

Sve izmjene e biti pisane ovim fontom i bojom (oldgateLANEoutline ili sl.), neki dio teksta e biti highlightan(žuto), strelice, pokušaj slika itd. :) ali nijedan originalan dio ne e biti brisan! (samo strelice i sl. ne e biti zelene nego crvene)

Javna komutirana telefonska mreža

Sve primjedbe, greške, možda dodatne komentare koje imate vi u bilj. pa da ih dodam i sve što može pomoći i poboljšanju ovoga javite na PM!

By:egislav

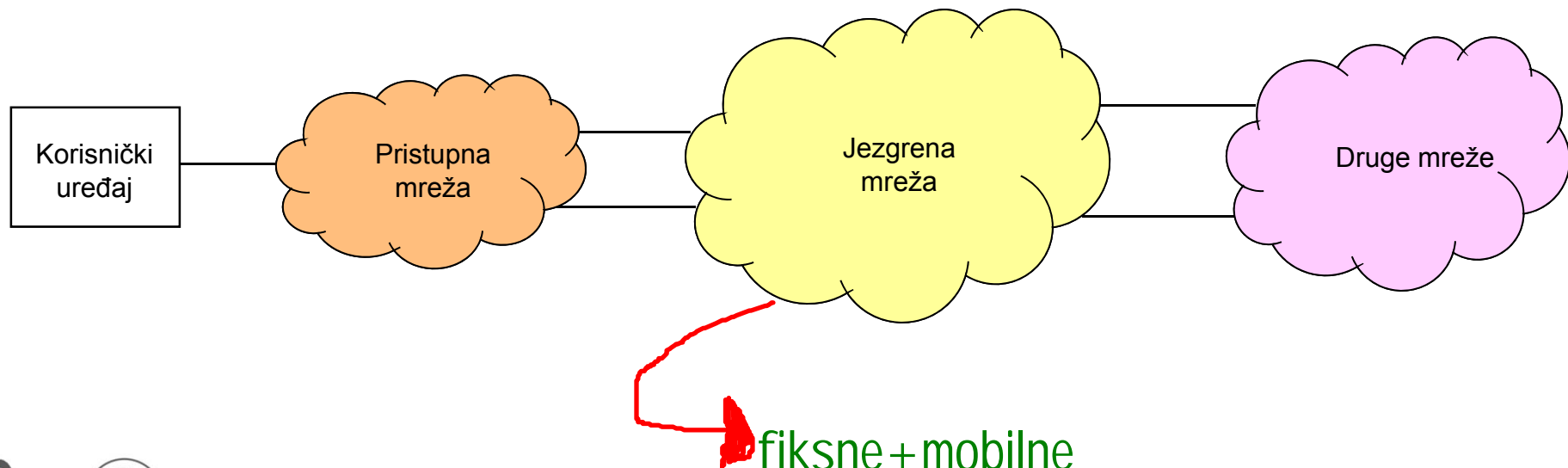


Telefonska mreža

- javna komutirana telefonska mreža (PSTN)
 - omogućava prijenos govora i podataka
 - uspostavljanje poziva i usmjeravanje poziva kroz mrežu su izvedeni korištenjem standardiziranog brojevnog plana
 - za vrijeme trajanja poziva uspostavlja se veza između dva kompatibilna korisnička uređaja (telefona, modema ili telefaksa) preko komutacijskih čvorova, tj. telefonskih centrala (CO, *Central Office*)
 - rabi komutaciju kanala
 - u svakom komutacijskom čvoru dolazni govorni kanali se komutiraju u odlazne govorne kanale (privremene veze)
 - za vrijeme trajanja poziva mrežni resursi koji se rabe za taj poziv ne mogu se rabiti u druge svrhe
 - rabi FDM i TDM
 - FDM se rabi u prijenosu analognog govornog signala
 - TDM se rabi u prijenosu digitalnog govornog signala

Telefonska mreža

- dijelovi telekomunikacijske mreže
 - korisnički uređaj(i)
 - pristupna mreža (*access network*) (najslabiji dio mreže)
 - infrastruktura preko koje se korisnici priključuju na mrežu
 - jezgrena mreža (*core network*)
 - povezuje sustave u pristupnoj mreži i omogućava komunikaciju s drugim mrežama (digitalizirana)

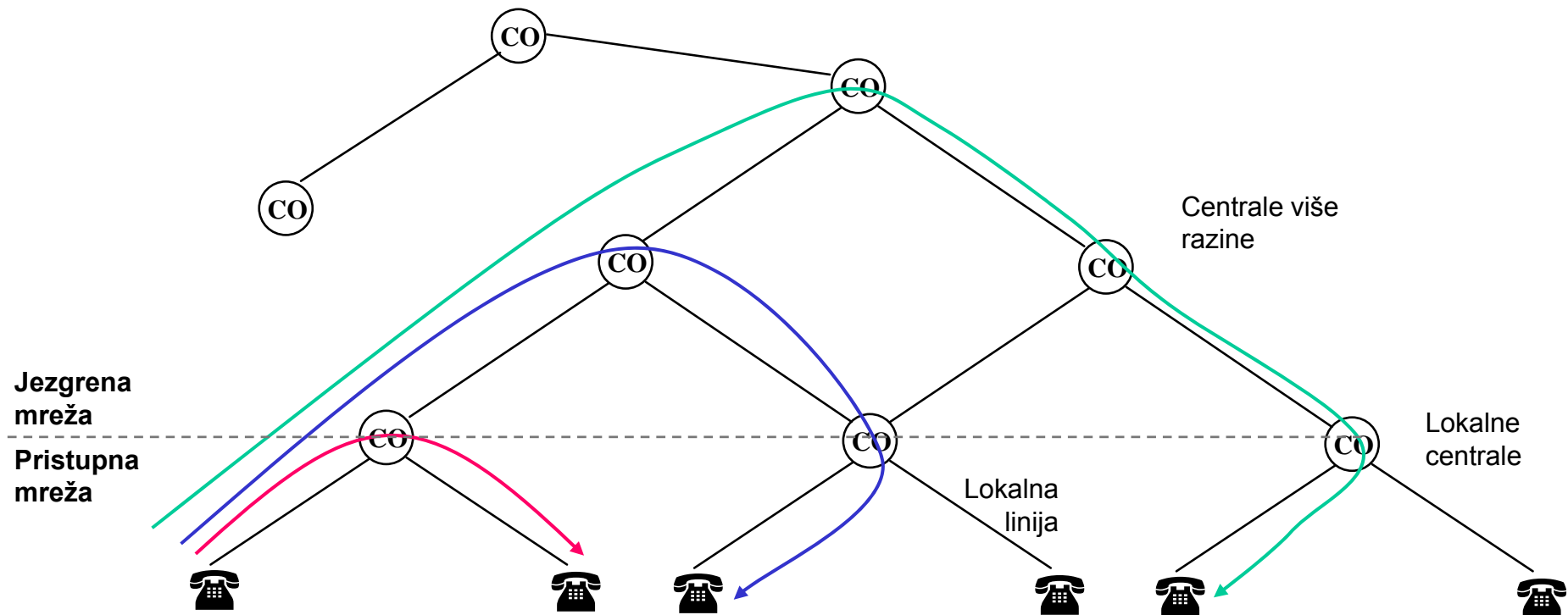


Telefonska mreža

- telefonska mreža je hijerarhijska mreža
 - korisnički uređaj povezuje se s lokalnom telefonskom centralom (*local central office*), a lokalne centrale vežu se na čvorove više razine
 - veza između telefona i centrale naziva se lokalna linija ili lokalna petlja (*local loop*)
 - prijenosni medij: upletena parica (najčešće kategorije 3) (zastarjelo, previše guši)
 - kada pretplatnik povezan na određenu lokalnu centralu poziva drugog pretplatnika povezanog na istu centralu, u centrali se uspostavlja izravna električna veza između dvije lokalne linije
 - između lokalnih centrala i čvorova više razine rabi se jedna ili više razina centrala više razine
 - kada pretplatnik povezan na određenu lokalnu centralu poziva pretplatnika povezanog na drugu lokalnu centralu, veza između dvije lokalne linije uspostavlja se preko centrale više razine

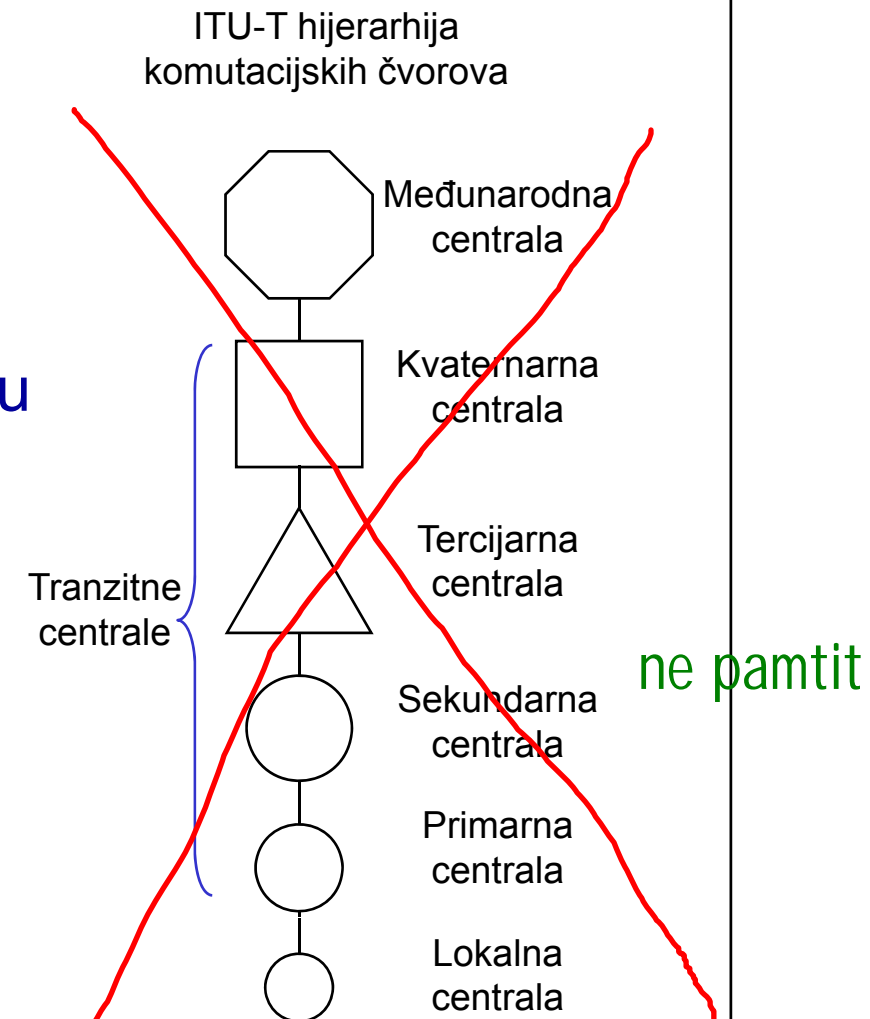
Telefonska mreža

- uspostavljanje veze između dvije lokalne linije



Telefonska mreža

- broj hijerarhijskih razina i topologija mreže varira od države do države
 - ovisi o veličini države i gustoći naseljenosti stanovništva
 - terminologija vezana uz hijerarhiju mreže također se razlikuje
- ITU-T je definirao 6-razinsku hijerarhiju komutacijskih čvorova (centrala)
 - ovakva se hijerarhija uglavnom koristi u velikim zemljama
 - nekoliko razina tranzitnih čvorova između lokalne razine i međunarodne razine ima zadatak posredovanja između razina



Telefonska mreža

- tranzitna centrala je centrala s kojom se povezuju
 - lokalne centrale određenog tranzitnog područja
 - druge tranzitne centrale
 - međunarodne centrale
- na tranzitne centrale se u pravilu ne priključuju pretplatnici
- tek na razini tranzitnih centrala previđeno je međusobno povezivanje centrala iste razine
- izgradnjom mreža s manje hijerarhijskih razina, operatori nastoje održati svoje mreže jednostavnim i lako upravljivim
 - primjenom optičke tehnologije veća količina informacija se može prenijeti mrežom te se smanjila se potreba za puno različitih usmjeravanja koja su u dotadašnjim mrežama bila moguća samo uporabom većeg broja komutacijskih čvorova različitih razina

Telefonska mreža

- danas su uobičajene mreže s četiri ili tri razine
- razine u mreži s četiri razine
 - lokalne centrale
 - regionalne tranzitne centrale
 - nacionalne tranzitne centrale
 - međunarodne centrale
- razine u mreži s tri razine
 - lokalne centrale
 - tranzitne centrale
 - međunarodne centrale

