master/slave tehnika. *Master* uređaj upravlja linijom za prenos i šalje *slave* uređajima podatke (*polling*) i komande za dozvolu slanja. Direktna komunikacija između *slave* uređaja nije moguća. Svaki čvor koji želi da šalje podatke mora najprije da dobije dozvolu od arbitra. Čvorovi mogu imati različite prioritete, a dozvolu dobija čvor najvišeg prioriteta od svih čvorova koji su uputili zahtjev. Svakom čvoru se dodeljuje ograničeni vremenski interval u toku koga može koristiti djeljivu komunikacionu liniju za slanje podataka.

Prednost ove tehnike je jednostavno i efikasno upravljanje komunikacionim kanalom.

Jedinice se priključuju na mrežu posredstvom *mrežnog adaptera* (koji je u vidu kartice ugrađen u njih), za realizaciju ovakvog upravljanja pristupom. Svaki mrežni adapter posjeduje jedinstvenu *fizičku adresu*. Fizička adresa se naziva *MAC - Media Access Control*. *Master* uređaj šalje podatke preko linija za vezu, direktno na fizičku adresu odredišnog računara. Kada se podaci nađu na magistrali oni se zapravo šalju svim jedinicama. Mrežni adapteri svih jedinica analiziraju te podatke da provjere

da li se odredišna adresa podataka poklapa sa njegovom *MAC* adresom. Ako se adrese poklapaju, mrežni adapter prosljeđuje podatke jedinica, u suprotnom ih odbacuje.

### **Tehnika pristupa proslijedivanjem simbola (Token Passing)**

*Token passing* je decentralizovana, deterministička tehnika pristupa u kojoj fiksna sekvenca bita (*token*) putuje kroz mrežu kao indikator dozvole slanja. Uredaj koji je vlasnik ove sekvence ima dozvolu za slanje, ali mora prestati sa slanjem u određenom vremenskom intervalu. Ovim se obezbeđuje da ne dođe do prekoračenja maksimalnog vremena cirkulacije sekvence. Ukoliko se ova tehnika koristi u linijskoj topologiji, mreža se često naziva *token bus*. Ako je mreža fizički realizovana u obliku prestena naziva se *token ring*.

Metod pristupa *token passing* je posabno rasprostranjen u arbitriranju mreža topologije prstena. Algoritam korišćenja *token passing* je sledećeg oblika:

- Računar koji želi da koristi mrežu čeka na slobodan token.
- Računar koji je primio slobodan token, a želi da šalje podatke, modifikuje token tako da on za preostale računare postaje zauzet, i pridodaje tokenu podatke koje šalje zajedno sa MAC adresom odredišnog računara.
- Podaci prolaze pored računara u mreži, sve dok ne stignu na odredište.
- Odredišni računar preuzima podatke, a zatim modifikuje token, tako da označi uspješan prijem podataka, i šalje token ponovo na mrežu.
- Token nastavlja put duž ringa sve dok se ne vrati do računara koji je poslao poruku.

Po prijemu tokena, a nakon provjere uspješnosti prenosa podatka, predajni računar modifikuje token tako da on postaje slobodan i šalje ga na mrežu.

Treba uočiti da je za prenos jedne poruke između bilo koja dva računara neophodno da token načini jedan pun krug krećući se duž prstena. Iako to izgleda neefikasno, treba imati na umu da se vrijeme prenosa poruke kroz mrežu tipa prstena može precizno odrediti - *deterministički prenos*, što je od velikog značaja kod industrijskih sistema za rad u realnom-vremenu.

Kada se u *token bus* ili *ring* mrežu poveže više *master* i *slave* uređaja, samo *master* uređaci mogu primati *token* sekvencu.

**CSMA/CD tehnika pristupa**

Najvažnija stohastička tehnika pristupa je CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) standardizovana u IEEE 802.3.

Kod ove tehnike bilo koji uređaj može slati u bilo kom trenutku, pod uslovom da neki od uređaja već ne šalje podatke. Dakle, samo jedan računar u datom momentu može da šalje podatke na mrežu. Ukoliko dva računara istovremeno pokušaju da pristupe mreži nastaje kolizija (*collision*). Zahvaljujući nadzoru linije oba uređaja detektuju koliziju i prekidaju sa slanjem podataka. Nakon slučajnog intervala čekanja ponovo pokušavaju prenos. Linije koje koriste CSMA/CD (npr. industrijski ethernet) obično koriste brzine prenosa od 10 Mbps ili veće.

Zbog mogućnosti pojave kolizija, vrijeme potrebno za prenos poruke se ne može prethodno odrediti - *nedeterministički prenos*. Naime, zbog kolizija poruka može da zakasni na odredište što u nekim slučajevima može da poremeti rad sistema.

**Upravljanje logičkom vezom (LLC)**, je definisano standardom IEEE 802.2 i realizuje sljedeće zadatke:

- (1) *Pakovanje informacije* u pakete ili okvire sa predvidljivim početkom, i krajem. Da bi prenos podataka između predajnika i prijemnika bio sinhronizovan neophodno je da početak i kraj okvira budu jednoznačno određeni. To se obično postiže tako što svaki okvir počinje nekom tačno određenom sekvencom bitova, a završava se nekom drugom. Kod nekih protokola svi okviri moraju imati istu, tačno određenu dužinu. Kod drugih protokola, dužina okvira može biti promjenljiva, ali manja od maksimalno dozvoljene dužine.
- (2) *Adresiranje čvorova*. Tipično, svaki čvor u mreži ima jedinstvenu fizičku adresu. Okvir se uvek šalje sa neke *izvorišne* na neku *odredišnu* fizičku adresu, ili skup odredišnih fizičkih adresa. Adresa je dio okvira. Ako se koristi djeljivi fizički medij tada svi čvorovi u mreži primaju okvir, a onda poređenjem odredišne adrese iz okvira i svoje adrese odlučuju da li će prihvati okvir ili ne.

Ako okvir ima samo jedno odredište, radi se prenosu tipa od-tačke-do-tačke (*unicast*). Ako poslati okvir treba da prihvate svi čvorovi u mreži, radi se o tipu slanja svima (*broadcast*). Ako je okvir namjenjen jednom određenom podskupu čvorova, prenos je tipa djelimična pokrivenost (*multicast*). Protokol sloja veze definiše pravila za dodjelu fizičkih adresa čvorova. Treba napomenuti da neki protokoli ne koriste

adresiranje čvorova, već se na ovom nivu komunikacije oslanjaju na *broadcast* (svi primaju sve), dok filtriranje okvira prepuštaju nekom višem mrežnom sloju koji je upućen u značenje podataka koji se prenose.

(3) *Kontrola ispravnosti prenosa.* Zbog uticaja električnih smetnji i šumova može doći do pojeve grešaka u prenosu. Bit koji je poslat kao 1 može biti protumačen od strane prijemnika kao 0 i obrnuto. Kontrola ispravnosti prenosa obezbeđuje mehanizam za detekciju greškaka u prenosu i mehanizam za korekciju grešaka. Za detekciju grešaka koristi se princip zaštitnog kodovanja. Nad bitovima informacije koja se šalje jednim okvirom primjenjuje se algoritmi koji kao rezultat daje tzv. *kontrolnu sumu*. Kontrolna suma se dodaje bitovima izvorne informacije i u okviru istog okvira prenosi se do prijemnika. Prijemnik izdvaja iz primljenog okvira bitove informacije i bitove kontrolne sume; nad bitovima informacije primjenjuje isto izračunavanje i dobijeni rezultat poredi sa primljenom kontrolnom sumom. Ako ove dvije vrijednosti nisu jednakе, prijemnik zaključuje da je okvir primljen sa greškom i zbog toga ga odbacuje. Način izračunavanja kontrolne sume definisan je konkretnim protokolom. Da bi se prevazišla situacija koja nastaje kada prijemnik dobije pogrešan okvir, različiti protokoli ovog nivoa postupaju na različite načine. Neki protokoli potvrđuju svaki ispravno primljeni okvir, tako što pošiljaocu paketa šalju posebnu poruku potvrde ispravnog prijema, tzv. *ACK* okvir (odgovara principu pozitivnog potvrđivanja). Neki drugi protokoli, koriste princip negativnog potvrđivanja, tj. obavještavaju pošiljoca da su primili pogrešan okvir slanjem tzv *NACK* okvira. Kod prvog pristupa, pošiljalac nakon slanja paketa čeka na potvrdu prijema i ako za neko određeno vrijeme ne primi potvrdu, ponavlja slanje istog okvira. U drugom slučaju, pošiljalac ponavlja slanje paketa samo ako to zahtjeva primalac.

(4) *Eliminacija dupliranih okvira i kontrola toka.* U izvjesnim slučajevima može doći do dupliranja okvira (npr., ako se izgubi *ACK* okvir). Takođe, može se desiti da prijemnik nije u stanju da prihvati sve okvire koje mu predajnik šalje, zato što je opterećen nekim drugim zadacima. Da do toga ne bi došlo, protokol sloja podataka obezbeđuje mehanizme za kontrolu toka podataka.

