

# 1. UVOD

## 1.1 RAZVOJ RAČUNALNIH MREŽA

Razvoj računalnih mreža nastavlja se na razvoj javnih telekomunikacijskih mreža, a danas ide usporedo s njim. Razvoj telekomunikacija započinje korištenjem električne energije u prijenosu informacija, pojavom telegrafa i telefona.

Telegraf je izumljen u prvoj polovici 19. stoljeća. Podaci su prenošeni jednožičnim vodovima (zemlja se koristila kao povratni vodič), u obliku dužih i kraćih strujnih impulsa. Od njih su formirani znakovi Morse-ovog koda, koji su bili emitirani ručno. Na prijemnoj strani korišteni su pisači na traku.

Za prijenos govora značajan je izum telefona u drugoj polovici 19. stoljeća. Karakterizira ga pretvorba zvučnog signala u električni (mikrofon) i električnog u zvučni (slušalica). Mreže za prijenos govora su se razvijale mnogo brže od mreža za prijenos podataka. Prve mreže za prijenos govora su podržavale vezu "svatko sa svakim". Takva struktura je vrlo brzo napuštena, jer je ekonomski neopravdana. Danas se telefonske mreže realiziraju prospajanjem kanala. Svaki učesnik je vezan na komutacijsko čvorište (telefonsku centralu), a veza do drugog korisnika se uspostavlja na njegov zahtjev. U samom početku prospajanje se obavljalo ručno, a s vremenom su se razvijale automatske telefonske centrale.

Početak 20. stoljeća napravljena je prva mreža za prijenos podataka, telegrafska mreža, za što je značajnu ulogu imao izum električnog pisačkog stroja. Ideja je bila povezati dva električna pisača stroja, tako da se tipka na jednom, a tekst ispisuje na drugom stroju. Da bi se minimizirali troškovi, znakovi abecede su kodirani 5-bitnim kodnim riječima, a ove su prenošene serijski, bit po bit. Time je ostvaren prijenos jednožičnim vodom. Sinkronizacija rada prijemnog i predajnog uređaja riješena je uvođenjem pokretačko - zaustavnih (start - stop) bitova. Komunicirajući električni pisači stroj naziva se teleprinter (američki teletype), a javna telegrafska mreža naziva se teleks mreža. Prospajanje kanala obavlja se posredstvom telegrafskih centrala. Razlikujemo europski i američki standard za teleks mreže. Kod europskog brzina prijenosa je 50 b/s i koristi se 5-bitni kod CCITT No2, dok je kod američkog brzina prijenosa je 110 b/s i koristi se 7-bitni kod CCITT No5 (ASCII), koji je i danas masovno u uporabi na osobnim računalima. Krajem 20. stoljeća teleks mreže gube na važnosti i polako izumiru jer ih je istisnuo daleko fleksibilniji sustav telefaks poruka.

Prva digitalna računala komunicirala su s operaterom posredstvom konzole s žaruljicama i prekidačima, a nešto kasnije računalima je upravljano konzolnim teleprinterom. Osim konzole, ta su računala imala čitač bušenih kartica kao ulaz za programe i podatke, te linijski pisač za ispis rezultata. Čitač i pisač formiraju terminal za unos zadaća (JE, Job Entry terminal). Prva računala spremala su programe i podatke korisnika na disk, gdje su oni čekali na obradu i ispis. Takav rad ne dozvoljava komunikaciju s programom za vrijeme izvođenja i naziva se grupna obrada (engl. batch processing). Udaljavanjem ulazno-izlaznih jedinica ostvarena je daljinska grupna obrada (engl. remote batch processing). Na računalo se priključuje više terminala za daljinski unos zadaća (RJE Remote Job Entry terminal) preko telefonskih kanala uz uporabu modema. Već u ovoj ranoj fazi pokazalo se je da telegrafski kanali nisu dostatne brzine za potrebe prijenosa podataka u računalnim mrežama.