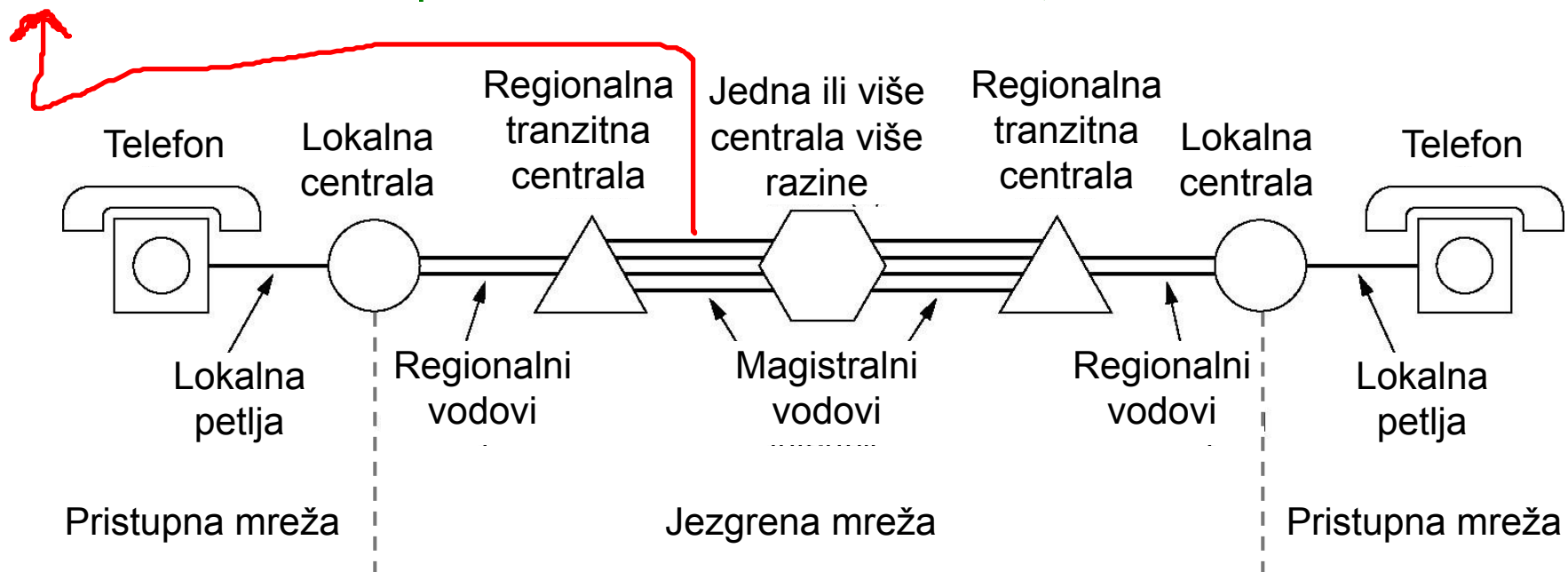
Telefonska mreža

nisu važni ovi nazivi

- u mreži s četiri razine od svake lokalne centrale vodi više linija do centrala više razine - regionalnih tranzitnih centrala (*toll office*)
 - prijenosni medij: koaksijalni kabel, radijski prijenos u mikrovalnom frekvencijskom području, optički kabel
- veze između lokalne i regionalne tranzitne centrale nazivaju se regionalni vodovi (*toll connecting trunks*)
- regionalne tranzitne centrale su međusobno povezane međuregionalnim ili magistralnim vodovima (*intertoll trunks, interoffice trunks*)
- regionalne tranzitne centrale su povezane s nacionalnom tranzitnom/međunarodnom centralom magistralnim vodovima
- od međunarodnih centrala vode međunarodni vodovi

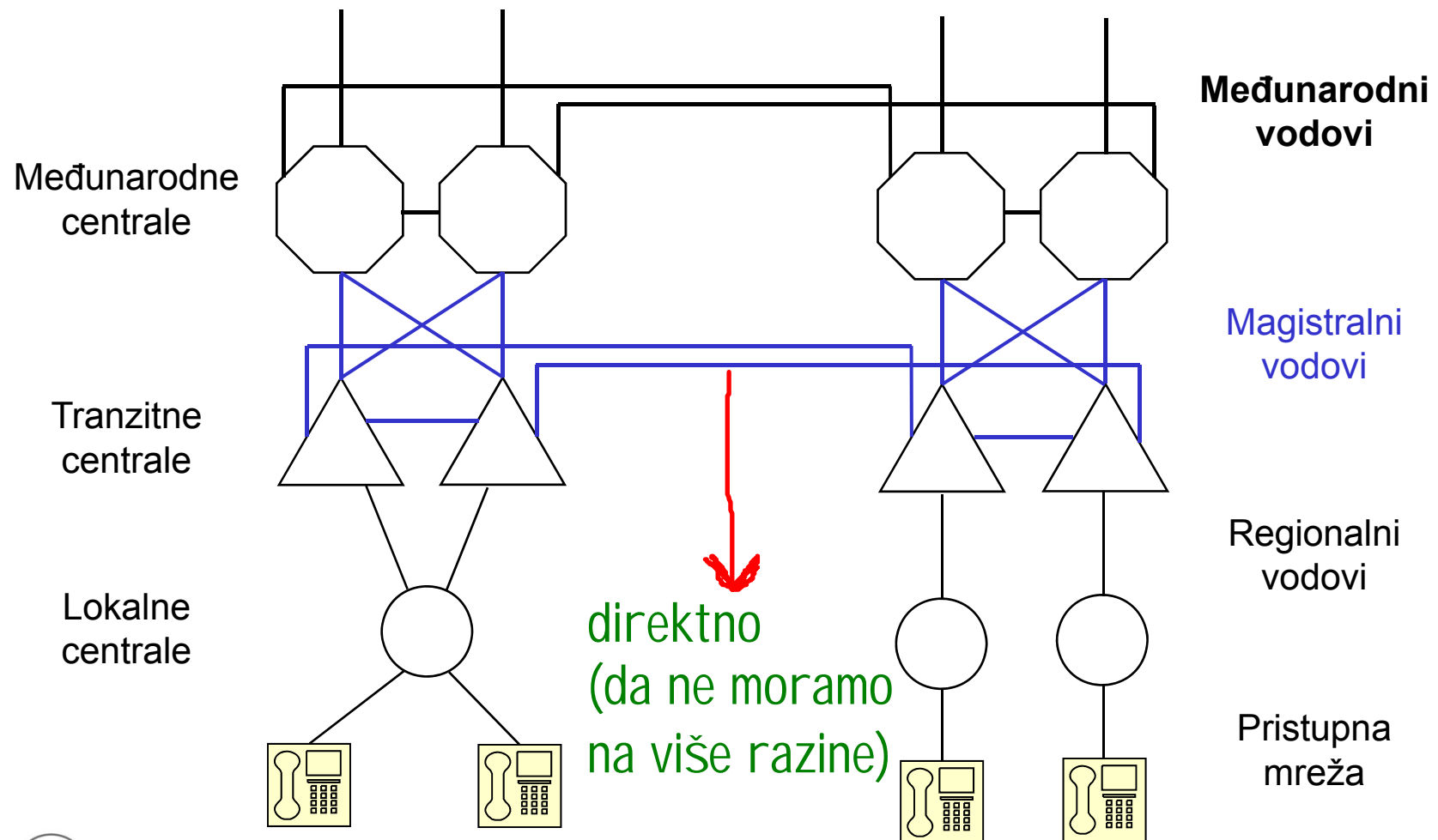
Telefonska mreža

povećanje kapaciteta i brzine sa razinom (multipleksiranje - pa je potrebna veća brzina za istodobni prolaz više kanala/korisnika)



Telefonska mreža

- mreža s tri razine komutacijskih čvorova



Telefonska mreža **važno!**

- telefonska mreža je u početku razvoja bila mreža u kojoj su se prenosili analogni govorni signali
- napretkom tehnologije optičkih komunikacija, digitalne elektronike i računala, sva komutacijska čvorišta i vodovi u PSTN mreži, osim onih u pristupnoj mreži, su postali digitalni
 - u jezgrenoj mreži rabi se komutacija, multipleksiranje i prijenos digitalnih signala
 - u pristupnoj mreži rabi se prijenos analognog signala
- u lokalnim centralama provodi se analogno-digitalna pretvorba i multipleksiranje više govornih signala
- analogno-digitalna pretvorba govornih signala se provodi postupkom impulsno-kodne modulacije (PCM, *Pulse Code Modulation*) (uzorkovanje)

PCM

- impulsno-kodna modulacija
 - telefonski signal: analogni signal u frekvencijskom području 300 – 3400 Hz
 - ograničenje frekvencijske širine pojasa telefonskog signala provodi se na ulazu u lokalnu telefonsku centralu uz pomoć filtra koji guši frekvencije ispod 300 Hz i iznad 3400 Hz
 - širina propusnog pojasa filtra je 3100 Hz
 - filter ima konačnu strminu što znači da gušenje frekvencija izvan propusnog područja filtra nije oštro
 - zbog konačne strmine filtra, uzimanje uzorka provodi se frekvencijom uzorkovanja 8 kHz, tj. svakih 125 μ s (nyquist: $2 \times 3100 = 6200$; $8000 > 6200$)
 - svi vremenski intervali koji se rabe u telefonskom sustavu su višekratnici od 125 μ s
 - kodiranje uzoraka provodi se s 8 bit/uzorku ($2^8 = 256$ razina kvantizacije)
 - brzina prijenosa govornog kanala: $8 \text{ kHz} \times 8 \text{ bit/uzorku} = 64 \text{ kbit/s}$
(ako želimo ve u preciznost, moramo imati ve u brzinu, tj. frekv. podru je)

Multipleksiranje govornih kanala

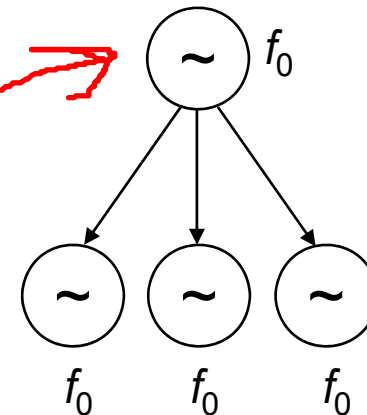
- vremensko multipleksiranje (TDM) govornih kanala
 - digitalnim signalima u uređajima komunikacijskog sustava upravljaju generatori taktnih impulsa (potrebna sinkronizacija)
 - u najjednostavnijem načinu digitalnog prijenosa od točke do točke, svaki smjer ima svoje taktne impulse određene generatorima taktnih impulsa u odašiljaču
 - taktni impulsi u prijamniku dobivaju se izdvajanjem iz prijamnog signala
 - u općem slučaju, vremensko multipleksiranje digitalnih signala koji dolaze iz različitih izvornih čvorova može biti
 - asinkrono (ne doslovno, samo su približno sinkroni)
 - taktni impulsi su asinkroni, ali odstupanja taktnih impulsa od nominalne frekvencije ne smiju biti veća od definiranog iznosa Δf
 - mreža u kojoj se rabi takav odnos taktnih impulsa naziva se pleziokronom
 - sinkrono
 - svi taktni impulsi su iste frekvencije ili se sinkroniziraju na istu frekvenciju
 - mreža u kojoj se rabi takav odnos taktnih impulsa naziva se sinkronom

Multipleksiranje govornih kanala

- pleziokroni taktni impulsi
 - odstupanje taktnih impulsa za vrijednosti manje od Δf jamči prijenos bez pogrešaka
 - u postupku multipleksiranja, komutacije i prijenosa moguće je prevladati razlike u frekvencijama taktnih impulsa
 - odstupanje taktnih impulsa za vrijednosti veće od Δf izaziva pojavu pogrešaka u prijenosu
 - dolazi do tzv. klizanja (*slip*) bita tj. ponavljanja ili izostavljanja bita u nizu
 - posljedica je gubitak sinkronizacije okvira jer se kodna kombinacija za sinkronizaciju ne pojavljuje na očekivanom mjestu u okviru
 - ako se rabi mehanizam zaštite od klizanja, on djeluje ako je razlika frekvencija taktnih impulsa signala koji ulaze u uređaj za multipleksiranje i frekvencije zajedničkih taktnih impulsa uređaja za multipleksiranje manja od Δf

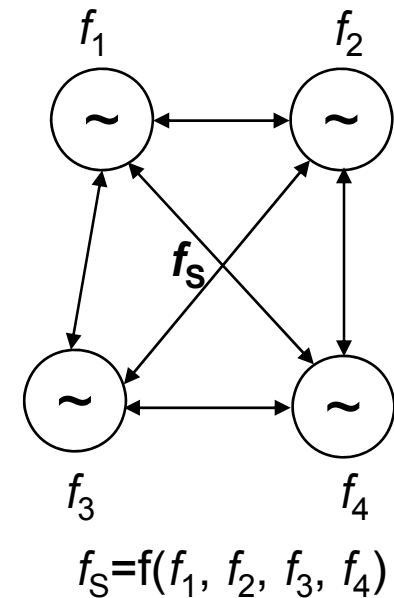
Multipleksiranje govornih kanala

- sinkroni taktni impulsi
 - uspostavljaju se zavisnom sinkronizacijom ili uzajamnom sinkronizacijom
 - zavisna sinkronizacija
 - svi taktni impulsi u mreži generiraju se u jednom oscilatoru visoke stabilnosti (glavni oscilator)
 - ostali oscilatori sinkroniziraju se na frekvenciju taktnih impulsa glavnog oscilatora
 - pogodno za mreže u obliku zvijezde
 - sinkronizacija je jednostavna, ali i nepouzdana jer prestanak rada glavnog oscilatora ili gubitak komunikacije s njim znače potpuni ili djelomični gubitak sinkronizacije u mreži



Multipleksiranje govornih kanala

- uzajamna sinkronizacija
 - svaki od čvorova sadrži vlastiti oscilator
 - svaki oscilator distribuira svoje taktne impulse ostalim čvorovima
 - taktni impulsi svakog oscilatora se regulacijskim procesom mijenjaju dok se ne postigne izjednačenje vlastite frekvencije i ostalih frekvencija - tada su svi taktni impulsi u mreži sinkroni i frekvencija im je f_s
 - pouzdan način sinkronizacije koji se može primijeniti na različite topologije
 - nedostatak: složenost procesa regulacije i veća nestabilnost frekvencije



Pleziokrona digitalna hijerarhija

- pleziokrona digitalna hijerarhija
(PDH, *Plesiochronous Digital Hierachy*)
 - prvi sustav projektiram za prijenos digitalnog govora
 - omogućava bolje iskorištenje prijenosnih kapaciteta i višu kvalitetu prijenosa
 - rabi se za vremensko multipleksiranje govornih kanala "bit po bit" radi zajedničkog prijenosa (niže razine)
 - omogućava prijenos digitalnih signala bez obzira na način njihova nastanka, tako da se može smatrati prvom mrežom integriranih usluga
 - istom prijenosnom linijom prenose se govorni signali i podaci
 - propisuje različite razine prijenosa, brzine prijenosa podataka za svaku razinu i broj govornih kanala po razini
 - niže razine su namijenjene za spajanje korisničke opreme na mrežu
 - više razine su namijenjene prijenosu podataka unutar mreže