Protokol sloja veze stvara iluziju idealnog komunikacionog kanala. Drugim rečima, protokoli višeg nivoa nisu opterećeni greškama u prenosu podataku, i drugim neregularnim situacijama koje se mogu javiti u toku prenosa podataka preko fizičke komunikacione linije.

### 10.2.3 Mrežni sloj (*Network Layer*)

Osnovni zadatak mrežnog sloja je da definiše puteve prenosa podataka između udaljenih čvorova, koji mogu, ali ne moraju da dijele zajednički fizički prenosni medijum. Savremene komunikacione mreže, kao što je npr. Internet, sastoje se iz mnoštva izolovanih podmreža, tzv. lokalnih mreža. Lokalne mreže se sprežu u globalnu mrežu pomoću specijalizovanih mrežnih uređaja koji se zovu *ruteri*. Svaki čvor globalne mreže ima jedinstvenu logičku adresu, a prenos podataka između dva ne-lokalna čvora ostvaruje se preko *putanje* koju čine dva ili više rutera. Zadatak protokola mrežnog nivoa je da na osnovu logičke adrese izvorišnog i logičke adrese odredišnog čvora odredi putanju. Ovaj zadatak se zove *rutiranje*.

Na primjer, za Internet je karakteristično decentralizovano rutiranje. To znači da putanju ne određuje pošiljalac, niti se putanja određuje na nekom centralizovanom mjestu, već svaki ruter, lokalno, samo na osnovu odredišne logičke adrese određuju da li će i kom susjednom ruteru proslijediti primljenu poruku ili će poruku uputiti nekom lokalnom čvoru. Protokol mrežnog nivoa definiše format i šemu dodjele logičkih adresa, kao i pravila rutiranja. Protokol mrežnog nivoa koji se koristi na Internetu zove se *IP (Internet Protokol)*.

Drugi tipičan zadatak protokola mrežnog nivoa je *segmentacija podatka*. Na strani predajnika protokol mrežnog nivoa dijeli podatke dobijene od protokola višeg nivoa (transportni nivo) na segmente koje, zatim, zajedno sa logičkim adresama predajnika i prijemnika pakuje u tzv. *datagrame*. Veličina datagrama mora biti uskladjena sa dužinom okvira koja je propisana protokolom sloja podataka. Datagrami se nezavisno prenose kroz mrežu. Svaki ruter na putanji između izvorišta i odredišta, može dodatno da podijeli datagram na dva ili više manjih datagrama, ako veličina datagrama nije uskladjena sa dužinom okvira koja je propisana za fizički medijum kojim datagram treba da nastavi dalje.

Datagrami stižu do odredišta u proizvolnjem redoslijedu, a zadatak mrežnog protokola na strani primaoca je da prikupi sve datagrame i rekonstruiše polaznu poruku. Da bi na prijemnoj strani, datagrami mogli da se slože u pravilnom redosledu, svakom datagramu, još na strani prijemnika, dodjeljuje se jedinstveni redni broj.

Pri prenosu kroz mrežu, datagram može biti izgubljen. Ruter može poništiti primljeni datagram zbog uočene greške u prenosu ili zato što je preopterćen intenzivnim saobraćajem.

Mrežni sloj ne garantuje isporuku datagrama, već brigu o tome prepušta sloju prenosa.

Dakle, mrežni sloj formira datagrame i vodi rutiranje datograma do zadate odredišne logičke adrese. Mrežni sloj nije opterećen načinom prenosa datograma između dva susjedna čvora na putanji između izvorišta i odredišta, već je to zadatak sloja podataka i fizičkog sloja.

#### 10.2.4 Transportni sloj (*Transport Layer*)

Transportni sloj omogućava komunikaciju između krajnjih računara koji razmjenjuju podatke. Glavne funkcije ovog sloja su da prihvati podatke od sloja iznad (sloj sesije), ako je potrebno podjeli podatke na manje djelove, tzv. *pakete*, prosljedi pakete mrežnom sloju i stara se o tome da poslati podaci budu uspješno primljeni na strani odredišta. Na taj način, transportni sloj u potpunosti sakriva logičku i fizičku strukturu mreže od sloja sesije.

Dva osnovna zadatka sloja prenosa su:

- uspostavljanje veze (konekcije)
- kontrola toka podataka

(1) *Uspostavljanje veze*. Jedan računar može u isto vrijeme da razmjenjuje podatke sa više drugih računara. Na primjer, na jednom računaru može se istovremeno izvršavati više aplikacija, od kojih svaka komunicira sa odgovarajućom aplikacijom na nekom drugom računaru. Međutim, računar ima jedinstveni priključak na mrežu, tako da svi podaci bez obzira od kog računara stižu prolaze kroz isti mrežni priključak.

Upravo je zadatak transportnog sloja da razgraniči podatke namenjene različitim aplikacijama u okviru istog računara. Ovo se postiže uvođenjem koncepta *konekcije*.

Konekcija predstavlja logički komunikacioni kanal između udaljenih aplikacija. Krajnje tačke konekcije su *portovi*. Svaki port se identificira parom: broj porta, logička adresa čvora (tj. računara). Svaki podatak (bajt) poslat kroz jedan port pojaviće se na odgovarajućem udaljenom portu. Dakle, aplikacije razmjenjuju podatke tako što ih prosto, redom upisuju/čitaju u/iz portova konekcije koja ih povezuje. Ovu iluziju direktnog komunikacionog kanala između dvije aplikacije stvara

transportni sloj. Prije noga što je spremna za korišćenje, konekcija mora biti otvorena. To se postiže razmjenom posebnih paketa između transportnih slojeva predajnika i prijemnika.

(2) *Kontrola toka podataka.* Nakon što je konekcija otvorena, između dvije aplikacije podaci mogu da se prenose u oba smijera. Međutim, da bi se ostvarila iluzija toka podataka, transportni sloj treba da obavi niz zadataka. Prije svega, neprekidni tok podataka, kako ga vide aplikacije, dijeli se na pakete i svaki paket se nezavisno šalje mrežnom sloju. Na odredišnoj strani, zadatak transporntog sloja je da prihvata dolazeće pakete i rekonstruiše tok podataka. Međutim, paketi mogu biti primljeni izvan redoslijeda, sa zakašnjenjem, ili može se desiti da pojedini paketi budu izgubljeni, a neki drugi duplirani. To zahtijeva da svaki paket mora biti numerisan, da postoji mogućnost potvrđivanja uspješno primljenih paketa i mogućnost ponovnog slanja paketa koji nisu stigli do svog odredišta. Takođe, može se desiti da odredište nije u stanju da prihvata podatke onom brzinom kojom se oni šalju. Zato treba da postoji mogućnost da prijemnik obavijesti predajnik kada treba da uspori slanje paketa, a kada može da ubrza.

### 10.2.5 Sloj sesije (*Session Layer*)

Sloj sesije se stara o uspostavljanju, nadgledanju i završetku dijaloga između dvije aplikacije koje se izvršavaju na udaljenim računarnim. Tipične funkcije ovog sloja su: prijavljivanje (*login*), autorizacija, sinhronizacija i odjavljivanje (*logout*).

U mnogim slučajevima, interakcija dvije udaljene aplikacije ne uključuje samo prostu razmjenu podataka. Obično, jedna stana u komunikaciji ima ulogu *klijenta* (onaj ko traži neku uslugu), a druga *servera* (onaj ko pruža usluge). Da bi bi server opslužio klijenta, klijent najpre mora da se predstavi i na neki način dokaže svoj identitet (npr. putem korisničkog imena i lozinke), kako bi server bio siguran da klijent ima pravo korišćenja tražene usluge ili resursa koji su pod kontrolom servera. Po završetku interakcije, klijent se odjavljuje. Sve ove aktivnosti čine jednu *sesiju*. Takođe, sloj sesije treba da obezbijedi bezbjedno korišćenje svojih resursa. Na primer, ako je resurs mrežni štampač, jasno je da u jednom vremenenu servis štamanja može da opslužuje samo jednog klijenta. Drugim rječima, uvijek može da bude otvorena najviše jedna sesija. Na taj način servis se brine o sinhronizaciji.

Dakle, slično konekciji sa transportnog nivoa, sesija se otvara, traje i zatvara. Međutim, jedna sesija može da uključi veći broj konekcija. Na primjer, svaka faza sesija može zahtijevati posebnu konekciju. Konekcija može nepredviđeno da se prekine, a zadatak sloja sesije je da konekciju ponovo otvoriti. Šta više, server ne mora biti jedan računar, već jedan računar može biti zadužen za prijavljivanje i autorizaciju, dok drugi može sadržati bazu podataka. Sloj sesije sve ove detalje sakriva od klijenta, koji ima utisak da komunicira sa jedinstvenim serverom preko jedinstvene sesije.

### 10.2.6 Sloj prikaza podataka (*Presentation Layer*)

Sloj prikaza podataka određuje način formiranja podataka pri njihovoj razmeni između računara na mreži. Podaci dobijeni od sloja aplikacije se prevode u određeni standardni format. Sloj prikaza podataka je odgovoran za konverziju sintakse između dva računara. Na primjer, ako jedan računar koristi *ASCII* standard za predstavljanje tekstualnih podataka, a drugi *EBCDIC*.