Uskoro se pojavila potreba za interaktivnim načinom rada. Računalo u podjeli vremena obavlja prividno istovremeno više zadaća, tako da svaki korisnik ima dojam kako računalo služi samo njemu. Korisnici komuniciraju s računalom posredstvom interaktivnih ekranskih terminala (CRT, Cathode Ray Tube), povezanih u tzv. terminalske mreže. I ovdje su za prijenos podataka bili prikladniji telefonski kanali. Jednospojno ili višespojno povezivanje korišteno je za priključak više terminala na isti telefonski kanal, čiji kapacitet dijele po principu statističkog multipleksiranja. Terminali za jednospojno povezivanje šalju podatke znak po znak (character oriented). Terminali za višespojno povezivanje formiraju poruke operatera lokalno, a računalu ih šalju kao cjelinu u obliku bloka (block oriented).

Kod korištenja telefonskih kanala za prijenos podataka, digitalni signal treba prevesti u analogni, spektra sukladnog propusnom opsegu telefonskog kanala. Takve uređaje nazivamo modemima.

Slijedeći korak u razvoju umrežavanja računala ostvaren je povezivanjem više računala. Povećanje kapaciteta centralnog računala je postalo ekonomski neisplativo. Distribuiranom obradom potrebni

kapacitet obrade postiže se umrežavanjem manjih računala. Sedamdesetih godina 20. stoljeća pojedini proizvođači računala i vladine organizacije razvijaju vlastite arhitekture računalnih mreža, kao što su IBM - SNA, DEC - DECNET (DNA) i DARPA - ARPANET, preteča Interneta

Pojava računalnih mreža prisilila je telekomunikacijske kompanije da ponude rješenja koja će zadovoljiti korisnike računala bolje nego teleks i telefonska mreža. Nakon bezuspješnih pokušaja s digitalnim mrežama na bazi komutacije kanala (X.20 i X.21), specificirana je mreža s komutacijom paketa (X.25), ali s nedostatkom korisničkih usluga. Slijedi razvoj digitalnih integriranih sustava, od IDN (Integrated Digital Network), preko uskopojasne ISDN (Integrated Services Digital Network) do neuspješne širokopojasne B-ISDN (Broadband ISDN) na bazi komutacije kanala. Tek uvođenjem asinkronog načina prijenosa (ATM, Asynchronous Transfer Mode) koji koristi prospajanje paketa stvorena je prihvatljiva tehnološka osnovica za integraciju svih vrsta prometa.

Razvoj javnih mreža kretao se je u korist Interneta, tako da je danas Internet dominantna mrežna arhitektura. ATM tehnologija je perspektivna jer efikasno objedinjuje različite vrste prometa, ali će još dugo vremena proći dok se ne izgradi globalna ATM mreža.

## 1.2 OPĆA SVOJSTVA RAČUNALNIH MREŽA

Mreže možemo podijeliti prema elementima, topologiji, načinu korištenja usluge, vlasništvu, i obuhvatu područja.

Prema **elementima**, razlikujemo mreže terminala i mreže računala. Kako se danas osobna računala često koriste kao terminali, razlike među ovim mrežama se polako gube.

Prema **topologiji**, mreže mogu biti zvjezdaste, stablaste, prstenaste, sabirničke i isprepletene.

Prema **načinu korištenja usluge**, razlikujemo mreže s korisničko-poslužničkim (client-server) odnosom, te mreže ravnopravnih učesnika (peer-to-peer).

Prema **obuhvatu područja**, mreže mogu biti lokalne (LAN, Local Area Network), gradske (MAN, Metropolitan Area Network), te globalne ili širokog dosega (WAN, Wide Area Network).

Javne i veliki dio privatnih mreža trebale bi imati svojstva otvorenosti, generalnosti, ekonomičnosti, modularnosti, fleksibilnosti, elastičnosti, adaptivnosti, transparentnosti i integralnosti. Od svih mreža danas, ove zahtjeve zadovoljava samo Internet.

Prema **načinu prospajanja**, mreže mogu biti s prospajanjem kanala, poruka i paketa. Kao posebnu kategoriju možemo spomenuti ATM mreže, gdje imamo prospajanje malih paketa fiksne duljine (ćelija). Današnje računalne mreže koriste prospajanje paketa.

## 1.3 ELEMENTI MREŽA

Računalne mreže gradimo od kanala, čvorišta i terminala. U samoj mreži imamo čvorišta, posebna računala koja preusmjeravaju podatke do odredišta, te kanale koji povezuju čvorišta. Terminali su uređaji povezani na mrežu. Oni mogu biti računala ili terminali u užem smislu.