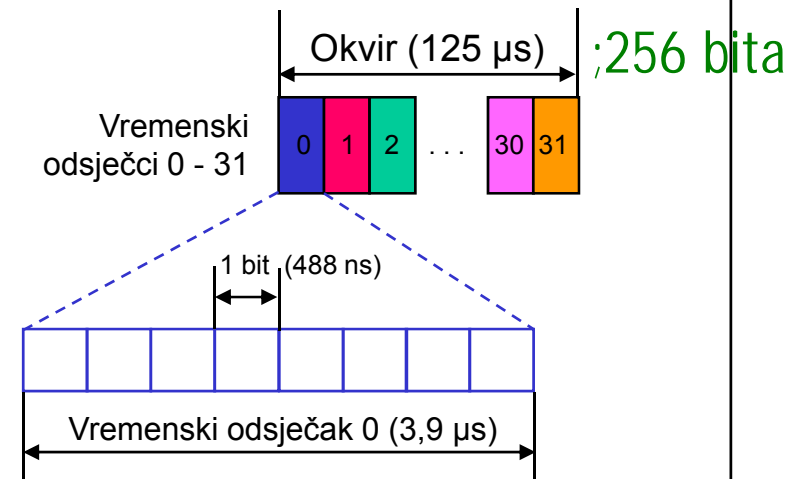
Pleziokrona digitalna hijerarhija

- razine prijenosa u PDH
 - hijerarhija za pleziokrono vremensko multipleksiranje digitalnih govornih signala i podataka definirana je preporukom ITU-T G.702
 - *International Telecommunication Union-Telecommunication Sector (ITU-T) G.702: Digital Hierarchy Bit Rates*
 - početna brzina prijenosa je brzina prijenosa digitalnog govornog signala od 64 kbit/s (1 kanal/vrem.odsje ak; da je samo 1 kanal)
 - multipleksiranje je moguće samo između susjednih razina
 - hijerarhija se u početku razvijala u dva smjera (prvi - Europa, drugi- SAD, Kanada, Japan), a zatim u tri smjera (prvi - Europa, drugi - SAD i Kanada, treći - Japan)
 - hijerarhije se razlikuju u odnosu na primarnu brzinu prijenosa (*Primary Bit Rate*)
 - u SAD, Kanadi i Japanu primarna brzina prijenosa je 1,544 Mbit/s
 - u Europi primarna brzina prijenosa je 2,048 Mbit/s

ne miješat

Pleziokrona digitalna hijerarhija VAŽNO

- primarna brzina prijenosa u europskoj PDH hijerarhiji
 - označava se kao E1, a sadrži 30 govornih kanala i dva kanala za signalizaciju i upravljačke informacije (32 kanala)
 - u okvir trajanja **125 μs** smještaju se podaci iz 32 kanala
 - u vremenski odsječak za svaki kanal smješta se 8 bita
 - ukupan broj bita po okviru je $(32 \times 8) = 256$ bita
 - primarna brzina prijenosa je: $256 \text{ bit}/125 \mu\text{s} = 2,048 \text{ Mbit/s}$
 - trajanje bita je: $125\mu\text{s}/256 = 488 \text{ ns}$
 - svaki kanal u okviru zauzima vremenski odsječak od $488 \times 8 = 3,9 \mu\text{s}$



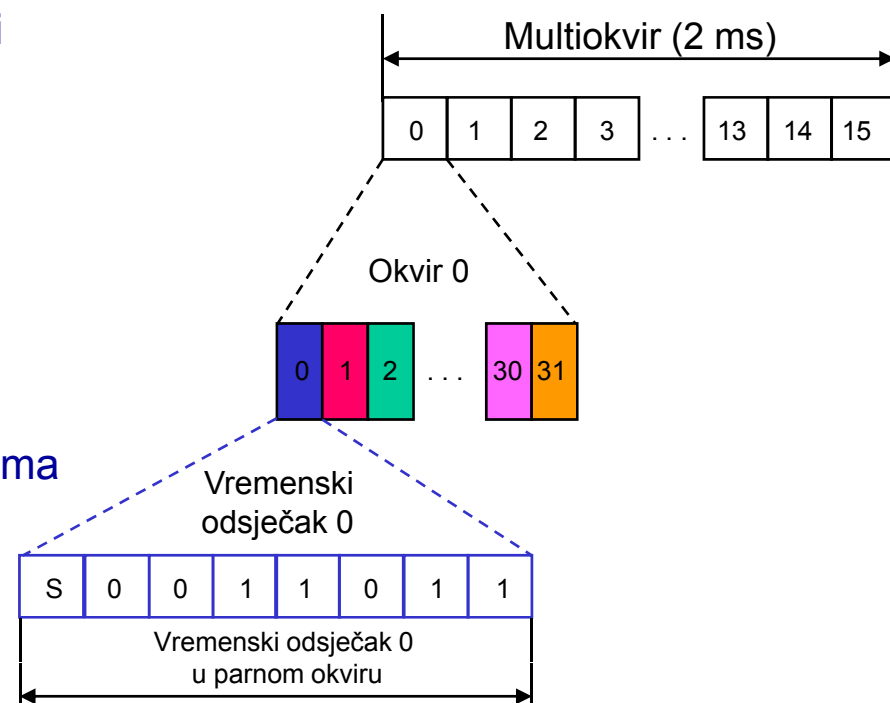
Pleziokrona digitalna hijerarhija nisu važne brojke

- druga razina multipleksiranja (E2) u europskoj PDH hijerarhiji
 - multipleksiraju se četiri E1 kanala
 - brzina prijenosa je 8,448 Mbit/s
 - brzina prijenosa nije $4 \times 2,048 \text{ Mbit/s} = 8,192 \text{ Mbit/s}$
 - u multipleksirani signal dodaju biti za sinkronizaciju, signalizaciju i oporavak u slučaju gubitka sinkronizacije pa je brzina prijenosa veća
- treća razina multipleksiranja (E3)
 - multipleksiraju se četiri E2 kanala
 - brzina prijenosa je 34,368 Mbit/s
- četvrta razina multipleksiranja (E4)
 - multipleksiraju se četiri E3 kanala
 - brzina prijenosa je 139,264 Mbit/s

SVAKA RAZINA JE x4, i još malo

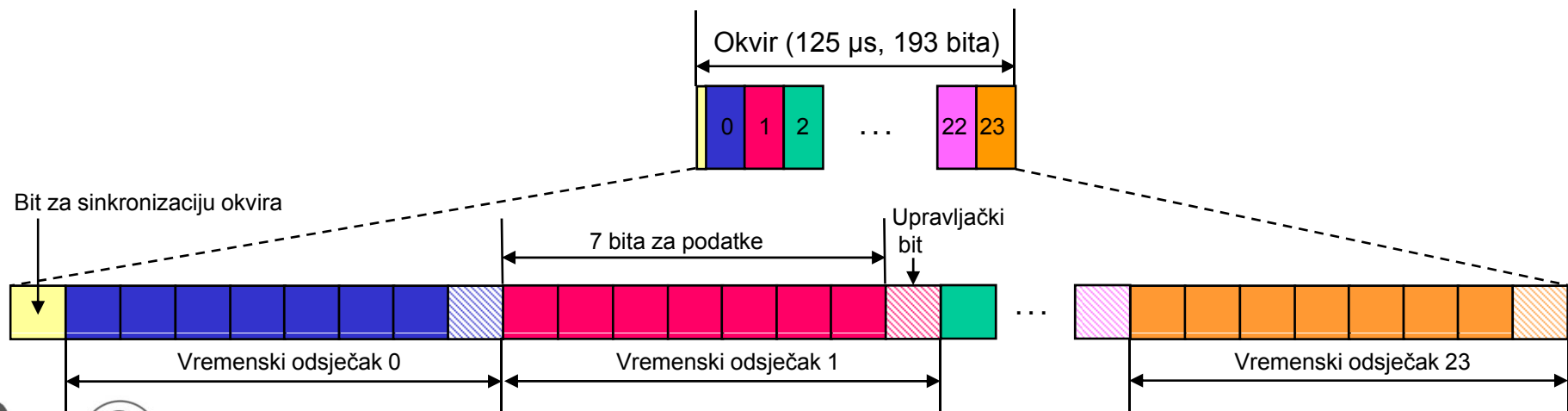
Pleziokrona digitalna hijerarhija nije tol'ko važno znat

- sinkronizacija okvira u europskoj PDH
 - provodi se uz pomoć kodne kombinacije za sinkronizaciju (FAS, *Frame Alignment Sequence*)
 - sastoji se od 7 bita (0011011) koji se prenose u svakom drugom (parnom) okviru u vremenskom odsječku 0 na položajima bita 2-8
 - u neparnom okviru u kome se u vremenskom odsječku 0 ne prenosi FAS, a biti na položajima 2-8 imaju druge upravljačke funkcije
 - sinkronizacija se uspostavlja nakon ispravnog prijama/izostanka FAS u tri uzastopna okvira
 - prvi bit (S) u vremenskom odsječku 0 u parnom i neparnom okviru rabe se zajedno za upravljanje pogreškama



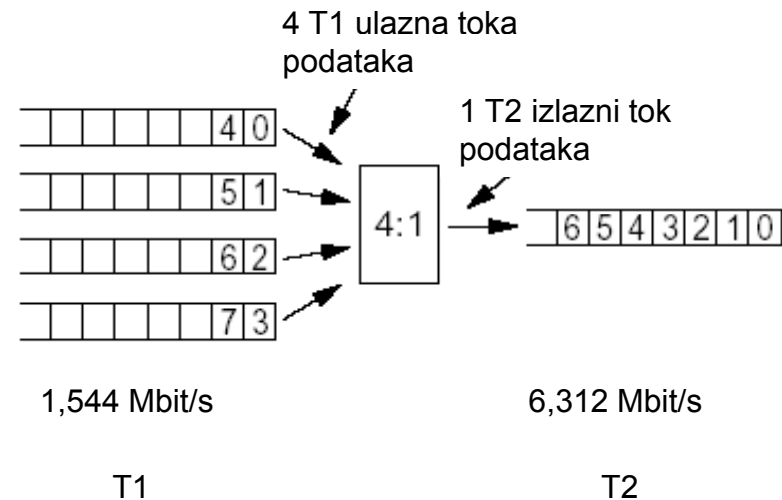
Pleziokrona digitalna hijerarhija

- primarna brzina prijenosa u američkoj PDH hijerarhiji
 - označava se kao T1
 - u okvir trajanja 125 μ s smještaju se podaci iz 24 govorna kanala
 - svaki kanal u okvir donosi 8 bita
 - 7 bita za podatke + 1 upravljački bit
 - u svaki okvir dodaje se jedan bit za sinkronizaciju okvira
 - u uzastopnim okvirima on slijedi shemu 01010101
 - ukupan broj bita po okviru iznosi: $(24 \times 8) = 192$ bita + 1 bit = 193 bit/okviru
 - primarna brzina prijenosa je: $193 \text{ bit} / 125 \mu\text{s} = 1,544 \text{ Mbit/s}$



Pleziokrona digitalna hijerarhija

- druga razina multipleksiranja (T2)
 - multipleksiraju se četiri T1 kanala
 - brzina prijenosa nije $4 \times 1,544 \text{ Mbit/s} = 6,176 \text{ Mbit/s}$
 - zbog dodavanja bita za označavanje okvira i oporavak u slučaju gubitka sinkronizacije brzina prijenosa je veća
 - brzina prijenosa je: 6,312 Mbit/s



- ~~treća razina multipleksiranja (T3)~~
 - ~~multipleksira se sedam T2 kanala~~
 - ~~brzina prijenosa je 44,736 Mbit/s~~
- ~~četvrta razina multipleksiranja (T4)~~
 - ~~multipleksira se šest T3 kanala~~
 - ~~brzina prijenosa je 274,176 Mbit/s~~

nevažno; uglavnom: prva je x4, ostale ne

Pleziokrona digitalna hijerarhija **nebitno!**

- pleziokrona digitalna hijerarhija

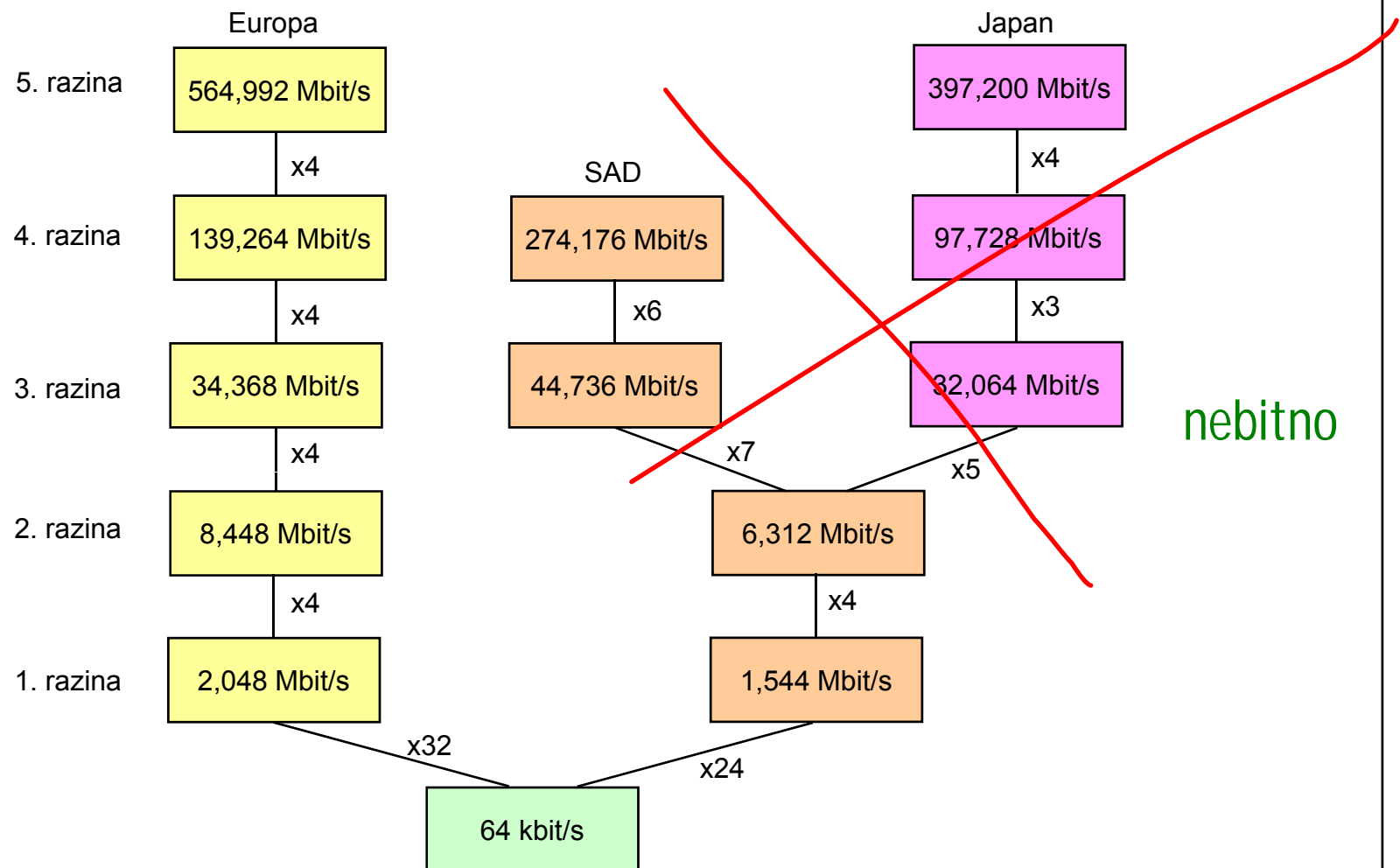
Razina multipleksiranja	Broj govornih kanala	Brzina prijenosa (Mbit/s)		
		SAD	Europa	Japan
0	1	0,064	0,064	0,064
1	24 32	1,544 (T1)	2,048 (E1)	1,544
2	96 128	6,312 (T2)	8,448 (E2)	6,312
3	480 512 672	44,736(T3)	34,368 (E3)	32,064
4	1440 2048 4032	274,176*	139,264 (E4)	97,728
5	5760 8192		564,992*	397,200*