Drugi tipičan zadatak sloja prikaza podataka je kompreasija/dekompresija. Između računara često se prenose obimne datoteke koje sadrže tekst, slike ili neki druge tipove podatka. Veličina ovih datoteka može biti više desetina ili čak stotina *MB*. Prenos tako velikih datoteka traje dugo i zauzima značajan dio kapaciteta mreže. Da bi se skratilo vrijeme prenosa, na predajnoj strani se obavlja kompresija datoteke, čime se njena veličina smanjuje. Komprsovana datoteka se prenosi preko mreže do odredišnog računara, gde se obavlja dekompresija i datoteka, u originalnom obliku, isporučuje odredišnoj aplikaciji.

Kriptovanje (ili šifranje) se odnosi na zaštitu podataka od neovlašćenog korišćenja. Mnoge računarske mreže (kao što je *Internet*) su javne mreže, što znači da su dostupne svim zainteresovanim korisnicima. To takođe znači da komunikaciona infrastuktura koja povezuje dva udaljena korisnika nije pod kontrolom ni jednog od njih, pa informacije koje se razmenjuju mogu biti dostupne i nekoj trećoj strani i eventualno zloupotrebljene. Da bi se to spriječilo, povjerljive informacije koje se šalju, na predajnoj strani se kriptuju i prenose u kriptovanom obliku. Na prijemnoj strani, obavlja se dekriptovanje i informacija u originalnom obliku isporučuje odredišnom korisniku. Za bilo koje treće lice koje dođe u posjed kriptovane informacije, ona nema značaj jer niko osim predajnika i prijemnika nije u stanju da protumači njenu značenje.

Dakle, u sloju prikaza podataka obavljaju se transformacije podataka, koje su neophodne kako bi se uskladili formati podataka, omogućilo racionalno korišćenje komunikacionog kapaciteta mreže i obezbijedila sigurnost podataka.

### 10.2.7 Sloj aplikacije (*Application Layer*)

Sloj aplikacije je najviš sloj *OSI* modela koji je u direktnoj interakciji sa krajnjim korisnikom. U okviru ovog sloja su programi (ili aplikacije) koji međusobno razmenjuju podatke, kao što je na primer program za slanje/primanje elektronske pošte ili program za prenos datoteka između udaljenih računara. Ovi programi sakrivaju od korisnika sve aktivnosti koje se dešavaju na nižim slojevima, tako da je za krajnjeg korisnika mreža transparentna.

Da bi dva programa mogla da komuniciraju neophodno je da postoje pravila koja definišu skup dozvoljenih poruka i aktivnosti koje program preduzima po prijemu poruke. Na primjer, program za slanje elektronske pošte omogućava korisniku da pomoći jednostavnog grafičkog interfejsa napiše e-poruku, navede odredišnu adresu e-pošte i prostim klikom na dugme pošalje e-poruku. Zadatak programa je da sadržaj teksta, adresu pošiljoca, adresu primaoca, zajedno sa drugim pratećim informacijama upakuje u poruku koja će biti razumljiva za program koga koristi primaoc poruke, a da zatim uspostavi vezu sa serverom za elektronsku poštu i isporuči mu poruku. Dakle, ono što za krajnjeg korisnika predstavlja jednostavnu aktivnost, program razlaže na čitav niz akcija koje uključuju interaciju i dijalog sa nekim udaljenim programom.

Da bi dva programa mogla da se razumiju neophodno je da oba poštaju neka zajednička standardizovana pravila. Upravo ova pravila interakcije između udaljenih aplikacija predstavljaju protokole koji spadaju u sloj aplikacije.

Napomenimo da korisnik ne mora biti čovjek. Korisnik može biti neka druga aplikacija koja se izvršava na istom računaru. U tom slučaju, interfejs programa prema korisniku nije tastatura miš i ekran već skup funkcija koje su na raspolaganju korisničkom programu.

Slojevi *OSI* referentnog modela realizuju različite zadatke koje je neophodno obaviti kao bi dva udaljena sistema bila u stanju da komuniciraju. Treba napomenuti da postoje dva aspekta mrežne interakcije: prenos podataka i koordinacija. Prenos podataka sam za sebe nije dovoljan da bi sistem kao cjelina mogao da radi na zajedničkom zadatku. Neophodno

je da postoje načini za koordinaciju aktivnosti različitih dijelova distribuiranog sistema. Upravo je koordinacija zadatak tri gornja sloja. Ovi slojevi omogućavaju razmjenu informacija tako što uspostavljaju, održavaju i završavaju konekciju, staraju se o usklađenosti kodiranja i formatiranja informacije i propisuju pravila dijaloga između dvije udaljene aplikacije. Sa druge strane, četiri niža sloja *OSI* modela, usredstvena su na prenos podatka. Oni ne ulaze u smisao podataka koji se prenose, već ih tretiraju kao niz bajtova (ili bitova) koje treba pouzdano prenijeti od izvorišta do odredišta.

Treba napomenuti da ne postoji jedinstveni komunikacioni protokol koji pokriva sve slojeve *OSI* referentnog modela. Obično, protokoli se vezuju za određene slojeve, a kompletna komunikaciona infrastruktura se formira slaganjem protokola u strukturu koja se zove *protokol stek*. Na primer, Internet koristi TCP/IP protokol stek, kod koga su dva glavna protokola *TCP* (odgovara transportnom sloju) i *IP* (odgovara mrežnom sloju). Fizički i sloj podataka pokriva *Ethernet* protokol ili *PPP* protokol. Iznad *TCP* protokola, u oblasti tri najviša sloja, postoji čitav niz standardizovanih servisa, kao što su *Telnet*, *FTP*, e-pošta, *HTTP*.

Podela na slojeve nije tako striktna. Protokol ne mora biti ograničen samo na jedan sloj, već može da obuhvata i više slojeva. Takođe, da bi komunikacija bila omogućena nije neophodno da postoje protokoli za sve slojeve. Na primer, korisnička aplikacija može da se oslanja direktno na fizički sloj, ali to znači da programer te aplikacije mora da riješi sve one zadatke koji nastaju u komunikaciji, a koji se inače rješavaju protokolima višeg nivoa. U tom smislu, postojanje i dostupnost komunikacionih protokola i standarda značajno olakšava razvoj distribuiranih aplikacija. Uz to, distribuirani sistemi zasnovani na standardnim komunikacionim protokolima su *otvoreni*, što znači da nisu ograničeni samo na umrežavanje proizvoda jednog proizvođača, već su otvoreni za sve proizvode koji su usklađeni sa konkretnim standardima.

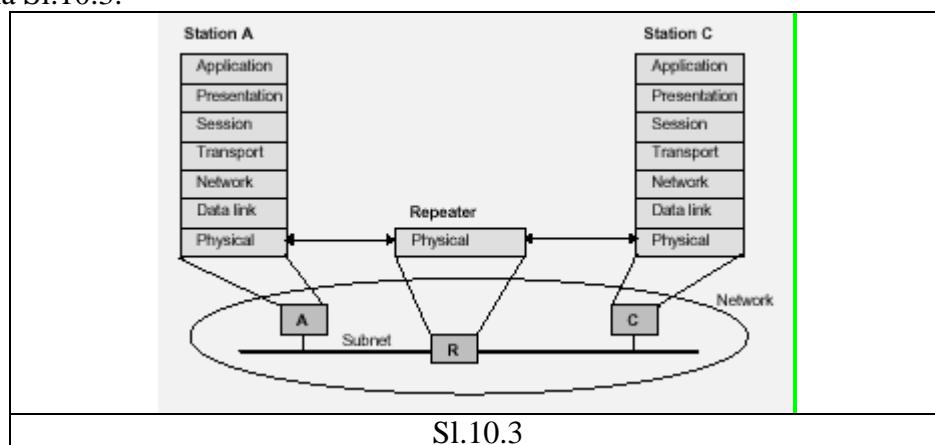
Potpuni *OSI* referentni model, kako je naveden, karakterističan je za računarske mreže.