### 1.3.1 Kanali

Kanale gradimo od prijenosnih medija, a to mogu biti vodovi (telefonska ili računalna parica, koaksijalni kabel, oklopljena parica), optički vodovi (jednomodna i višemodna svjetlosna vlakna) i elektromagnetska zračenja (infracrvena, radio kanali, mikrovalna kod satelitskih veza).

Kanali mogu biti **osnovni i izvedeni**. Osnovni kanal nastaje potpunim korištenjem fizičkog voda, najčešće se koristi u osnovnom frekvencijskom području (baseband). Izvedeni kanali nastaju podjelom informacijskog volumena osnovnih kanala po vremenu (TDM, Time Division Multiplexing) ili frekvenciji (FDM, Frequency Division Multiplexing). U oba slučaja, ukupni informacijski kapacitet izvorišta mora biti manji od prijenosnog kapaciteta, inače nastupa zagušenje.

Po **načinu sinkronizacije**, kanali mogu biti sinkroni i asinkroni. Sinkronizacija se odnosi na prepoznavanje početka i kraja prijenosa informacije. Kod asinkronog prijenosa, podatak (znak) je uokviren sa pokretačkim (start) i zaustavnim (stop) bitom. Stanice koje žele komunicirati moraju

unaprijed dogovoriti brzinu prijenosa, a zbog kratkoće poruke dozvoljeno je nekoliko postotaka odstupanja brzine. Ovakav način prijenosa istovremeno osigurava sinkronizaciju i po bitu i po oktetu. Kod sinkronog prijenosa osim samih podataka prenosi se i podatak o taktu signala, čime je definiran trenutak uzorkovanja. Sinkroni način prijenosa osigurava sinkronizaciju po bitu.

**Kapacitet kanala** se najčešće izražava u b/s (bita u sekundi), a za brzinu signalizacije jedinica je baud, (simbola u sekundi). Ako se signalnim elementom prenosi 1 bit, numerička vrijednost b/s i bauda je ista.

Po **načinu prijenosa** imamo dvosmjerni prijenos (duplex), koji omogućava istovremeni prijenos podataka po istom kanalu u oba smjera, obosmjerni prijenos (half duplex), koji omogućava neistovremeni prijenos podataka po istom kanalu u oba smjera, te jednosmjerni prijenos (simplex), koji omogućava prijenos podataka jednim kanalom u samo jednom smjeru.

### 1.3.2 Čvorišta u mreži

Čvorišta dijelimo prema razini hijerarhijske strukture na kojoj rade, te prema broju priključaka (2 ili više). Imamo tako obnavljače i zvijezdišta, premosnike i prospojnike, usmjernike i poveznike.

**Obnavljač** (repeater) je uređaj s dva, a **zvijezdište** (hub) s više priključnica, koji samo pojačava signal i obavlja prilagodbu impedancije. Koriste se na fizičkoj razini za proširenje doseg mreže (obnavljač) ili za povezivanje više kabelskih segmenata u jednu višespojnu (sabirničku) strukturu.

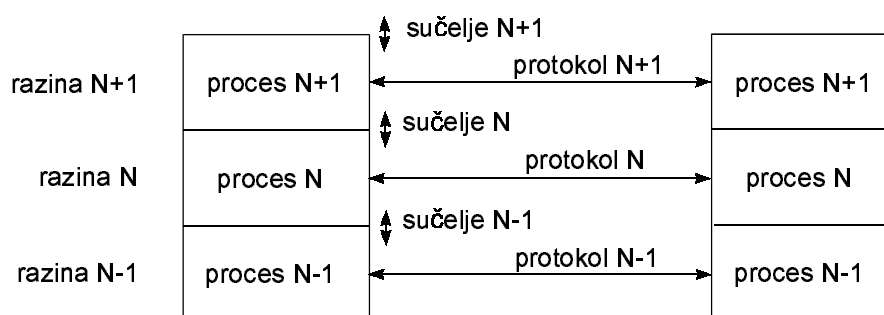
**Premosnik** (bridge) je uređaj s dva, a **prospojnik** (switch) s više priključnica, koji prima okvir protokola podatkovne razine i prosljeđuje ga prema odredištu. Funkcija filtriranja sa samoučenjem efikasno dijeli promet na segmente i time omogućava povećanje propusnosti mreže.