;po etna
;primarna

* struktura okvira nije specificirana u preporuci ITU-T G.702

Pleziokrona digitalna hijerarhija

- pleziokrona digitalna hijerarhija



Pleziokrona digitalna hijerarhija

- nedostaci PDH
 - kada se povezuju sustavi u kojima se rabe različite hijerarhije postojanje različitih hijerarhija zahtijeva složene postupke pretvorbe jedne hijerarhije u drugu
 - brzina prijenosa više razine je oko 1% viša od sume ulaznih tokova podataka zbog prijenosa dodatnih upravljačkih podataka
 - strukture okvira se razlikuju na svakoj prijenosnoj razini
 - multipleksiranje/demultipleksiranje je moguće samo između susjednih razina prijenosa
 - ukoliko se želi promijeniti sadržaj multipleksa, tj. u postojeći multipleks dodati kanale ili ih izdvojiti, potrebno je provesti postupak demultipleksiranja i ponovnog multipleksiranja sljedeći hijerarhiju (korak po korak) bez mogućnosti preskakanja razina
 - razvoj pleziokrone hijerarhije završio je s brzinom prijenosa 139,264 Mbit/s (više razine nisu normirane)

Prednost: jednostavno i brzo

Sinkrona digitalna hijerarhija

- sinkrona digitalna hijerarhija (po ulozenju optike u jezgenu mrežu) (SDH, *Synchronous Digital Hierarchy*)
 - nova hijerarhija koja je naslijedila PDH i ispravila njezine nedostatke
 - postavke za razvoj nove norme
 - svjetska norma koja se može rabiti posvuda u svijetu bez potrebne za pretvorbama iz jedne norme u drugu
 - uvažavanje postignuća PDH i uspostavljanje veze između postojećih PDH hijerarhija
 - izravno sinkrono multipleksiranje
 - omogućavanje prijenosa visokim brzinama i time učinkovita uporaba svjetlovoda kao prijenosnog medija (na 2,5 Gbit/s svjetlovod ima kapacitet 30 720 govornih kanala)
 - omogućavanje uvođenja širokopojasnih usluga (prijenos videosignala, videokonferencije, itd.)
 - normirana sučelja kako bi proizvođači opreme mogli ponuditi uređaje po nižim cijenama zbog postojanja svjetskog tržišta

Sinkrona digitalna hijerarhija

- prva sinkrona optička mreža (SONET, *Synchronous Optical Network*) uvedena je 1985. godine u SAD
 - najniža razina - razina 1, imala je brzinu prijenosa 51,840 Mbit/s
 - nazvana je: sinkroni transportni signal razine 1 (STS-1, *Synchronous Transport Signal Level 1*)
 - sljedeća razina je razina 3 s brzinom prijenosa 155,52 Mbit/s (STS-3)
 - multipleksiranje se provodi u električnom području, a prijenos u optičkom
- brzina prijenosa 155,52 Mbit/s usvojena je u Europi kao prva razina SDH
 - nazvana je: sinkroni transportni modul razine 1 (STM-1, *Synchronous Transport Module Level 1*)
 - brzina prijenosa 51,84 Mbit/s u SDH ima oznaku STM-0
- 1988. godine SONET i SDH povezani su u jedinstvenu normu

SONET=SDH=STM (sinonimi)= STS/3
(vidi slj. slajd)

Sinkrona digitalna hijerarhija

- SONET/SDH

- tokovi podataka koji se multipleksiraju u STM-1 nazivaju se spremnici (C, *Containers*)
 - definirano je 5 vrsta spremnika: C-11 (1,544 Mbit/s), C-12 (2,048 Mbit/s), C-2 (6,312 Mbit/s), C-3 (34,368/44,736 Mbit/s) i C-4 (139,264 Mbit/s) → za PDH
- sinkroni prijenosni signali viših razina nastaju množenjem osnovne razine STS-1 (51,840 Mbit/s) s N ($N = 3, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 96, 192$) pri čemu se dobije razina brzine prijenosa STS- N ili STM- $(N/3)$ (nevažne brojke)
- optički signal u SONET hijerarhiji se naziva optički nosilac (OC- N , *Optical Carrier*)
 - jedan STS- N signal može biti prenošen bilo kojim OC- M signalom, sve dok je $M \geq N$

Sinkrona digitalna hijerarhija nevažne brojke....

- razine multipleksiranja

SONET		SDH	Brzina prijenosa (Mbit/s)	
Električko	Optičko	Optičko	Ukupna	Korisna
STS-1	OC-1	STM-0	51,84	50,112
STS-3	OC-3	STM-1	155,52	150,336
STS-9	OC-9	STM-3	466,56	451,008
STS-12	OC-12	STM-4	622,08	601,344
STS-18	OC-18	STM-6	933,12	902,016
STS-24	OC-24	STM-8	1244,16	1202,688
STS-36	OC-36	STM-12	1866,24	1804,032
STS-48	OC-48	STM-16	2488,32	2405,376
STS-96	OC-96	STM-32	4876,64	4810,752
STS-192	OC-192	STM-64	9953,28	9621,504

Sinkrona digitalna hijerarhija ; nisu važne brojke

- STM-1
 - osnovni okvir u SDH koji se prenosi u vremenskom intervalu trajanja $125 \mu\text{s}$
 - frekvencija odašiljanja okvira je $1/125 \mu\text{s} = 8000$ okvira/sekundi
 - elementarna jedinica za multipleksiranje je simbol duljine 8 bita
 - okvir se dijeli na:
 - distribuirano zaglavlje sekcije (SOH, *Section OverHead*)
 - virtualni spremnik (VC, *Virtual Container*) razine 4 (VC-4) s korisničkim podacima
 - ukupan broj simbola u okviru je 2430
 - okvir se radi lakše predodžbe prikazuje u obliku dvodimenzionalne matrice od 9 redaka i 270 stupaca ($9 \times 270 = 2430$)
 - na početku svakog okvira prenosi se kodna kombinacija za označavanje početka okvira (F)
 - rabi se za sinkronizaciju odašiljača i prijamnika

Sinkrona digitalna hijerarhija

primjer: brzina zaglavlja:³³
 $9 \times 9 \times (8 \text{ bit} / \text{sim.}) \times 8000 =$

$= 5.184 \text{ Mbit/s}$

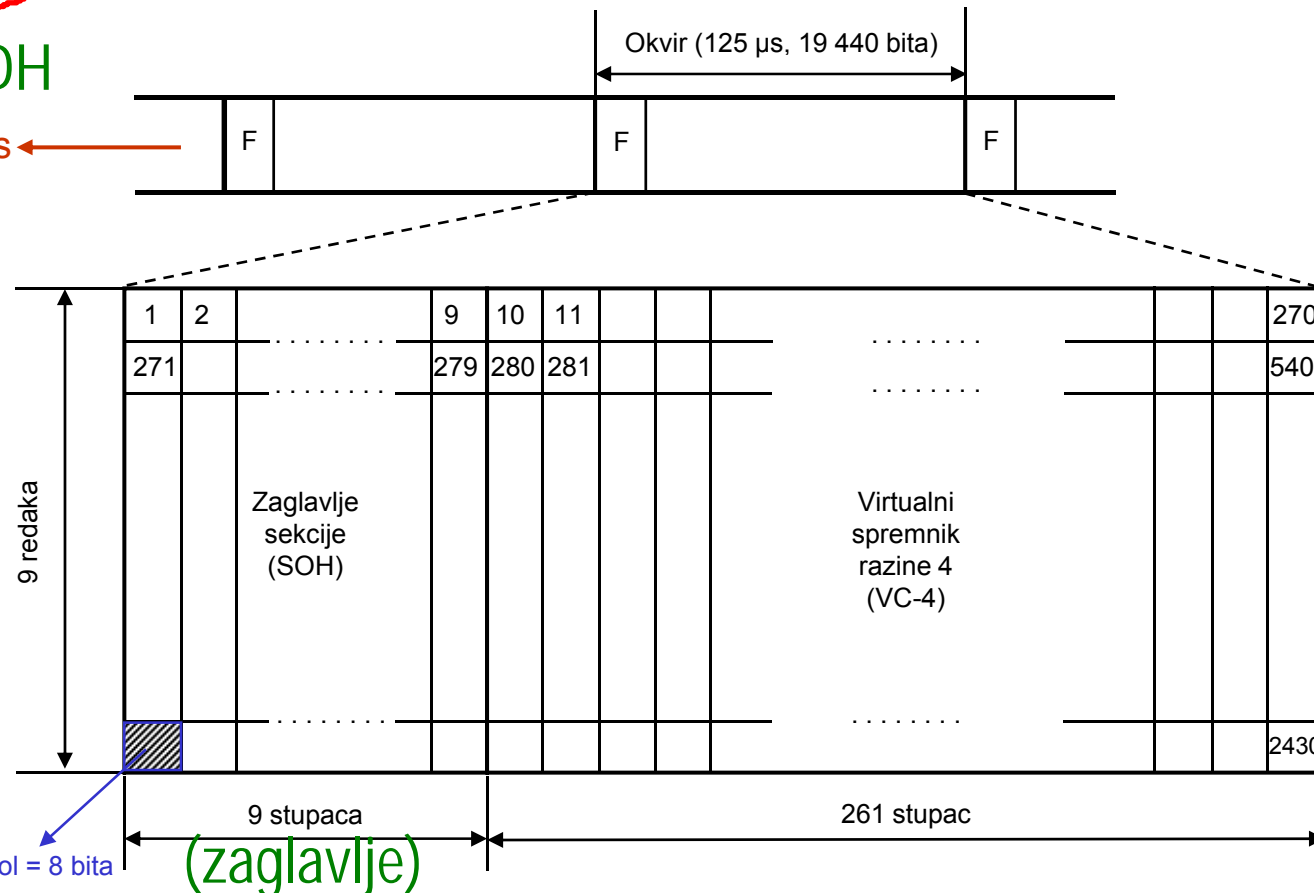
- kapacitet STM-1

- brzina prijenosa STM-1 je:

- **2430** simbola/okviru $\times 8 \text{ bit/simbol} \times 8000 \text{ okvir/s} = 155,52 \text{ Mbit/s}$

"kanala" u PDH

155,52 Mbit/s



Sinkrona digitalna hijerarhija

- sinkronizacija
 - signali iz PDH (spremnici) smještaju se u virtualne spremnike jednake veličine bez prethodnog demultipleksiranja
 - odašiljač u sustavu SDH odašilje okvire duljine 2430 bajta jedan iza drugog, bez razmaka, čak i onda kada nema korisnih podataka za slanje (tada se šalju prazni dijelovi okvira)
 - prijamnik prima neprekinuti slijed podataka, koje logički dijeli na okvire na taj način što traži fiksnu kodnu kombinaciju koja označava početak okvira
 - kodna kombinacija za označavanje početka okvira (F) prenosi se na početku zaglavlja sekcije u prvih 6 bajta
 - sinkronizacija prijarnika s odašiljačem se provodi detektiranjem kodne kombinacije za označavanje početka okvira u jednakim vremenskim razmacima u većem broju uzastopnih okvira