### **10.3. Povezivanje lokalnih mreža**

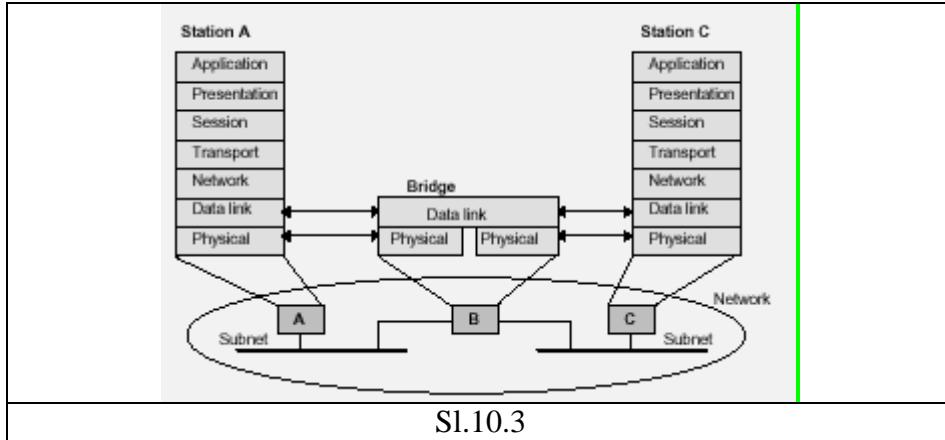
Da bi se ostvario prenos informacija između dvije mreže, potrebno je koristiti specijalne elemente za povezivanje. Mreže koje treba povezati često se ne mogu se direktno povezati jer podatke iz jedne mreže nije moguće direktno interpretirati u drugoj mreži. Važno je krajnjem korisniku

obezbijediti utisak da dvije povezane mreže funkcionišu kao cjelina i da ne dolazi do greške u prenosu. Drugim riječima, poželjno je da povezivanje mreža bude "nevidljivo" za krajnjeg korisnika i on ne treba posebno imati u vidu njegovo postojanje, odnosno, u krajnjem, ne mora praviti nikakve izmjene na softveru kako bi obezbijedio normalnu komunikaciju između jedinica dvije mreže. U zavisnosti od kompleksnosti i nesaglasnosti mreža za povezivanje se koriste: repetitor (*repeater*), most (*bridge*), ruter (*router*) ili gejtvej (*gateway*).

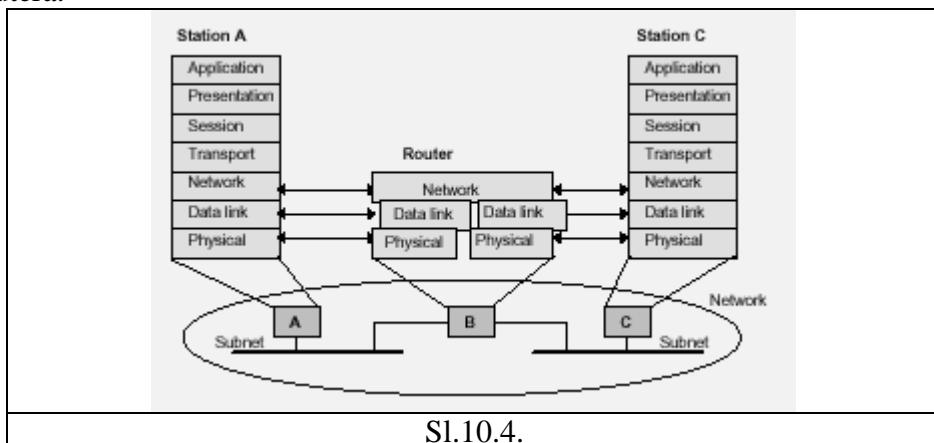
**Repetitor** kopira informacije primljene sa jedne strane kabla na drugu i pojačava oslabljene signale koji se prenose. Repetitor je nevidljiv za sve slojeve *OSI* ref. modela, pa je za njegovo korišćenje neophodno da čak i fizički slojevi mreža budu identični. Repetitor se ne koristi toliko često da poveže dvije mreže istog tipa, već da prošri domet linija u okviru jedne mreže. Ilustracija položaja repetitora u povezivanju je simbolički prikazana na Sl.10.3.



**Most** se koristi da poveže dvije mreže koje koriste isti protokol na drugom *OSI* sloju (*Logical Link Control* - LLC). Medijum za prenos i tehnike pristupa (*Medium Access Control* - MAC) dviju mreža mogu biti različiti, mada je most moguće primjeniti i u situacijama kada se mreže razlikuju samo u korišćenom medijumu za prenos. Mostovi se često koriste za povezivanje lokalnih mreža sa različitim topologijama. Povezivanje dvije jedinice iz dvije mreže ilustrovano je na Sl.10.3.

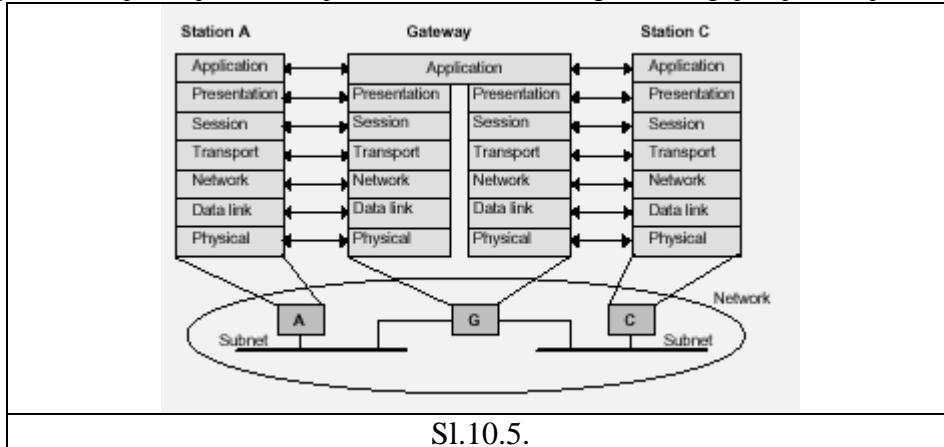


**Ruter** se koristi da poveže mreže koje se razlikuju na prvom i drugom *OSI* sloju. Ruter određuje povoljniju (poželjno optimalnu) komunikacionu putanju za prenos poruke kroz postojeću mrežu (*routing*). Kriterijumi mogu biti najkraće rastojanje ili najkraće vrijeme prenosa. Ruter obavlja ovaj zadatak menjajući polaznu i odredišnu adresu pristiglih paketa u mrežnom sloju, prije nego što ih proslijedi dalje. Ruteri moraju da obavljaju daleko složenije zadatke od mostova, pa zato rade na daleko nižim brzinama. Na Sl.10.4. je ilustrovano povezivanja dvije jedinice pomoću ruta.



**Gejtvej** se koristi za povezivanje mreža različitih arhitektura, odnosno za povezivanje bilo koje dvije mreže. U kontekstu *OSI* referentnog modela zadatku gejtveja je da konvertuje protokole svih slojeva. Gejtvej takođe omogućava da *OSI* mreža bude povezana sa mrežom koja nije usaglašena sa *OSI* specifikacijom. Visoka cijena i male brzine su tipične karakteristike

mrežnih veza ostvarenih putem gejtveja. Na Sl.10.5 je ilustrovano povezivanje dvije mreže (jedinice u mrežama) pomoću gejtvej uređaja.



Sl.10.5.

#### 10.4 Industrijske komunikacione mreže

Programabilni kontrolери doveli su do svojevrsne revolucije u načinu proizvodnje. Oni su omogućili fleksibilnu i profitabilnu automatizaciju proizvodnih procesa. Osim direktnog upravljanja proizvodnjom, programabilni kontrolери i računarom upravljeni uređaji, generišu i mnoštvo podataka. U mnogim slučajevima, podaci mogu biti vrijedni koliko i proizvodi zbog toga što se po pravilu efikasnost svakog proizvodnog procesa može povećati. Prikupljanjem podataka o procesu i njihovom analizom može se učiniti da proces postane efikasniji, da kvalitet proizvoda bude viši, da se skrati vrijeme zastoja. Prvi korak u ovom pravcu jeste prikupljanje i prenos podataka. Za prenos podataka koriste se komunikacione mreže. Postoji velik broj tipova komunikacionih mreža prilagođenih specifičnim zahtjevima industrijskih sistema.

Industrijski sistemi (ili veća proizvodna preduzeća) mogu biti veoma složeni i obično su organizovani na hijerarhijski način. Svakom nivou hijerarhije odgovara nivo komunikacije koji postavlja neke specifične zahteve u pogledu načina komunikacione. Iz tog razloga je potrebno usaglasiti načine razmjene podataka sa specifičnostima svakog hijerarhijskog nivoa u jednoj hijerarhijskoj strukturi industrijskog sistema.

### 10.4.1 Hijerarhijska organizacija industrijskog sistema

Zavisno od veličine i razvijenosti tehnologija na kojoj se zasniva neki industrijski sistem on može integrisati više ili manje hijerarhijskih nivoa. Na Sl. 10.6 prikazan je opšti primjer hijerahije kod većih i naprednijih industrijskih sistema. Najniži nivo je vezan za sam proizvodni proces i obuhvata senzore, aktuatora i mašine. Kako se kreće naviše, uz piramidu, primarni zadatak postaje upravljanje proizvodnjom na višem nivou.



#### Nivo senzora i aktuatora

Nivo senzora i aktuatora predstavlja najniži nivo hijerarhije upravljanja i komunikacije u jednom industrijskom preduzeću. Na ovom nivou nalaze se uređaji kao što su ventili, senzori, starteri motora, regulatori temperature i drugi, najrazličitijih U/I uređaji. Velika većina senzora i aktuatora su jednostavni uređaji, koji osim mogućnosti razmjene *on/off* signala sa PLC kontrolerom ili računarom, ne posjeduju druge načine za komunikaciju.