**Usmjernik** (router) je uređaj koji prima pakete mrežne razine i nekim ih od algoritama prosljeđivanja i usmjeravanja šalje prema odredištu. Raspolaze znanjem o dostupnosti svih dijelova mreže.

**Poveznik** (gateway) je uređaj koji povezuje dvije raznorodne mreže, te pri tome obavlja prevođenje protokola mrežne i prijenosne razine.

## 1.4 HIJERARHIJSKI SUSTAVI

Današnje mreže imaju slojevitą hijerarhijsku arhitekturu, slika 1.1

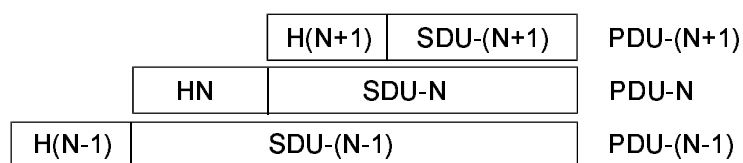


*Slika 1.1. - Slojevita hijerarhijska struktura*

Na jednom uređaju mreže, čvorištu ili računalu, obavljaju se funkcije više razina. Za svaku razinu pokreće se proces koji komunicira sa susjednima (nadređenim i podređenim) preko sučelja (engl. interface). Proces razine N+1 traži uslugu prijenosa podataka od razine N, koja komunicira s korespondentnim procesom druge stanice prema pravilima protokola N. Pri tom razina N koristi usluge razine N-1. Stvarni tok podataka odvija se putem sučelja među susjednim razinama na istom računalu, te komunikacijskim medijem prema udaljenom računalu.

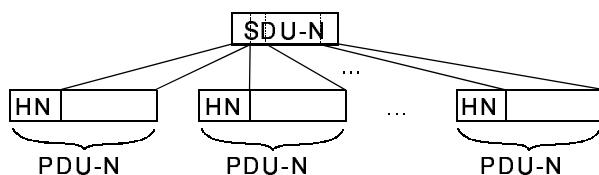
Proces N generira jedinicu informacije PDU (Protocol Data Unit) dodavanjem zaglavlja N korisnikovoj informaciji SDU (Service Data Unit). PDU(N) šalje se preko sučelja N-1 podređenoj razini

kao SDU(N-1). Proces N formira SDU(N) odvajanjem zaglavlja sa primljenih PDU, te ga prosljeđuje nadređenoj razini preko sučelja N. Za proces N+1, SDU(N) ima značenje PDU(N+1), slika 1.2:



*Slika 1.2. - Jedinice informacije i dodavanje zaglavlja*

Tijekom pripreme poruke za prijenos na odredište, može se obaviti i dijeljenje (fragmentacija) poruke prema pravilima upotrijebljenog protokola, slika 1.3:

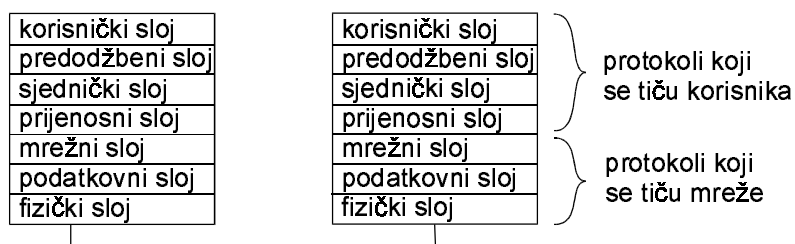


*Slika 1.3. - Fragmentacija poruke*

Koncepti na kojima se zasnivaju hijerarhijski sustavi su koncept razine, koncept sučelja, koncept protokola, koncept zaglavlja, koncept fragmentacije.

Jedinice informacije mogu biti pojedini bitovi, okteti (znakovi), okviri (ili blokovi, blok se sastoji od više okteta), paketi, segmenti, datagrami i poruke.