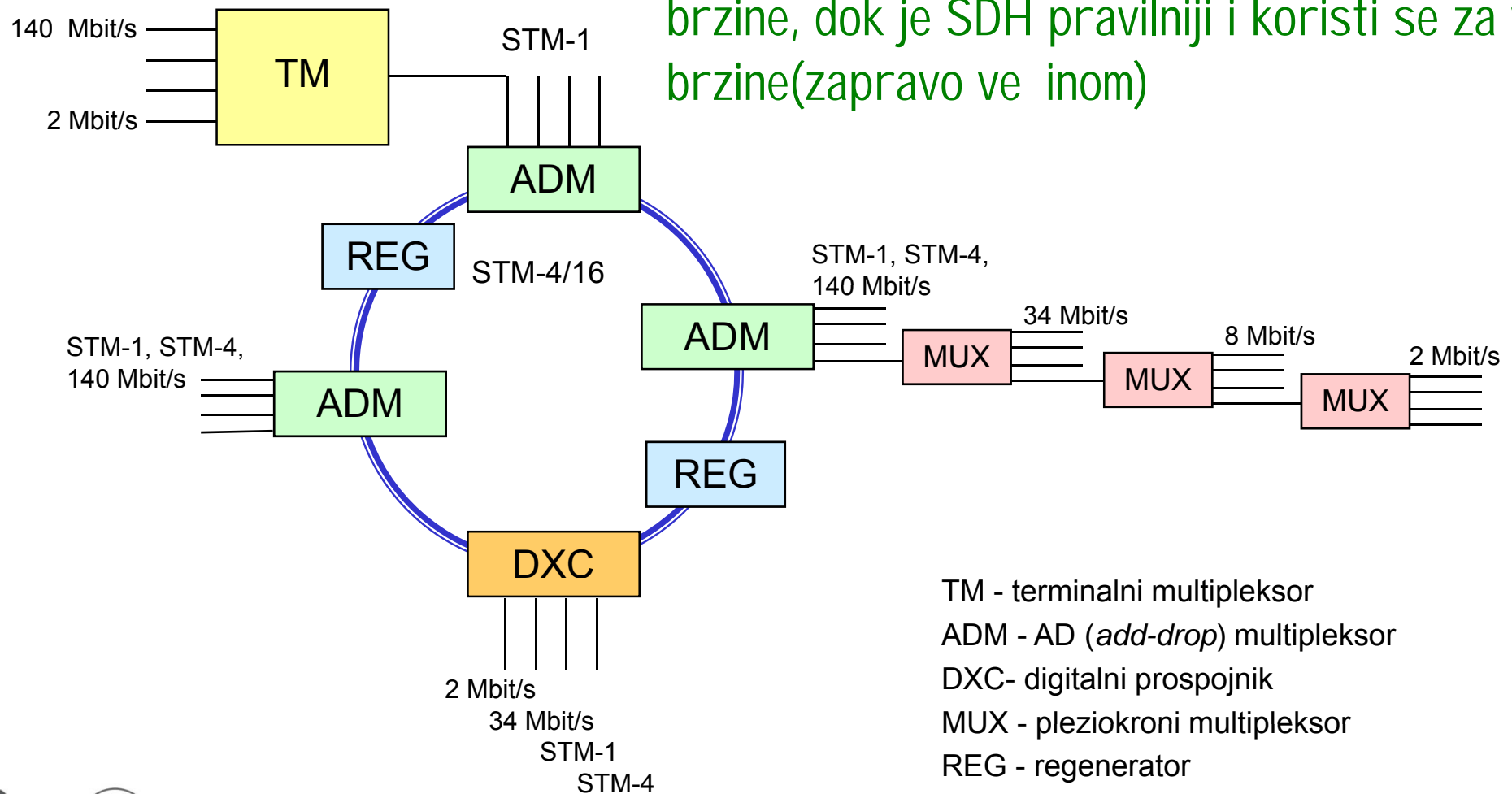
Sinkrona digitalna hijerarhija ;malo manje važno

- komponente SDH sustava
 - terminalni multipleksori (TM, *Terminal Multiplexer*)
 - krajnji čvorovi koji provode multipleksiranje/demultipleksiranje ulaznih spremnika (PDH ili SDH) na odgovarajući razinu STM-N
 - AD multipleksori (ADM, *Add-Drop Multiplexer*)
 - dodaju ili izuzimaju pojedine dijelove nižih brzina prijenosa iz digitalnog slijeda više brzine prijenosa (npr. izuzimaju jedan STM-1 iz STM-4) bez potrebe za demultipleksiranjem
 - digitalni prospojnici (DXC, *Digital Cross-Connect*)
 - prospaja tj. komutira pojedine virtualne spremnike ili njihove skupine
 - virtualni spremnici koji se u čvoru trebaju prospojiti ostaju nepromijenjeni, a u STM-u mijenja se samo zaglavlje sekcije (SOH)
 - regeneratori
 - obnavljaju signal

Sinkrona digitalna hijerarhija

- primjer SDH sustava

Zaključak: PDH je jednostavniji i koristi manje brzine, dok je SDH pravilniji i koristi se za veće brzine (zapravo veće brzine)

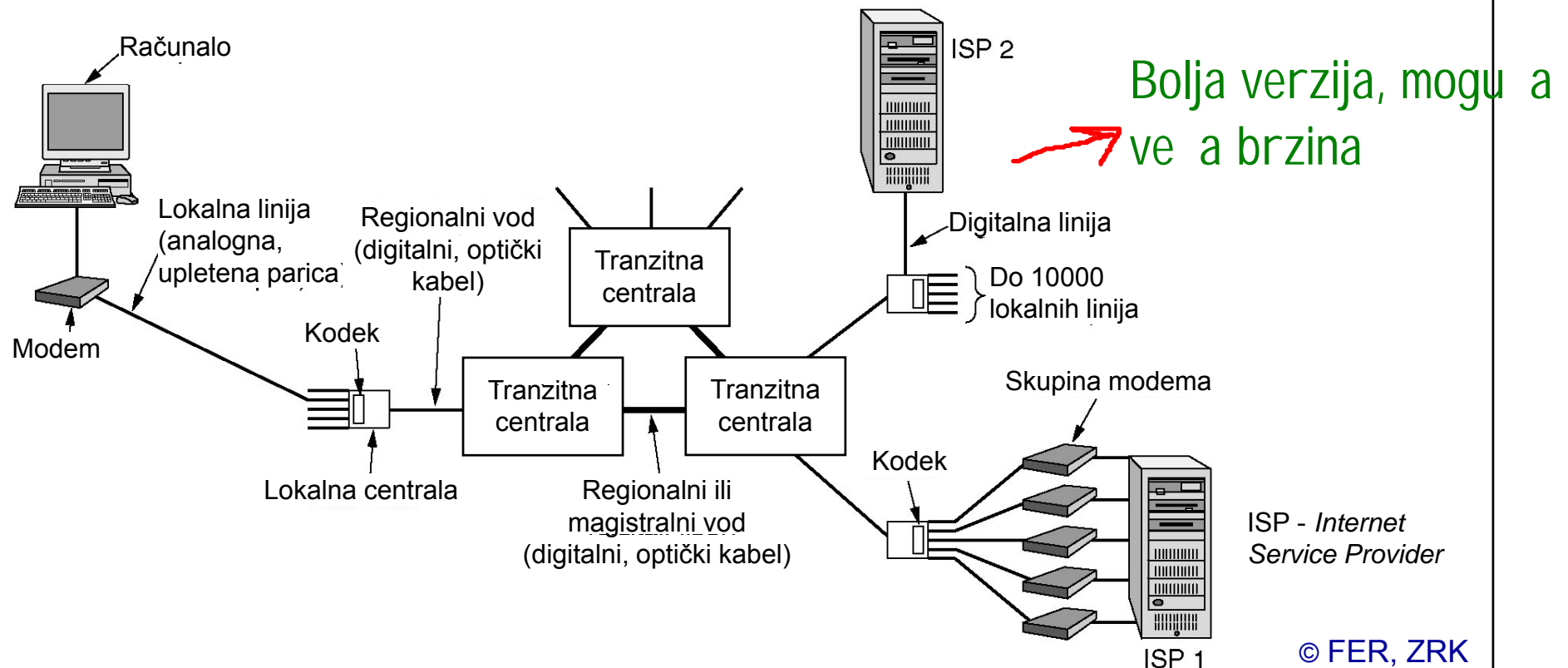


Telefonske modemske veze

- napretkom i sve većom uporabom računala pojavila se potreba za povezivanjem računala putem telefonske mreže
 - digitalni podaci nastali u računalu podložni su gušenju i osjetljivi na šum i izobličenja zbog promjenjivog kašnjenja
 - posljedica: ograničenje brzine prijenosa i prienosne udaljenosti
- modem (**m**odulator+**d**emodulator)
 - uređaj za pretvorbu digitalnih podatka, nastalih u računalu, u analogni oblik pogodan za slanje telefonskom linijom i obrnuto
 - u modemu se generira prienosni signal frekvencije između 1000 i 2000 Hz (ton) koji se modulira digitalnim modulacijskim signalom (PSK, QAM...)
- norme za modeme sadržane u V-seriji preporuka ITU-T

Telefonske modemske veze

- analogni signal, nastao u modemu, šalje se do lokalne telefonske centrale, gdje se u kodeku pretvara u digitalni oblik za slanje magistralnim vodovima
- kako bi se prošla lokalna linija prema odredištu signal se u kodeku pretvara u analogni oblik koji se demodulira u modemu
 - primjer: veza između računala i davatelja internetskih usluga (ISP 1)



Modemske veze

- radi povećanja brzine prijenosa u modemima se rabe hibridni modulacijski postupci, a u novijim modemima i kompresija (sažimanje) podataka prije prijenosa
 - postupkom kompresije uklanja se redundancija (suvišnost) u slijedu kodnih znakova
 - stupanj kompresije je određen brojem bita po simbolu prije primijenjenog postupka kompresije i prosječnim brojem bita po simbolu nakon primijenjenog postupka kompresije
(prije/poslije)

Modemske veze **nevažno**

- primjeri modema

- V.21 - 300 bit/s

- rabi BFSK modulaciju uz 300 Bd (1 simbol = 1 bit)
 - modem odašilje stanje «0» kao ton frekvencije 1070 Hz, a stanje «1» kao ton frekvencije 1270 Hz, dok modem koji mu odgovara za «0» rabi 2025 Hz, a za «1» rabi 2225 Hz
 - frekvencije su pažljivo odabrane kako se ne bi međusobno ometale

- V.22 - 1200 bit/s

- rabi QPSK modulaciju uz 600 Bd (1 simbol = 2 bita)

- V.22 bis - 2400 bit/s

- rabi 16-QAM modulaciju uz 600 Bd (1 simbol = 4 bita)

- V.23 - 1200 bit/s

- rabi BFSK modulaciju uz 1200 Bd (1 simbol = 1 bit)

Modemske veze nevažno

- ~~V.32~~ - 9600 bit/s
 - rabi tzv. rešetkasto kodiranu modulaciju 32-TCM* (TCM, *Trellis Coded Modulation*) s 32 stanja u dijagramu stanja, brzina 2400 Bd
 - 4 bita se rabi za prijenos podataka a 1 bit za upravljanje pogreškama
 - brzina prijenosa je: $2400 \text{ Bd} \times 4 \text{ bit/simbol} = 9600 \text{ bit/s}$
- V.32 bis - 14400 bit/s
 - rabi rešetkasto kodiranu modulaciju s 128 stanja u dijagramu stanja 128-TCM*, brzina 2400 Bd
 - 6 bita se rabi za prijenos podataka a 1 bit za upravljanje pogreškama
 - brzina prijenosa je: $2400 \text{ Bd} \times 6 \text{ bit/simbol} = 14400 \text{ bit/s}$

modulacija i kodiranje

* TCM je izuzetno složeni postupak koji predstavlja kombinaciju konvolucijskog kodiranja i modulacije (koristi redundanciju u dijagramu stanja)

Modemske veze **nevažno**

- ~~V.32 terbo~~ - 19200 bit/s
 - nastao daljnjim razvojem V.32bis modema, ali nije službeno odobren od strane ITU-T
 - rabi rešetkasto kodiranu modulaciju s 512 stanja u dijagramu stanja 512-TCM, brzina 2400 Bd
 - brzina prijenosa je: $2400 \text{ Bd} \times 8 \text{ bit/simbol} = 19200 \text{ bit/s}$
- V.34 - 28800 bit/s
 - rabi 12 bit/simbol i 2400 Bd
- V.34 bis - 33600 bit/s
 - rabi 14 bit/simbol i 2400 Bd
 - brzina prijenosa od 33,6 kbit/s je maksimalna brzina prijenosa između dva kućna korisnika s modemima i analognim linijama

Modemske veze

- brzina prijenosa od 35 kbit/s predstavlja teorijsku granicu najveće brzine prijenosa modema, a određena je prosječnom duljinom i kvalitetom telefonskih linija u lokalnoj petlji
- analogni signal nastao u modemu na putu prema odredištu dva puta prolazi kroz lokalnu liniju
- kada bi se jedna od lokalnih linija isključila iz prijenosnog puta, brzina prijenosa bi se mogla udvostručiti
- povećanje brzine prijenosa postiže se digitalnim prijenosom u lokalnoj petlji
 - ISP se povezuje digitalnom linijom s najbližom telefonskom centralom
 - teorijska granica najveće brzine prijenosa modema je tada 70 kbit/s
 - npr. ISP 2 s prethodne slike izravno prima digitalni signal i nema potrebe za uporabom kodeka, modema i analognog prijenosa

primjer zadatka na slajdu 50 (jer ovdje ne stane)

Modemske veze

- nove vrste modema
 - V.90 - 56 kbit/s/33,6 kbit/s
 - brzina prijenosa od davatelja internetskih usluga prema korisniku je 56 kbit/s (PCM - 8000 Bd uz 7 bit/simbol) ($7 \times 8k = 56k$); 7 dolazi iz US verzije PDH
 - brzina prijenosa od korisnika prema davatelju je 33,6 kbit/s
 - V.92 - 56/48 bit/s **maximalno**
 - brzina prijenosa od korisnika prema davatelju internetskih usluga povećana je na 48 kbit/s (PCM - 8000 Bd uz 6 bit/simbol)
- efektivna brzina prijenosa koju opaža korisnik može biti manja, jednaka ili veća od nominalne brzine prijenosa modema
 - modem prije odašiljanja podataka provjerava liniju i ako utvrdi da je kvaliteta prijenosa niska, smanjuje brzinu prijenosa
 - ukoliko se u modemu rabi kompresija podataka prije odašiljanja, efektivna brzina prijenosa može biti veća od 33,6 kbit/s