Сл.10.6

#### Nivo mašina

Pod mašinom se podrazumijeva dio opreme za proizvodnju ili rukovanje proizvodima ili procesima. Primjeri mašina su roboti, pokretne trake, računarski upravljeni alati, tj. CNC mašine, i drugo. Mašine su u direktnom kontaktu sa proizvodom. Neke prenose proizvod, a druge učestvuju u njegovoj izradi. Mašina se sastoji od većeg broja senzora i aktuatora i mehaničkih dijelova. Mašinom upravlja kontroler (regulator) mašine, putem priključenih aktuatora i senzora. Kontroler mašine radi po fiksnom programu smještenom u memoriji kontrolera.

U toku rada, svaki od ovih uređaja takođe generiše i proslijeđuje podatke koji su od značaja za upravljanje proizvodnjom: brojanje proizvoda, vrijeme proizvodnje pojedinačnih proizvoda, vrijeme zastoja i sl.

### Nivo proizvodnih celija

Proizvodna celija predstavlja grupu uređaja i mašina od kojih svaka ima neku specifičnu ulogu u procesu izrade jednog ili više proizvoda. Celije su obično tako koncipirane da se mogu koristiti za izradu različitih tipova proizvoda iz iste familije proizvoda. Svaka mašina, tipično, poseduje programabilnu upravljačku jedinicu, a za komunikaciju sa nadređenim nivoom upravljalama koristi neki specifični komunikacioni protokol. Mašine u okviru proizvodne celije ne komuniciraju između sebe, već postoji kontroler celije koji direktno komunicira sa svakom mašinom. U suštini, kontroler celije integriše mašine u kooperativnu proizvodnu celiju. Osnovni zadaci kontrolera celije su da:

- Puni unapred pripremljene programe u memoriju upravljačkih jedinica mašina i uređaja (*program download*). Izmjenom programa rada pojedinačnih mašina, celija se može konfigurisati za izradu novog tipa proizvoda (imati određenu fleksibilnost).
- Razmjenjuje upravljačke i statusne informacije sa mašinama, podešava parametre rada, prikuplja podatke o tekućem stanju proizvodnog procesa i sl.
- Koordinira rad mašina: startuje/zaustavlja mašine, postavlja mašine u određene režime rada.
- Prati performanse mašina.

U jednom proizvodnom pogonu obično postoji više proizvodnih celija, od kojih svaka ima svoj kontroler. Kontroleri celija se realizuju putem *PLC*-ova ili *PC*-ova.

### PLC realizacija kontrolera celije

S obzirom da su namjenski projektovani za industrijske primjene, *PLC* kontroleri se lako ugrađuju u industrijske sisteme. Rukovanje i programiranje *PLC* kontrolera je jednostavno i ukoliko ne postoje posebni zahtjevi, *PLC* predstavlja prvi izbor za kontroler celije. *PLC* kontroleri su naročito pogodni ako je neophodno obezbijediti jednostavnu komunikaciju. Takođe, ako u celiji postoje i drugi *PLC* kontroleri istog tipa, ili su kontrolери drugih celija realizovani potem *PLC*-a, za komunikaciju između glavnog i podređenih *PLC* kontrolera može se koristiti komunikaciona magistrala namenjen toj konkretnoj *PLC* familiji. Sa druge strane, u odnosu na računar, sa *PLC* kontrolerom je teže realizovati efikasan interfejs prema operateru. Mada, je u novije vreme, sa pojavom namjenskih grafičkih

terminala i displeja i ova funkcija postala dostupna i na nivou *PLC* kontrolera, ona je ipak mnogo pogodnija putem *PC*.

### Računar je kontroler ćelije

Računari se sve češće koriste kao kontroleri proizvodnih ćelija. U poređenju sa *PLC* kontrolerima, računari se odlikuju većom fleksibilnošću i većim mogućnostima u pogledu obrade podataka i realizacije složenih algoritama upravljanja. Takođe računari posjeduju daleko veće mogućnosti za komunikaciju. Po pravilu, gotovo svi industrijski uređaji i mašine posjeduju mogućnost komunikacije sa *PC* računarom, dok su samo pojedini prilagođeni za komunikaciju sa *PLC*-ima. Problem je u tome što na nivou *PLC* kontrolera ne postoji jedinstveni, opšti standard za komunikaciju, već svaki proizvođač *PLC* kontrolera definše svoj komunikacioni protokol koji omogućava laku spregu *PLC* kontrolera i modula tog proizvođača. Sa druge stane svaki *PC* računar posjeduje barem mogućnost *RS -232* i *USB* komunikacije, a ugradnjom specijalizovanih kartica i pratećeg softvera lako se može prilagoditi bilo kom drugom standardnom interfejsu.

Za komunikaciju između računara, kao kontrolera ćelije, i mašina tipično se koristi softver koji se zove SCADA (*supervisory control and data acquisition*). SCADA se izvršava na centralizovanom računaru, kontroleru ćelije, i omogućava komunikaciju sa najrazličitijim tipovima uređaja i mašina. Softver je koncipiran da sa operaterom komunicira putem grafičkog interfejsa u formi blok dijagrama.

Upravljanje se programira korišćenjem menija i ikona (grafičko programiranje), a zatim učitavaju drajveri za uređaje sa kojima aplikacija treba da komunicira. Drajveri su softverski realizovani tako da omogućavaju jednostavnu komunikaciju sa nekim specifičnim tipom uređaja. Komunikacioni drajveri su dostupni za veliki broj uređaja.

### Nivo proizvodnog pogona

Proizvodni pogon je oblast koja obuhvata jednu ili više proizvodnih ćelija. Kontroler proizvodnog pogona je računar koji prima instrukcije od višeg nivoa i raspoređuje zadatke proizvodnim ćelijama. Ovaj računar, takođe, komunicira sa kontrolerima drugih proizvodnih pogona u cilju sinhronizacije proizvodnje. Komunikaciona mreža na ovom nivou se karakteriše velikom brzinom prenosa podataka, i determinističkim kašnjenjem. Najčešće korišćene komunikacione mreže na ovom nivou su:

### Nivo poslovnog upravljanja

Nivo poslovnog upravljanja (ili informacioni nivo) predstavlja najviši nivo u hijerahiji upravljanja i komunikacije u okviru svakog industrijskog sistema. Ovaj nivo je odgovaran za donošenje poslovnih odluka koje čine kompletну podršku upravljanju proizvodnjom. Na ovom nivou se koriste različiti specijalizovani softveri, kao naprimjer: poslovni softver, inženjerski softver, softver za poslovnu komunikaciju i mnogi drugi. Poslovni softver za primenu u industriji se naziva softver za planiranje proizvodnih resursa ili MRP (*Manufacturing Resource Planning*). Ovaj softver se koristi za unos narudžbi, evidenciju sirovina, evidenciju inventara i sl. Na osnovu ovih informacija, softver se koristi za generisanje radnih naloga za proizvodnju, naručivanje sirovina i komponenti, organizovanje proizvodnje i sl. Softveri ovog tipa se sve više koriste i za predviđanje i planiranje proizvodnje.

U novije vreme, nivo poslovnog upravljanja se sve više koristi za optimizovanje rada preduzeća. Podaci se automatski prikupljaju u proizvodnim pogonima, direktno od mašina, senzora i operatorskih terminala i prenose do nivoa poslovnog odlučivanja, gde se obrađuju, analiziraju i koriste za povećanje produktivnosti na nivou cijelog preduzeća. Ključni problem se odnosi na prikupljanje podataka. Kvalitetnije poslovne odluke zahtjevaju ažurne i aktuelne podatke o proizvodnji koji su dostupni u obliku razumljivom ljudima i dostupni automatskom upravljanju na nižim nivoima.

U savremenom dobro organizovanom industrijskom sistemu su jasno razdvojeni hijerarhijski nivoi, gde se na svakom nivou, kao što je prethodno opisano, koristi određeni tip računarske opreme i neki specifični komunikacioni mehanizmi i protokoli.

### 10.4.2 Komunikacioni protokoli u industriji

Za potrebe prenosa podataka u industrijskim uslovima koriste se industrijske komunikacione mreže. Kao i kod ostalih komunikacionih mreža, u cilju povezivanja uređaja različitih proizvođača, poželjno je da svi elementi u mreži moraju imati isti komunikacioni interfejs i koristite iste procedure za razmjenu podataka. Nadalje, u cilju kompatibilnosti komunikacija između

različitim industrijskim sistemima poželjno je da postoji jedinstven standard za industrijske komunikacione mreže.

Još uvjek ne postoji jedinstven međunarodni standard koji bi osigurali potpunu zamjenljivost uređaja različitih proizvođača u bilo koji distribuiran sistem bez potrebe njegove rekonfiguracije. Potrebno je koristiti rješenja koja se mogu prilagoditi različitim komunikacionim standardima.

Obrazloženje za postojanje više standarda za razmjenu podataka u industriji su posljedica kontradiktornih zahtjeva koje oni moraju da zadovolje. Kao i kod svake druge tehnologije, različiti pristupi imaju prednosti i nedostatke. Na prvi pogled čini se da korištenje jednostavne zajeničke magistrale za digitalan prenos podataka predstavlja prednost za sve elemente koji razmjenjuju podatke. Osnovnu poteškoću predstavlja hijerarhijska struktura industrijskih sistema koja podrazumijeva velike razlike u obimu podataka koji se razmjenjuju i potrebnoj brzini ažuriranja.