Kao referentna mrežna arhitektura koristi se ISO/OSI model od 7 razina slika 1.4:



*Slika 1.4. - Razine ISO/OSI modela*

- 1) **Fizička razina** definira sučelje između računala i medija kojeg koristimo za prijenos. Specificiraju se električne, funkcionalne i mehaničke karakteristike kabela, konektora i ostaloga, kako bismo uređaj standardno mogli priključiti na kanal. Ostvaruje se sinkronizacija po bitu.
- 2) **Podatkovna razina** neposredno nadzire fizičku razinu tako da upravlja vezom ostvarenom na jednospojnom ili višespojnom mediju. Ostvaruje se sinkronizacija po oktetu i okviru.
- 3) **Mrežni sloj** osigurava prijenos poruke sa kraja na kraj mreže. Paketi se usmjeravaju kroz mrežu.
- 4) **Prijenosni sloj** osigurava vezu od korisnika do korisnika. Obavlja se kontrola toka.
- 5) **Sjednički sloj** provjerava da li je poruka stigla onakva kakva je poslana. Isporučuje poruku na pravo odredište unutar računala.
- 6) **Predodžbeni sloj** obavlja prevođenje informacija sa formata, koji su standardni na mreži, na format standardan na terminalu.
- 7) **Korisnički sloj** posluhuje korisničke procese i mrežne usluge.

Četiri su osnovna mehanizma protokola: adresiranje, sinkronizacija, kontrola pogrješki i kontrola toka.

#### 1.4.1.1 Adresiranje

Mehanizam adresiranja jednoznačno identificira korisnika. Ukupna adresa sastoji se od dijelova, koji se koriste po razinama hijerarhijske strukture. Adresiranje je moguće organizirati striktno, kada adresa nadređene razine implicira stvarne adrese svih podređenih razina. Adresiranje se može koristiti i distribuirano, kada ukupnu adresu čine adrese svih razina.

Na **fizičkoj razini** ponekad koristimo pozivni broj komutiranog kanala npr. javne telefonske mreže.

Na **podatkovnoj razini** adresiranje koristimo ovisno o načinu povezivanja. Kod jednospojnog povezivanja adresiranje se koristi za ostvarivanje više logičkih kanala, od kojih će jedni biti na raspolaganju korisniku, a drugi će služiti za upravljanje mrežom. Kod višespojnog povezivanja imamo pravi proces adresiranja, gdje identificiramo fizički uređaj kao odredište i izvorište okvira. Samo adresiranje može biti pojedinačno (unicast), grupno (multicast) ili univerzalno (broadcast).

Na **mrežnoj razini** mora postojati jedinstvena globalna adresa korisnika, koja omogućuje usmjeravanje paketa ka odredištu. Pakete u mrežama s prospajanjem paketa prosljeđujemo pojedinačno ili po virtualnom kanalu. U slučaju pojedinačnog prosljeđivanja, svaki paket mora nositi globalnu adresu odredišta. U slučaju prosljeđivanja po virtualnom kanalu, samo prvi paket nosi globalnu adresu. Nakon prolaska kroz mrežu uspostavlja se virtualni kanal kao put po kojem prolaze svi paketi veze. ostali paketi moraju nositi samo kratki identifikator virtualnog kanala.

Na **prijenosnoj razini** obavlja se identifikacija prijenosnog protokola.

Na **sjedničkoj razini** obavlja se identifikacija procesa korisnika unutar računala, najčešće konceptom priključnih točaka (SAP, service access point).

Adresiranje na višim razinama nije potrebno.

#### 1.4.1.2 Sinkronizacija

Mehanizam sinkronizacije odnosi se na izdvajanje cjelovitih PDU iz beskonačnog niza bita, kao i na usklađeni rad procesa iste razine.

Na **fizičkoj razini** imamo sinkronizaciju po bitu (sinkroni prijenos) ili po bitu i oktetu (asinkroni prijenos).

Na **podatkovnoj razini** imamo sinkronizaciju po oktetu i okviru (sinkroni prijenos) ili po okviru (asinkroni prijenos).

Na **mrežnoj razini** imamo sinkronizaciju po paketu, samo kad je paket podijeljen na više okvira podatkovne razine.

Na **prijenosnoj razini** sinkronizacija po segmentu ili datagramu je rijetka, jer se najčešće cjeloviti PDU prenose jednm paketom mrežne razine.