Digitalne pretplatničke linije

- tehnologije digitalne pretplatničke linije (DSL, *Digital Subscriber Line*)
 - povećavaju brzinu prijenosa u pristupnoj telefonskoj mreži iznad 56 kbit/s (gdje su modemske veze završile svoj razvoj) (koriste širi spektar)
 - omogućavaju istodobni prijenos govora i podataka
 - rabe napredne modulacijske postupke radi omogućavanja prijenosa podataka visokim brzinama
 - rabe postojeće upletene parice u širem frekvencijskom području od onoga koji se rabi za prijenos govora (300 – 3400 Hz)
 - rabe postojeću mrežnu infrastrukturu uz male potrebne nadogradnje
 - jednostavne su za implementaciju na strani korisnika (korisniku se dodjeljuje DSL pristupni uređaj)
- više frekvencije se u upletenoj parici više guše pa je potrebno im više optike

Digitalne pretplatničke linije nevažne su brojke

- pregled DSL tehnologija
 - digitalna mreža integriranih usluga (ISDN, *Integrated Services Digital Network*)
 - brzina prijenosa za osnovni korisnički pristup je 160 kbit/s
 - prijenos govora i podataka
 - HDSL (*High Bit Rate DSL*)(simetričan - ista down/up brzina za razliku od ADSL)
 - HDSL modemi rabe dvije ili tri telefonske parice
 - brzina prijenosa: 1,544 Mbit/s ili 2,048 Mbit/s (T1/E1)
 - T1 s dvije parice - brzina prijenosa po parici 784 bit/s
 - E1 s dvije parice - brzina prijenosa po parici 1168 bit/s
 - E1 s tri parice - brzina prijenosa po parici 784 bit/s
 - prijenosna udaljenost: 2,7 – 3,6 km (parice promjera 0,4 – 0,5 mm)
 - povezivanje korporacijskih mreža, interna komunikacija unutar mreže pojedinog operatora (npr. povezivanje baznih postaja mobilne mreže s telefonskom centralom)

Digitalne pretplatničke linije **nevažne brojke**

– HDSL2

- povećanje brzine prijenos u odnosu na HDSL
- dvosmjerni prijenos po jednoj parici uz brzinu prijenosa od 2,048 Mbit/s uz domet 4 km
- prijenos s dvije parice uz ukupnu brzinu prijenosa 4 Mbit/s i domet 4 km
- simetrične usluge s jednakim kapacitetom za odlazni i dolazni smjer
- rabi modulacijski postupak QAM s potisnutim nosiocem (CAP, *Carrierless Amplitude and Phase*)

– MSDSL (*Multirate Symmetric DSL*)

- simetrična digitalna pretplatnička linija s više brzina prijenosa
- rabi jednu paricu
- brzina prijenosa može se mijenjati u ovisnosti o potrebama korisnika od 272 kbit/s do 2320 kbit/s (time se mijenja i domet)
- podržava istodobno korištenje govorne usluge i prijenos podataka
- rabi modulacijski postupak CAP

Digitalne pretplatničke linije

– ADSL (*Asymmetric DSL*)

- brzina prijenosa u dolaznom smjeru prema korisniku (*downstream*) veća je od brzine u odlaznom smjeru (*upstream*) od korisnika prema centrali
- dolazni smjer prema korisniku: 1,5 – 9 Mbit/s
- odlazni smjer od korisnika: 16 – 640 kbit/s
- rabi modulacijski postupak OFDM (DMT) (jer je otporan na uskopojasna gušenja)
- omogućava širokopojasne usluge kao što su video na zahtjev, pristup Internetu, pristup LAN mrežama, prijenos televizijskog signala

– VDSL (*Very High Bit Rate DSL*)

- veće brzine prijenosa, ali kraće udaljenosti nego kod ADSL
- dolazni smjer prema korisniku: 13 – 55 Mbit/s
- odlazni smjer od korisnika: 1,5 – 2,3 Mbit/s
- VDSL se rabi u mrežama gdje je optički kabel doveden blizu korisnika
- prijenosne udaljenosti po upletenoj parici: 300 – 1500 m (nekoliko stotina m)
- omogućava širokopojasne usluge

Digitalne pretplatničke linije nevažni brojevi..

- ISDN → nije toliko bitan
 - integracija usluga prijenosa govora i podataka (prvi!)
 - zahtijeva digitalizaciju lokalne petlje
 - dvije vrste sučelja prema ISDN mreži
 - sučelje s osnovnom brzinom prijenosa (BRI, *Basic Rate Interface*) za male korisnike (kućanstva) (ne koristi se više)
 - sučelje s primarnom brzinom prijenosa (PRI, *Primary Rate Interface*) za poslovne korisnike (još se malo koristi)
 - ISDN kanali
 - kanal B – 64 kbit/s
 - osnovni korisnički kanal za prijenos govora i podataka
 - kanal D – 16 ili 64 kbit/s
 - prenosi signalizacijsku informaciju za uspostavljanje veze
 - kanal H – 384 kbit/s (H0), 1536 kbit/s (H11) i 1920 kbit/s (H12)
 - prijenos korisničke informacije veće brzine

Digitalne pretplatničke linije nije tol'ko važno

– PRI

- spajanje digitalnih kućnih centrala na ISDN mrežu (prijenos od točke do točke)
- od digitalne centrale zvjezdasto se šire vodovi do pojedinih uređaja
- tipična konfiguracija za PRI
 - primarna brzina prijenosa (2,048 Mbit/s ili 1,544 Mbit/s)
 - » 23B ili 30B kanala (23 za SAD i Japan, a 30 za Europu)
 - » jedan D kanal brzine prijenosa 64 kbit/s
 - » jedan kanal brzine 64 kbit/s za sinkronizaciju
- moguće je rabiti bilo koju kombinaciju H0 i B (uz 0 ili 1 kanal D) do najvećeg kapaciteta veze
 - npr. 3H0 + 5B + D

Primjer__0: 50% korisnika ima S/N odnos manji ili jednak 35dB (=3162.278)
koliki je kapacitet kanala za njih (brzina)?

$$C = B \cdot \log_2(1 + S/N)$$

$$B = 3400\text{Hz} - 300\text{Hz} = 3100\text{Hz}$$

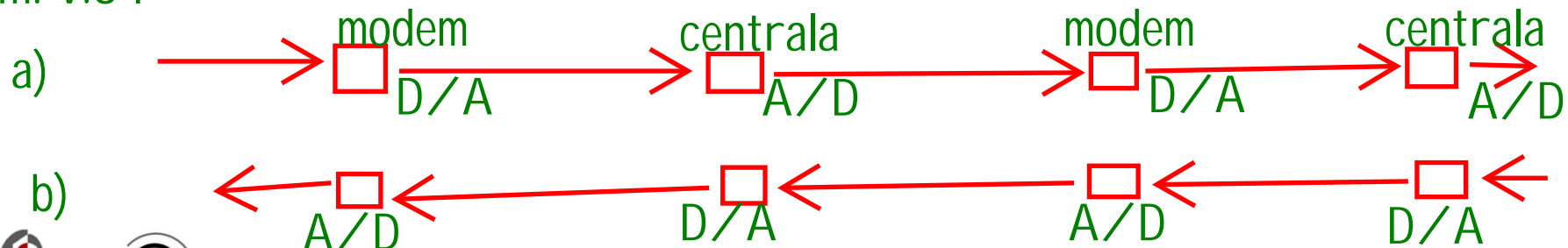
C ispada približno 36044 što je približno 35kbit/s (maximalna teorijska brzina)

Digitalne pretplatničke linije nije tol'ko važno

– BRI

- spajanje najviše osam korisničkih uređaja
- rabi se osnovna brzina prijenosa od 160 kbit/s
 - dva B kanala (B, *Bearer Channel*) za prijenos korisne informacije brzine prijenosa 64 kbit/s
 - jedan D kanal (D, *Data Channel*) za signalizaciju brzine prijenosa 16 kbit/s
 - jedan kanal brzine prijenosa 16 kbit/s za zaglavlje
- dva B kanala mogu se koristiti za dva potpuno odvojena telefonska razgovora
- signal se prenosi preko jedne parice, a na krajevima parice rabe se ISDN modemi

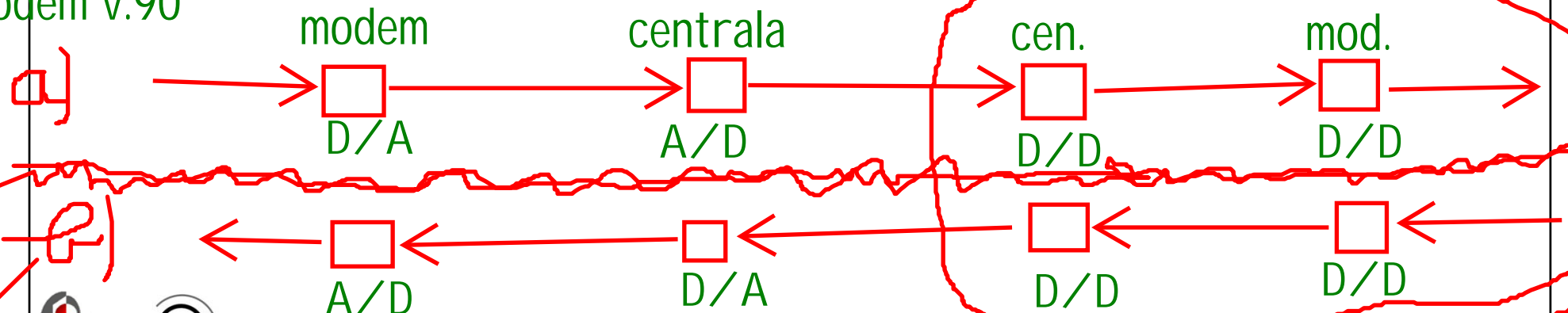
Primjer_1: odredi koja se pretvorba (D/A ili A/D ili D/D) koristi na pojedinim etapama:
modem: v.34



Digitalne pretplatničke linije

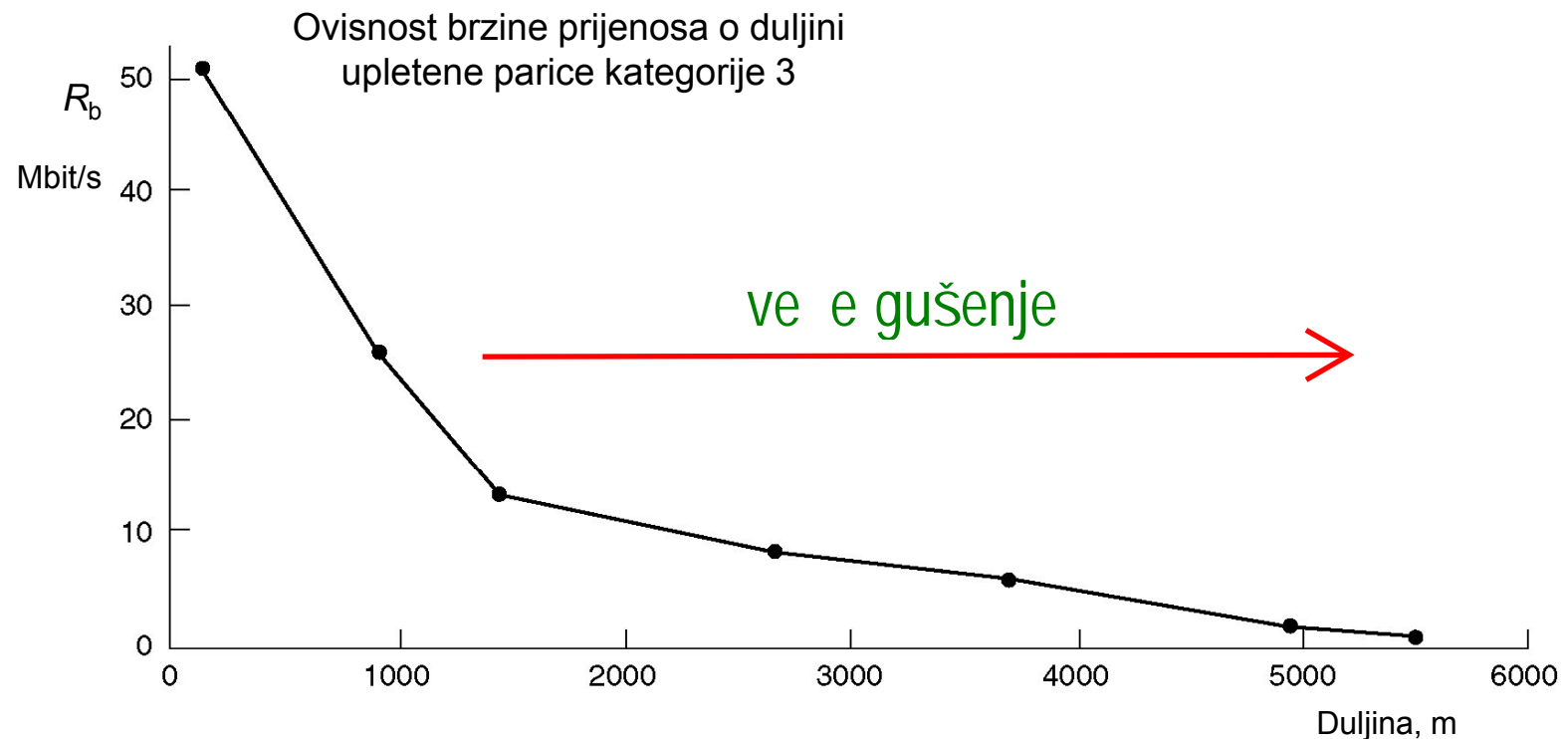
- prednosti ISDN u odnosu na modeme u govornom području
 - povećanje brzine prijenosa s 33,6 kbit/s i 56 kbit/s na 160 kbit/s
 - istodobni prijenos govora i podataka
 - potpuna digitalizacija prijenosnog puta do korisnika
- nedostaci ISDN u odnosu na ostale DSL tehnologije
 - brzine prijenosa preniske za multimedijske usluge
 - kvaliteta prijamnog signala ovisi o stanju parice, njezinoj duljini i izvedenim spojevima na njoj

Primjer_2: odredi koja se pretvorba (D/A ili D/D ili A/D) koristi u pojedinim etapama!
modem v.90



Digitalne pretplatničke linije

- ADSL
 - prijenos informacija provodi se preko jedne parice
 - zbog nedostatka upletene parice kao prienosnog medija, prienosne udaljenosti su ograničene na 5 km