Veoma jednostavnim binarnim senzorima (svi senzori tipa granične vrijednosti) i aktuatorima dovoljno je samo nekoliko bita digitalne informacije za komunikaciju (0 ili 1). S druge strane ove informacije su po pravilu vezane za dio aplikacije upravljanja u realnom vremenu gdje je potrebno ažurirati informaciju svakih nekoliko milisekundi ili kraće. Elektronski dio ovakvih elemenata može biti jednostavan, kompaktan i jeftin tako da se jednostavno integriše u elemenat i uspješno izvršava komunikaciju.

Potpuno drugačije zahtjeve za komunikaciju imaju različiti regulatori (realizovani pomoću *PLC-a* ili *PC-a*) radne stanice sa interakcijom sa čovjekom i drugi. Po pravilu za njih je pogodno informacije prenositi kao poruke dužine više bajta (nekada preko 200). Za ovakve podatke dovoljno je da se ažuriranje izvršava nakon nekoliko desetaka milisekundi. Elektronika ovakvih senzora/uređaja ne može biti jeftina, niti kompaktna i minijaturna.

Druga specifičnost vezana za razvoj i korištenje industrijskih komunikacionih mreža jeste implementacija u već postojećim industrijskim sistemima. Mnoga industrijska postrojenja imaju raznoliku, dobro razvijenu i veoma skupu infrastrukturu za akviziciju podataka i upravljanje. Mnoge komponente u takvim sistemima ne mogu generisati ili koristiti digitalne podatke. Takođe, ti signali su često različitih nivoa, a zato od specifičnih potreba koriste se naponski ili strujni signali. U ovakvima slučajevima je

neopravdano uvoditi takve mreže zbog čijih bi naprednih rješenja morala biti izbačena iz upotreba vrlo široko korišćena, kvalitetna, i skupocjena oprema. Ovu okolnost treba imati u vidu pri vrednovanju industrijskih mreža.

Rješenje za navedene i druge (često oprečne) zahtjeve još uvijek se u industrijskim digitalnim komunikacionim mrežama postiže prilagođavanjem konkretnoj primjeni. U skladu sa tim je razvijeno više pristupa u kreiranju mreža pri čemu je osnovni kriterij dužina podatka/poruke koja se prenose. U skladu sa tom kategorizacijom se mreže mogu svrstati u tri klase zavisno od toga što je nosilac osnovne informacije: bit, bajt ili poruka.

Prvi pokušaji standardizacije industrijskih komunikacija su bazirani na *Ethernet* standardu. Za *Ethernet* mrežu se takođe vrlo često koristi naziv lokalna mreža (Eng. *Local Area Network-LAN*). Osnovni elementi ove mreže su definisani standardom *IEEE 802.3*. Kasnije je standard dopunjavan i modifikovan ali su ključni elementi ostali nepromjenjeni.

*Ethernet* je razvijena i danas se primarno koristi u kancelarijskim uslovima za povezivanje više računara, kao računarska mreža opšte namjene. Spada u kategoriju mreža kod kojih je osnovni nosilac informacije poruka (paket). Koristi topologiju sa zajedničkom magistralom.

Komponente obećaju pristup mreži korišćenjem metode višestrukog pristupa sa detekcijom nosioca i detekcijom kolizije, poznatom kao *CSMA/CD* (Eng. *Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*). Kao što je već objašnjeno, uređaj koji treba da izvrši predaju podataka prvo provjerava da li je magistrala zauzata. Ako se za prenos koristi Mančester kod lako je utvrditi da je magistrala zauzeta (svaki bit sadrži promjenu nivoa). Ako je magistrala slobodna uređaj šalje podatke. Ako je magistrala zauzeta uređaj ne šalje podatke već nakon nekog slučajno odabranog vremena ponovo provjerava stanje prenosa podataka na magistrali.

Do kolizije na magistrali ipak može doći ako su uređaji na veđim rastojanjima. U tom slučaju je za prenos signala potrebno nekoliko mikrosekundi. Ako dva uređaja skoro istovremeno počnu sa slanjem paketa podataka (nakon što su prethodno utvrdili da je magistrala slobodna) tada će doći do kolizije. Kada uređaji detektuju koliziju prekida se prenos, a nakon slučajno izabranog intervala vremena svaki uređaj ponovo pokušava da prenese podatak.

Osnovni problem u korišćenju *Ethernet*-a za industrijske komunikacije je korišćenje *CSMA/CD* metoda za pristup. Zbog ovakvog načina pristupa elementi gube mnogo vremena za pristup mreži i rješavanje kolizije. Posljedica je da se podaci prenose sa kašnjenjem koje varira veoma mnogo, a u slučajevima velikog opteređenja na mreži neki podaci mogu biti izgubljeni.

Zbog navedenih svojstava *Ethernet* se koristi za povezivanje industrijskih komponenata na najvišem nivou za razmjenu podataka koji su supevizorskog karaktera i velikog obima pa se prenose isključivo digitalno u formi paketa. Za prenošenje podataka kod kojih je prioritet garantovana brzina reakcije na podatke *Ethernet* mreža u osnovi nije zadovoljavajuće rješenje. U tim slučajevima je povoljnije koristiti druge mreže koje su orijentisane industrijskim primjenama.

U skladu sa evropskim standardom za industrijske komunikacione mreže *EN 50170* i njemačkim standardom *DIN 19245* definisana je grupa *PROFIBUS* komunikacionih protokola za industrijske komunikacione mreže. *PROFIBUS* je prilagođen hijerarhijskoj strukturi industrijskih komunikacija. Sa druge strane u cilju sveobuhvatnosti standarda *PROFIBUS* je usklađen sa opštim OSI referentnim modelom. Imajući u vidu već pomenute specifičnosti komunikacija u industriji standardom je definisano da se koriste tri sloja OSI referentna modela:

- (7) sloj aplikacije (Application Layer),
- (2) sloj veze podataka (Data Link Layer),
- (1) fizički sloj (Physical Layer) .

Razvoj *PROFIBUS* familije je počeo 1990 godine definisanjem *PROFIBUS-FMS (Fieldbus Message Specification)* komunikacionog protokola namjenjenog za rješavanje raznovrsnih i kompleksnih komunikacionih funkcija u industriji. Prioritet je bio da omoguđi međusobno povezivanje automatizovanih sistema (obično integrisanih pomoću automatizovanih radnih stanica, programabilnih logičkih kontrolera i sličnih) i njihovo povezivanje sa komponentama poslovnog informacionog sistema, povezivanje sa Intranetom i Internetom. Iz tog razloga njegova primjena je prilagođena razmjeni informacija na najvišem hijerarhijskom nivou, ali sa namjerom da se ona koristi i na nižim nivoima automatskog upravljanja u industriji. Iz tog razloga je standardizovano da se informacije

razmjenjuju u formi velikih paketa podataka tako da se *PROFIBUS-FMS* može koristiti na svim hijerarhijskim nivoima.

Na osnovu prvih realizacija i analiza u industrijskim uslovima proizašlo je ozbiljno ograničenje za primjene na nižim hijerarhijskim nivoima jer se implicitno mora računati da brzina prenosa nije garantovana, sa efektima već obrazloženim za *Ethernet*. Imajući u vidu ovo svojstvo standardizovane *PROFIBUS-FMS* i specifične potrebe decentralizovanih sistema 1992 godine je iniciran razvoj i standardizacija *PROFIBUS-DP* (engl. *Decentralized Peripherals*). Time je napravljeno konceptualno razgraničenje tako da kod *PROFIBUS-FMS* ostane osnovna namjena automatizacija za opšte namjene sa visokom univerzalnošću koja omogućava širok opseg primjena vezanih za visok hijerarhijski nivo odlučivanja i upravljanja. *PROFIBUS-DP* pokriva drugo područje koje se prije svega odnosi na proizvodnu automatizaciju i podrazumijeva veće i garantovane brzine prenosa uz veću ekonomičnost. Namjenjen je za povezivanje industrijskih regulatora različitih procesa na nižim nivoima (realizovanih pomoću *PC* ili *PLC*), koji čine ključne elemente jedinstvenog distribuiranog proizvodnog automatizovanog sistema.

### ***PROFINet* komunikacioni protokol**

Nakon što je napravljeno razgraničenje između *PROFIBUS-FMS* i *PROFIBUS-DP*, čime je *PROFIBUS-FMS* vezan za najviši nivo upravljanja prirodno su slijedile njegove modifikacije. One su prije svega isle u pravcu razmjeni komunikacije putem *TCP/IP* i *IT* standarda tako da je lakše povezivanje na druge računarske mreže (i globalnu računarsku mrežu Internet). Sačuvane su osnovne pogodnosti za rad u realnom vremenu, na način da može podržavati rad *PROFIBUS-DP* koji je primarno standardizovan za rad u realnom vremenu. Navedene modifikacije *PROFIBUS-FMS* su standardizovane u formi poznatoj kao *PROFINet*. Iz navedenih razloga *PROFINet* potiskuje iz upotrebe *PROFIBUS-FMS*, a prije svega zato što *PROFINet* koristi *TCP/IP* i *IT* standarde, pa je u osnovi *Ethernet* koji je potpuno kompatibilan sa *PROFIBUS*-om, ali omogućava i integraciju sa *IT* sistemima.