Na **sjedničkoj razini** obavlja se sinkronizacija po poruci, tj. poruka se sastavlja od primljenih segmenata ili datagrama.

Sinkronizacija na višim razinama nije potrebna.

#### 1.4.1.3 Kontrola pogrješki

Kontrolom pogrješki osiguravamo da podaci u neizmijenjenom obliku stignu na odredište bez obzira na zagušenja u mreži i smetnje (slučajne ili namjerne). Kontrola pogrješki se obavlja u koracima detekcije pogrješke (zaštitno kodiranje) i oporavka od gubitka PDU (ponovno slanje, retransmisija). Da bi retransmisija bila moguća, potrebno je numerirati PDU, te sinkronizirati rad prijemnika i predajnika. To se zove uspostava logičkog kanala, a protokoli su spojevni (connection oriented). Nasuprot tome,

protokoli koji ne raspolažu kontrolom pogreški ne uspostavljaju logički kanal i nazivamo ih bespojnima (connectionless).

Na **fizičkoj razini** kontrola pogreški na razini bita nije isplativa, osim ako linijski kod ne omogućava automatsku detekciju pogreške.

Na **podatkovnoj razini** kontrola pogreški je jedna od osnovnih funkcija. Okvir se štiti kodom za otkrivanje pogreški. Oštećeni okviri se odbacuju. Izostanak okvira, detektiran na osnovu numeracije, retransmitira se na osnovu zahtjeva prijemnika ili izostankom potvrde.

Na **mrežnoj razini** često dolazi do gubitaka zbog zagušenja. Protokoli su često bespojni jer je kontrolu pogreški optimalno obaviti na prijenosnoj razini.

Na **prijenosnoj razini** optimalno je obaviti kontrolu pogreški. Kopije PDU za retransmisiju nalaze se kod predajnika, pa ne opterećuju mrežu, a prijemnik i tako mora kontrolirati konzistentnost primljenih podataka. Optimalno je detekciju pogreški obaviti na podatkovnoj i mrežnoj razini, a detekciju izostanka PDU i retransmisiju na prijenosnoj razini, npr. kao kod Interneta.

#### 1.4.1.4 Kontrola toka

Kontrola toka nam služi za usklađivanje brzine prijenosa podataka među učesnicima i u odnosu na prijenosni kapacitet i opterećenje mreže.

Na **fizičkoj razini** kontrola toka ostvaruje se na sučelju DTE-DCE. Konkretno, inteligentni modemi raspolažu s funkcijama sažimanja podataka, kontrole pogreški i izbora optimalne brzine prijenosa. Vežu terminal-modem ostvarimo maksimalnom brzinom, a eventualne zastoje razriješimo kontrolom toka.

Na **podatkovnoj razini** imamo neposrednu vezu dvaju uređaja, pa je moguća neposredna kontrola toka (naredbama stani i nastavi). Na vezama s velikim kašnjenjem (satelitske veze) moguća je i prozorska kontrola toka. Ako su okviri numerirani, a numeracija je jedino moguća po modulu, predajnik smije poslati samo onoliko okvira koliko ima slobodnih brojeva. Modul numeracije je implicitno i maksimalni prozor. Potvrdom prijemnika oslobađaju se brojevi za slanje slijedećih okvira.

Na **mrežnoj razini** pojavljuju se kašnjenja zbog velikog broja čvorova kojima paket prolazi do odredišta, a potvrda natrag do izvorišta (vrijeme obilaska). Neposredna kontrola toka je neefikasna. Moguća je prozorska ili kontrola brzine predaje. Pri tome se brzina usklađuje s propusnim kapacitetom mreže. Mreža najčešće može u slučaju zagušenja samo odbaciti prekobrojne pakete.

Na **prijenosnoj razini** je optimalno organizirati kontrolu toka, jer neposlani paketi ne opterećuju zagušenu mrežu. Sve što vrijedi za mrežnu razinu, vrijedi i za prijenosnu. Predajnik određuje optimalnu brzinu slanja ili optimalni prozor na osnovu mjerenja vremena obilaska (RTT, Round Trip Time) ili intenziteta gubitaka paketa.

Na višim razinama klasične kontrole toka, u smislu sposobnosti računala da obradi podatke, nema.