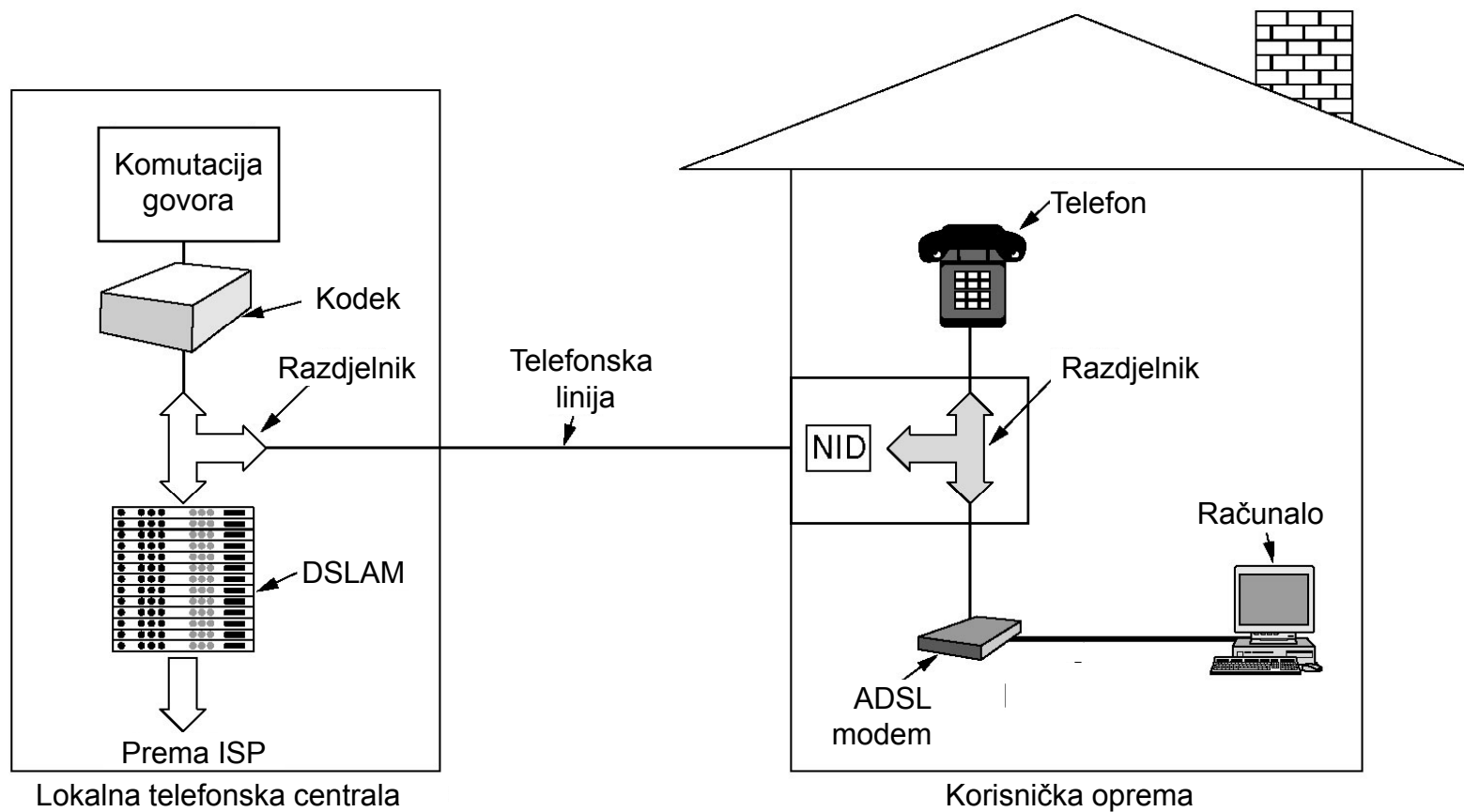


Digitalne pretplatničke linije

- ADSL sustav
 - na korisničkoj strani razdvajanje govora i podataka provodi se u **razdjelniku** (*splitter*)
 - razdjelnik je niskopropusni analogni filter koji razdvaja frekvencijsko područje 0 – 4 kHz, koje se rabi za govornu uslugu, od podataka
 - razdjelnik se obično ne nalazi na istoj lokaciji gdje i modem, a instalira ga stručna osoba davatelja usluge
 - na razdjelnik se spaja ADSL modem i telefon
 - korisnik se povezuje s mrežom putem mrežnog sučelja (NID, *Network Interface Device*)
 - u telefonskoj centrali također se rabi razdjelnik za odvajanje govornih signala i podataka
 - podaci se obrađuju u DSL pristupnom multipleksoru (DSLAM, *DSL Access Multiplexer*), a govorni signal u klasičnoj telefonskoj centrali
 - DSLAM obrađuje digitalne signale na isti način kao ADSL modem
 - slijed bita koji nastaje na izlazu iz DSLAM-a oblikuje se u pakete i šalje prema davatelju internetskih usluga (ISP)

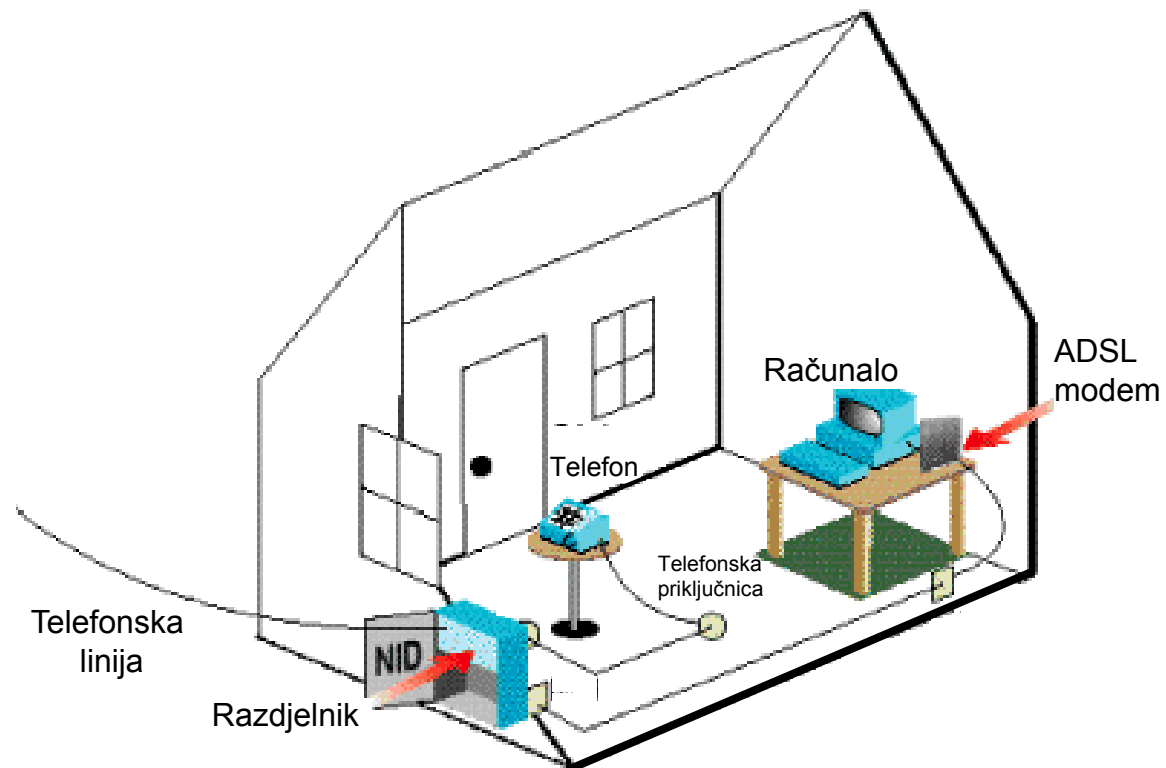
Digitalne pretplatničke linije

- ADSL sustav



Digitalne pretplatničke linije

- korisnička oprema

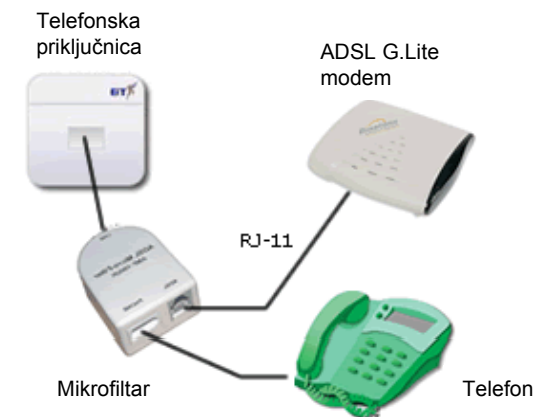


Digitalne pretplatničke linije VAŽNO!!

- odabir frekvencijskog područja za dolazni i odlazni smjer
 - signal u odlaznom smjeru od korisnika prema telefonskoj centrali je manje snage od signala u dolaznom smjeru i stoga podložniji šumu
 - odlaznom smjeru se dodjeljuje niže frekvencijsko područje zbog manjeg gušenja signala pri prijenosu upletenom paricom na nižim frekvencijama
- za privatne korisnike pogodno je da kapacitet u dolaznom smjeru bude veći od kapaciteta u odlaznom smjeru (veća brzina)
 - odlaznom smjeru se dodjeljuje znatno manja širina pojasa nego dolaznom smjeru (asimetrični promet)
- zbog ograničenih brzina prijenosa u odlaznom smjeru, ADSL usluga nije atraktivna poslovnim korisnicima (oni koriste simetričnu (HDSL))

Digitalne pretplatničke linije Znati samo suštinu, ne i brojeve

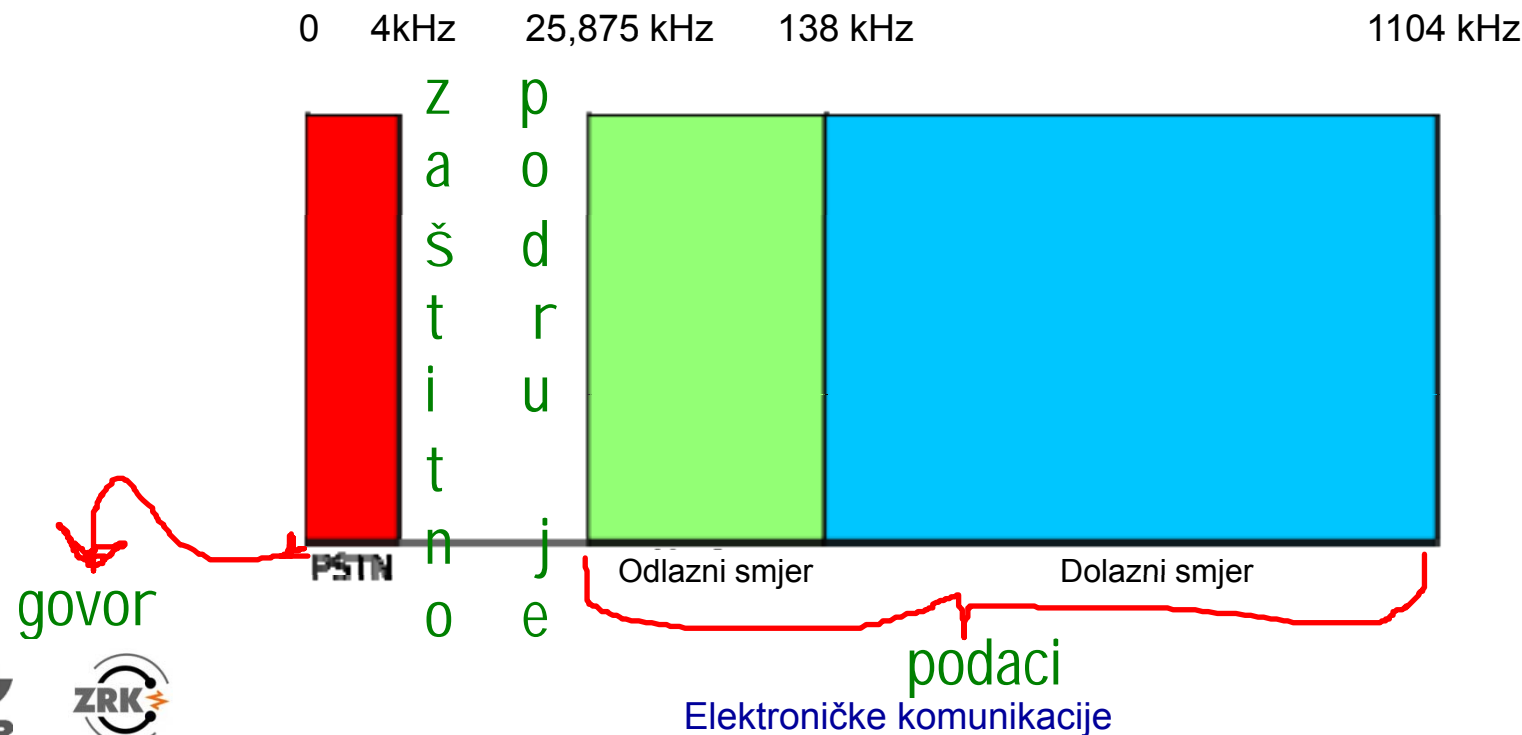
- norme za ADSL
 - postoje dvije temeljne norme za ADSL
 - ITU-T G.992.1 koja se naziva **G.DMT**
 - ITU-T G.992.2 koja se naziva **G.Lite**
 - obje norme se temelje na primjeni OFDM (DMT) postupka modulacije, ali se razlikuju po širini frekvencijskog pojasa
 - temeljna razlika je u tome što G.Lite ne rabi razdjelnik između telefona i G.Lite ADSL modema
 - umjesto razdjelnika rabi mikrofilar koji instalira sam korisnik
 - smanjeni troškovi ugradnje jer nema troškova za dolazak do korisnika
 - mikrofilar se postavlja između telefonske priključnice i telefona/ADSL modema
 - mikrofilar za telefon je niskopropusni filtar koji prigušuje frekvencije iznad 4 kHz
 - mikrofilar za ADSL modem je visokopropusni filtar koji prigušuje frekvencije ispod 26 kHz