### ***PROFIBUS-DP* komunikacioni protokol**

*PROFIBUS-DP* komunikacioni protokol je standardizovan 1994. Namjenjen je za komunikaciju sa decentralizovanim komponentama u automatizovanom proizvodnom sistemu. Zbog njegove jednostavnosti i brzine prenosa ovaj protokol je zamjenio *PROFIBUS-FMS* u svim aplikacijama koje se tiču proizvodne automatizacije, odnosno u vremenski kritičnim primjenama.

Usavršavanjem *PROFIBUS-DP* u cilju prilagođavanja naprednijim tehnologijama i specifičnostima raznovrsnih novijih primjena nastale su tri verzije *PROFIBUS-DP*: *DP-V0*, *DP-V1* i *DP-V2*, koje su međusobno kompatibilne.

#### Fizički sloj *PROFIBUS-DP*

Fizički sloj *PROFIBUS-DP* se realizuje preko RS-485 interfejsa. Karakteristike RS-485 su detaljnije date u prethodnom poglavlju, pa ovdje neće biti posebno razmatrane. Osnovna svojstva su da se vrši serijski, poludupleks, asinhron prenos podataka. Po segmentu je moguće povezati maksimalno do 32 uređaja. Postoje dvije realizacije RS-485 na fizičkom nivou.

Osnovna verzija, poznata i kao *PROFIBUS-H2* za prenos koristi upredene i oklopljene bakarne parice. U tom slučaju su brzine prenosa podataka do  $10.6 \text{ kb/s}$ , za maksimalno rastojanje  $1.2 \text{ km}$  i do  $12 \text{ Mb/s}$ , za maksimalno rastojanje  $100 \text{ m}$ .

Za povezivanj na većim rastojanjima *PROFIBUS-DP* standardom je definisano povezivanje putem optičkih veza. Ova varijanta je poznata kao *PROFIBUS-FO*. Plastična ili staklena optička vlakna mogu da se koriste na udaljenostima do 80 m i 15 km, respektivno. Ovaj tip prenosa nije osjetljiv na elektromagnetne smetnje i obezbjeđuje galvansko odvajanje između individualnih stanica na liniji.

#### Sloj veze podataka *PROFIBUS-DP*

Kao što je već pomenuto *PROFIBUS-DP* posjeduje i sloj veze podataka. U ovom sloju su standardizovane osnovne funkcije prema referentnom OSI modelu. U skladu s tim svaka *PROFIBUS* jedinica mora imati jedinstvenu adresu za komunikaciju. Adrese se koduju u jednom bajtu tako da je omogućeno 0 – 127 adresa. Infrastrukturne komponente kao što su repetitori, mostovi/spojnice i konvertori za optičke linije ne trebaju imati vlastite adrese.

Sa stanovišta upravljanja razmjenom podataka na magistrali, sloj veze podataka *PROFIBUS-DP* protokola, zavisno od verzije (*DP-V0*, *DP-VI* i *DP-V2*), omogućava *master-slave* i *master-master* komunikaciju. Zavisno od verzije jedna ili nekoliko komponenata vezanih na magistralu imaju status nadređene (engl. *master*) a ostale komponente su podređene (engl. *slave*). Specifikacija različitih verzija je detaljno data u standardu *IEC 61158*.

Podaci se razmenjuju korišćenjem telegrama (poruka). Osnovni principi upravljanja komunikacijom su sljedeći:

- Aktivni *master* inicira komunikaciju slanjem telegrama odabranoj *slave* jedinici. *Slave* jedinica odgovara na telegram.
- Linija može imati više *master* stanica, koje kontrolišu više svojih *slave* jedinica. *Master* može da koristi liniju samo ako je *token* kod njega.

U toku inicijalizacije magistrale kontroler magistrale dobija informaciju od svih jedinica o njihovim potrebama za komunikaciju.

Prilikom upravljanja komunikacijom verzija *DP-V0* koristi isključivo cikličan protokol. To znači da na osnovu podataka dobijenih u fazi inicijalizacije magistrale kontroler magistrale određuje minimalno vrijeme ciklusa potrebnog za opsluživanje svih *slave* jedinica. Na osnovu toga master, u jednom ciklusu, sukcesivno proziva sve jedinice i sa svakom *slave* jedinicom vrši razmjenu podataka u trajanju koji je ona dobila u fazi inicijalizacije magistrale. Odnosno, kontroler magistrale omogućava podređenim komponentama da šalju ili prihvataju podatke samo u određenim vremenskim intervalima definisanim ciklusima na magistrali. Ovakav način komunikacije nije zadovoljavajdi za mnoge zadatke upravljanja u realnom vremenim, posebno za prenos signala alarma.

Verzija *DP-V1* je unapređenje verzije *DP-V0* na način da omogućava acikličan protokol odnosno da trajanje ciklusa nije strogo fiksiranu nego su dozvoljena prilagođavanja specifičnim potrebama U/I jedinica, tako da je moguće modifikovati trajanje ciklusa u određenom opsegu. Time je omogućeno i direktno uvođenje alarmnih poruke, koje su sa stanocišta brzine odziva poesbno zahtjevne.

Verzija *DP-V2* je nastala unapređenjem verzije *DP-V1*. Verzija *DP-V2* podržava sve karakteristike prethodne verzije, a specifičnost je da omogućava i izohroni prenos i direktnu komunikaciju između dva *slave* elementa.

Kao što je već pomenuto prenos izvornih podataka se vrši tako što se oni pakuju u nizove podataka koji predstavljaju jedan skup podataka koji se naziva telegramom. Telegram se sastoji od više bajtova. Svaki bajt telegrama se prenosi asinhrono sa 11 bitova (osam bitova izvornih podataka, sa start i stop bitom i bitom parnosti)

Telegrami mogu biti različitih dužina, pa je za njihovo razdvajanje potrebno da između dva telegrama linija za prenos bude neaktivna (*bus idle* – logička jedinica) najmanje 33 bita.

Postoji više tipova telegrama koji se međusobno razlikuju prema sadržaju prvog bajta koji se naziva start identifikatorom. Strukture telegrama definisane standardom za sloj veze podataka *PROFIBUS-DP*, ilustrovane su na Sl.10.10.

Telegram bez podataka

<b>SD1</b>	<b>DA</b>	<b>SA</b>	<b>FC</b>	<b>FCS</b>	<b>ED</b>
------------	-----------	-----------	-----------	------------	-----------

Telegram sa promjenljivim brojem podataka

<b>SD2</b>	<b>LE</b>	<b>LER</b>	<b>SD2</b>	<b>DA</b>	<b>SA</b>	<b>FC</b>	<b>PDU</b>	<b>FCS</b>	<b>ED</b>
------------	-----------	------------	------------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	-----------

Telegram sa fiksnim brojem podataka

<b>SD3</b>	<b>DA</b>	<b>SA</b>	<b>FC</b>	<b>PDU</b>	<b>FCS</b>	<b>ED</b>
------------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	-----------

Telegram za prenošenje *token-a*

<b>SD4</b>	<b>DA</b>	<b>SA</b>
------------	-----------	-----------

Telegram za potvrđivanje prijema

<b>SC</b>
-----------

Sl.10.10.

**(1) Telegram bez podataka**

SD1 - start identifikator (ne prenosi podatke).

DA - adresa odredišta poruke

SA - adresa izvora poruke

FC - kod funkcije koju treba izvršiti, da li se traži potvrda prijema, njen prioritet na liniji, ...

FCS - sekvenca sume za provjeru (na osnovu svih bajtova poruke)

ED – kraj telegrama

**(2) Telegram sa fiksnim brojem podataka**

SD3 - start identifikator,

DA - adresa odredišta poruke,

SA - adresa izvora poruke,

FC - kod funkcije koju treba izvršiti i njen prioritet na liniji,

PDU – podaci dužine 8 bajtova

FCS - sekvenca sume za provjeru (na osnovu svih bajtova poruke),

**(3) Telegram sa promjenljivim brojem podataka**

SD2 - start identifikator,

LE – dužina polja podataka,

Ler – ponovljena dužina podataka (sa HD=4),

PDU – podaci dužine do 244 bajta.

**(4) Telegram za prenošenje *token-a***

SD4 - start identifikator, koristi aktivni *master* kada predaje liniju drugom *master* uređaju,

**Telegram za potvrđivanje prijema**

SC – ako *slave* treba nešto da uradi i da ne šalje podatke *master*-u kratko potvrdu da je primio poruku.

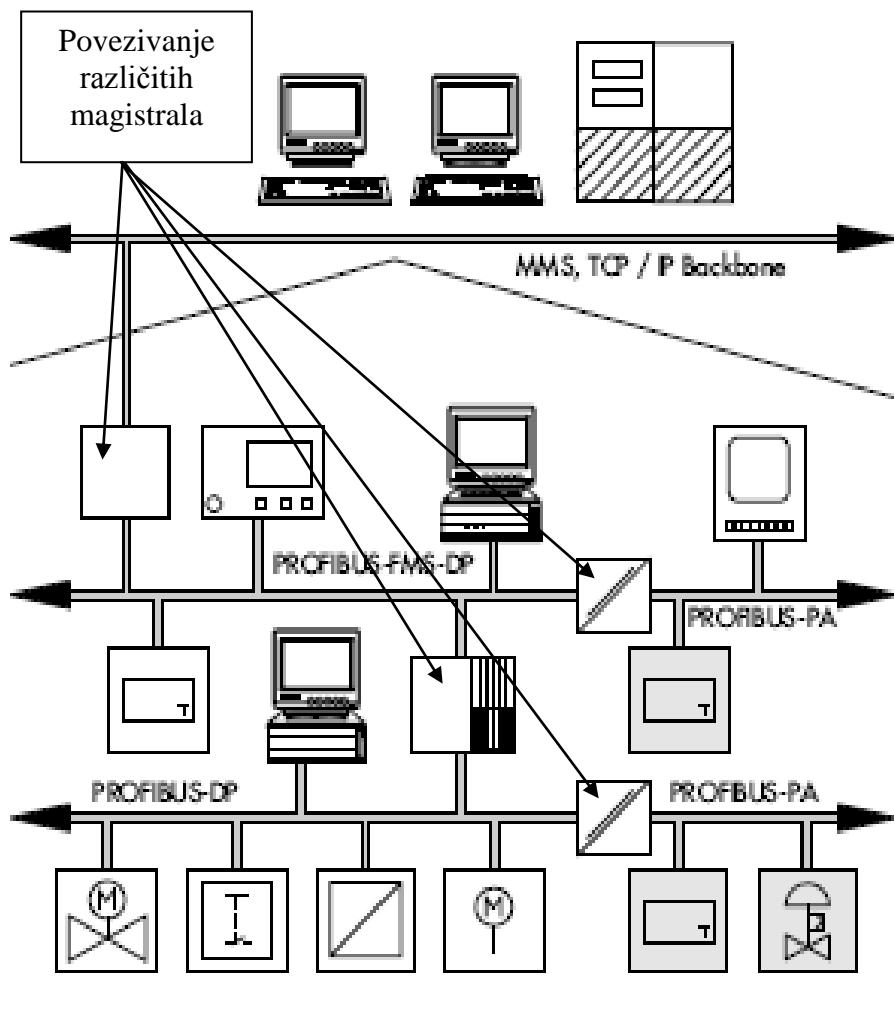
#### Komunikacije preko PROFIBUS-PA

*PROFIBUS-PA*( *Process Automation*) poznat i kao *PROFIBUS-HI* definiše nivo fizičkih veza senzora i aktoatora, u skladu sa međunarodnim standardom *IEC 61158-2*, koji se napajaju preko zajedničke magistrale. To znači da je sloj veze podataka *PROFIBUS-PA* identičan sa slojem veze podataka *PROFIBUS-DP*. *PROFIBUS PA* na fizičkom nivou koristi povezivanje slično *RS 485*, ali sa sljedećim razlikama (tzv. tehnologijom *Manchester Bus Powered- MBP*). Namjenjen je za razmjenu informacija nivoa bita pomoću strujnih signala. Brzina prenosa je relativno malena i iznosi 31.25 kb/s. Maksimalna dužina magistrale je 1900m sa granama prema pojedinačnim elementima mreže maksimalne dužine 60m. Osnovna prednost ovog nivoa je što je nivo napajanja moguće smanjiti pa se sa redukovanim snagom signala može koristiti i u eksplozivnoj sredini (EEx ia/ib IIC).

Uniforman sloj veze podataka omogućava lako povezivanje *DP* i *PA* uređaja u jedan isti *PROFIBUS* sistem, tako da jedan master može u isto vreme i transparentno da komunicira sa slave jedinicama dijelom na *DP* i dijelom na *PA* magistrali. Neophodno je samo koristiti *DP/PA coupler*, koji vrši fizičko prebacivanje bitova informacije sa *DP* na *PA* dio *PROFIBUS* linije, i obrnuto.

Ova tehnologija se često koristi u procesnoj automatici i ubrzano zamjenjuje standardni analogni 4 do 20mA sistem. Mnogi sistemi podržavaju *PROFIBUS PA* kao što su razni mjerači pritiska, temperature, nivoa, protoka i aktuatori kao što su pozicioneri ili ventilii.

Nivo aplikacije se razlikuje i obuhvata različite profile za tipične *DP* i za tipične *PA* uređaje koje master koristi za podešavanje i za komunikaciju sa tim uređajima.



S1.10.8

Postojanje različitih komunikacionih protokola omogućava da se u svakoj konkretnoj primjeni kreiraju topologije industrijskih mreža koje su najbolje prilagođene specifičnim potrebama. To podrazumijeva i racionalno korišćenje već postojećih elemenata. U tom smislu se može kreirati složena struktura kompletne mreže sa topologijom stabla tako što glavne grane stabla čine magistrale u formi: *Ethernet*, *PROFINet*, *PROFIBUS-DP*, *PROFIBUS-PA*. Povezivanje različitih magistrala u jedinstvenu mrežu je

moguće i relativno jednostavno zahvaljuјći precizno definisanim standardima i kolima za njihovo povezivanje. Jedna moguća verzija takve mreže je prikazana na Sl.10.8.

Struktura prikazana na Sl.10.8 predstavlja distribuiran sistem za akviziciju i upravljanje. Svi podaci su potencijalno raspoloživi na svim nivoima hijerarhije. Na nižim nivoima se po pravilu koriste podaci vezani za upravljanje u realnom vremenu. Takvi podaci obično nisu od direktnog značaja za više hijerarhijske nivoje pa se obrađuju lokalno. Kompleksniji podaci ili podaci izvedeni iz osnovnih podataka na nižem nivou, po pravilu se prosljeđuju višim nivoima. Na taj način se dobija distribuiran sistem sa razmjenom i obradom podataka od nivoa elementa (inteligentni senzori, intelligentni aktuatoria,...) pa do nivoa komletnog poslovnog sistema.

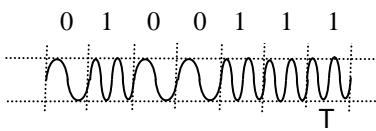
Za ilustarciju je predstavljen *PROFIBUS* protokol jer se u Evropi za računatsko vođenje procesa u industriji najviše koristi. Postoje i drugi protokoli koji rade na vema sličnim principima (*MODBUS*), a preferiraju ih neki proizvođači industrijske opreme. Iz tog razloga treba pri projektovanju ili održavanju industrijskih procea imati u vidu mogućnost povezivanja komponenata od različitih proizvođača. Izložena teorija bi trebala pomoći da se napravi odgovarajući izbor ili eventualna prilagođenje.

Sa ciljem da se uputi i na druge moguće realizacije industrijskih mreža u narednom tekstu su kratko opisane specifičnosti *HART* protokola koji se najviše koristi u Sjedinjenim Američkim Državama.

#### ***HART* (engl. *Highway Addressable Remote Transduce*) komunikacije**

U Sjedinjenim Američkim Državama se u industriji pored *Ethernet* mreža najviše koriste *HART* (engl. *Highway Addressable Remote Transduce*) mreže koje su specijalizovane za industrijsku primjenu. Osnovna specifičnost ovih mreža jeste da se mogu koristiti za analogni ili digitalni prenos. Ovo svojstvo je postignuto zahvaljujući tome što se za generisanje i prenos digitalnih signala koristi takozvano kodovanje sa pomjeranjem frekvencije (engl. *Frequency Shift Keying – FSK*).

*FSK* tehnika kodovanja je ilustrovana na Sl.10.9. Za kodovanje logičke nule i logičke jedinice se koriste dvije različite frekvencije. Ovakvo kodovani podaci su imuni na smetnje pa se sve više koriste u industrijskim primjenama.



Sl.10.9

Nadalje, ako se koriste frekvencije nosedjih učestanosti tako da je trajanje jednog bita cijelobrojni umnožak njihovih perioda (kao što je ilustrovano na Sl.10.9) može se koristiti jednostavniji hardver i resinhronizacija prijemnika.

Zahvaljujući korišćenju *FSK* kodovanja *HART* mreže omogućavaju digitalan i analogan prenos. Digitalni signal se jednostavno superponira stardandnom analognom strujnom signalu bez prave nule ( $4\text{-}20\text{ mA}$ ). Za kodovanje jedinice i nule *HART* mreže koriste signale frekvencija  $1.2\text{ kHz}$  i  $2.4\text{ kHz}$  respektivno. Prenos podataka se vrši na rastojanje do  $3\text{ km}$  (ako je kabal oklopljen i sa upredenom paricom), brzinom  $1.2\text{ kb/s}$ .

Zbog navedenih svojstava svi uređaji koji podržavaju *HART* protokol mogu se koristiti da direktno zamjene klasične analogne elemente sa standardnim strujnim signalom bez prave nule, vezanim u mrežu sa topologijom oblika zvijezde. Pored direktne zamjene takav novi elemenat može da šalje i digitalan *FSK* kodovan signal. Naravno, tamo gdje postoji više uređaja koji podržavaju *HART* protokol oni se povezuju preko zajedničke magistrale.