Digitalne pretplatničke linije

- G.DMT ADSL

- koristi dva odvojena frekvencijska područja za dolazni smjer prema korisniku i odlazni smjer od korisnika prema centrali
 - 25,875 kHz – 138 kHz za odlazni smjer
 - 138 kHz – 1104 kHz za dolazni smjer

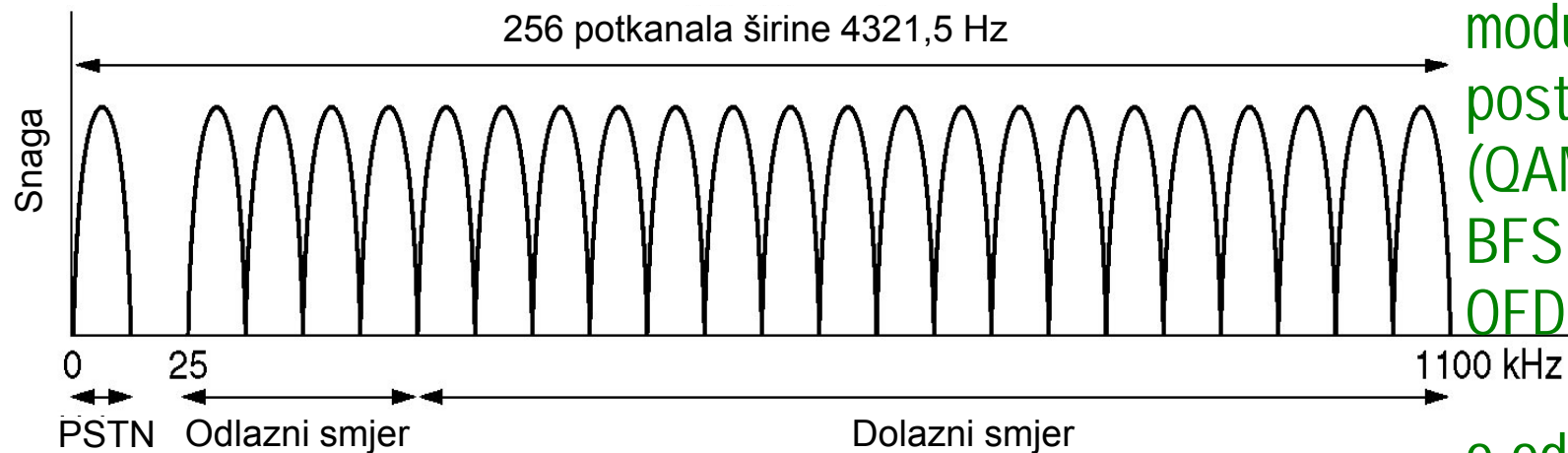


digitalni više smeta analognom nego obrnuto (jer ima više frekv. komponenti od anal.) pa ga analogni vidi kao šum

stoga zašt. područje
© FER, ZRK

Digitalne pretplatničke linije nije potrebno znati brojke

- raspoloživo frekvencijsko područje dijeli se 256 potkanala širine 4312,5 Hz
- potkanal 0 rabi se za prijenos govornog signala
- potkanali 1 – 5 (područje od 4 kHz do $6 \times 4312,5 \text{ Hz} = 25,875 \text{ kHz}$) se ne rabe kako bi se govorni signal što bolje odvojio od podataka
- od preostalih 250 potkanala, dva se rabe za upravljanje (po jedan za svaki smjer prijenosa), tako da za korisničke podatke preostaje 248 potkanala



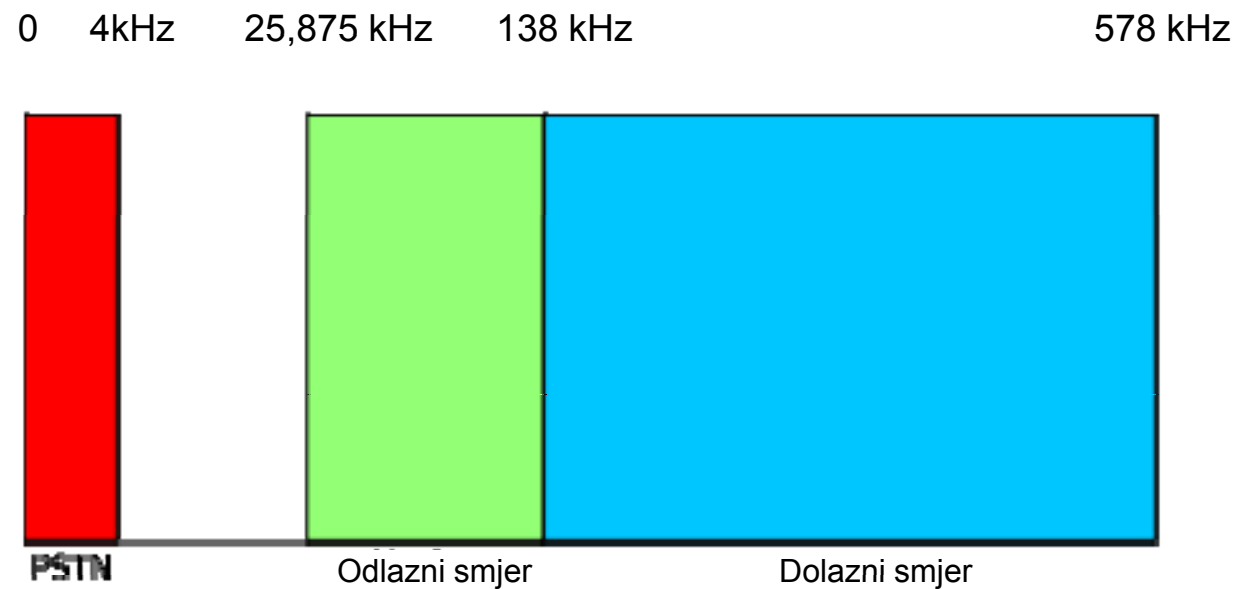
brzina ovisi o
modulacijskom
postupku
(QAM > QPSK >
BFSK), koji
OFDM koristi,
te
o odnosu S/N

Digitalne pretplatničke linije

- davatelj usluge može odrediti koliko potkanala će se rabiti za prijenos prema centrali, a koliko prema korisniku
- unutar svakog potkanala rabi se modulacijski postupak QAM s 0 – 15 bit/simbol, brzina 4000 Bd
 - npr. ukoliko se za prijenos prema korisniku rabi 224 potkanala s 15 bit/simbol brzina prijenosa za dolazni smjer je:
 $224 \times 4000 \text{ Bd} \times 15 \text{ bit/simbol} = 13,44 \text{ Mbit/s}$
 - u praksi odnos C/N ne dopušta tako visoku brzinu prijenosa
 - stvarna najveća brzina u dolaznom smjeru je oko 8 Mbit/s
- tijekom uspostavljanja veze ADSL modem provjerava potkanale i određuje koji od njih ima zadovoljavajući C/N (pomoć u pilotskih k. u OFDM-u)
- u skladu sa stanjem linije podešava se brzina prijenosa u potkanalu ili se određeni potkanali ne koriste
- brzine prijenosa u potkanalima mogu se međusobno razlikovati

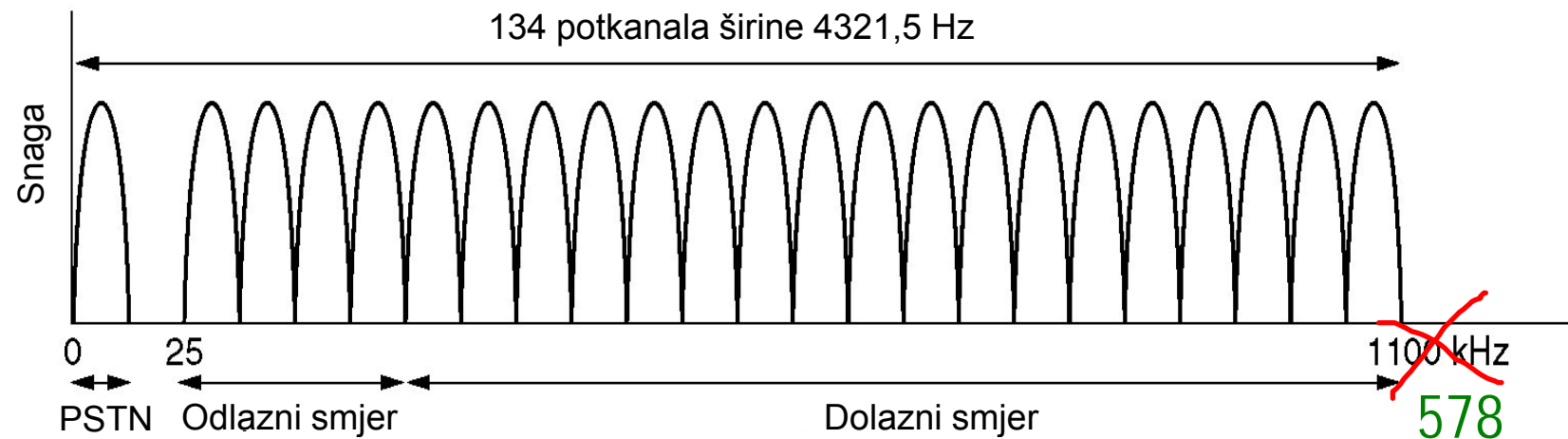
Digitalne pretplatničke linije nevažne brojke

- G.Lite ADSL
 - širina frekvencijskog pojasa smanjena je u odnosu na G.DMT
 - 25,875 kHz – 138 kHz za odlazni smjer
 - 138 kHz – 578 kHz za dolazni smjer



Digitalne pretplatničke linije nevažne brojke

- raspoloživo frekvencijsko područje dijeli se 134 potkanala širine 4312,5 Hz
- kanal 0 rabi se za prijenos govornog signala
- za korisničke podatke rabi se 127 potkanala
 - 25 potkanala za odlazni smjer
 - 102 potkanala za dolazni smjer



Digitalne pretplatničke linije

- brzina prijenosa prema korisniku iznosi 1,5 Mbit/s, a od korisnika 512 kbit/s
- G.Lite modem detektira aktivnost uređaja koji rade u govornom području na zajedničkoj liniji i smanjuje brzinu prijenosa kako bi se smanjilo preslušavanje između G.Lite modema i ostalih korisničkih uređaja
- donja granica brzine prijenosa nije definirana tako da nije preporučljivo govoriti o zajamčenoj brzini prijenosa G.Lite modema
- kada detektira da je neki uređaj (telefon, faks) aktivan, G.Lite modem prekida slanje podataka na nekoliko sekundi da bi smanjio brzinu prijenosa
- to može izazvati poteškoće protokolima viših slojeva

Digitalne pretplatničke linije

- format okvira i superokvira

- superokvir sadrži 68 okvira za podatke + 1 sinkronizacijski okvir

- superokvir se šalje svakih 17 ms

- apsolutne veličine okvira i superokvira nisu definirane jer se brzina prijenosa u ADSL sustavu mijenja

nevažno

- okvir se sastoji iz dva dijela

- podaci iz međuspremnika za brzi prijenos (*fast data buffer*)

- sadrži podatke osjetljive na kašnjenje (prijenos govora i videosignala)

- prethodi mu poseban oktet (*fast byte*) koji prenosi bitove za upravljanje

- iza ovog dijela okvira slijedi područje za upravljanje pogreškama (FEC)

- podaci iz međuspremnika s isprepletenim podacima (*interleaved data buffer*)

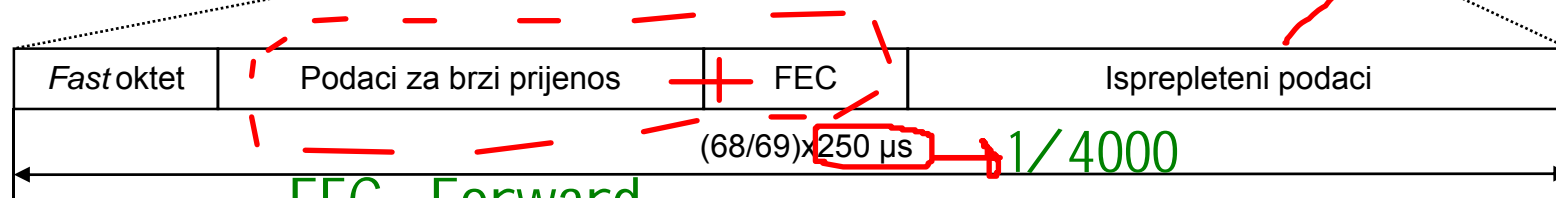
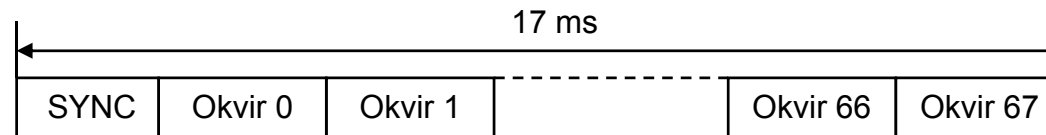
- radi povećanja otpornosti na pogreške podaci su isprepleteni

- postupak ispreplitanja unosi kašnjenje

- ovaj dio okvira služi za podatkovne aplikacije kao što je npr. pristup Internetu

Digitalne pretplatničke linije

- format okvira i superokvira
 - sinkronizacijski okvir (SYNC) dodaje OFDM modulator radi određivanja granica superokvira
 - iza SYNC okvira slijede okviri 0 i 1 koji se rabe za upravljanje pogreškama i nadzor veze
 - superokvir sadrži 69 okvira, tako da se okvir šalje svakih $(68/69) \times 250 \mu s$
 - kako bi se održala brzina prijenosa od 4000 okvira za podatke u sekundi, postupak ukupna brzina prijenosa okvira je povećana na $(69/68) \times 4000$ okvira u sekundi



FEC=Forward
Error

Elektroničke komunikacije

Correction; zaštita brzih bita

skupna greška se
raspršuje, no

postupak

unos kašnjenja

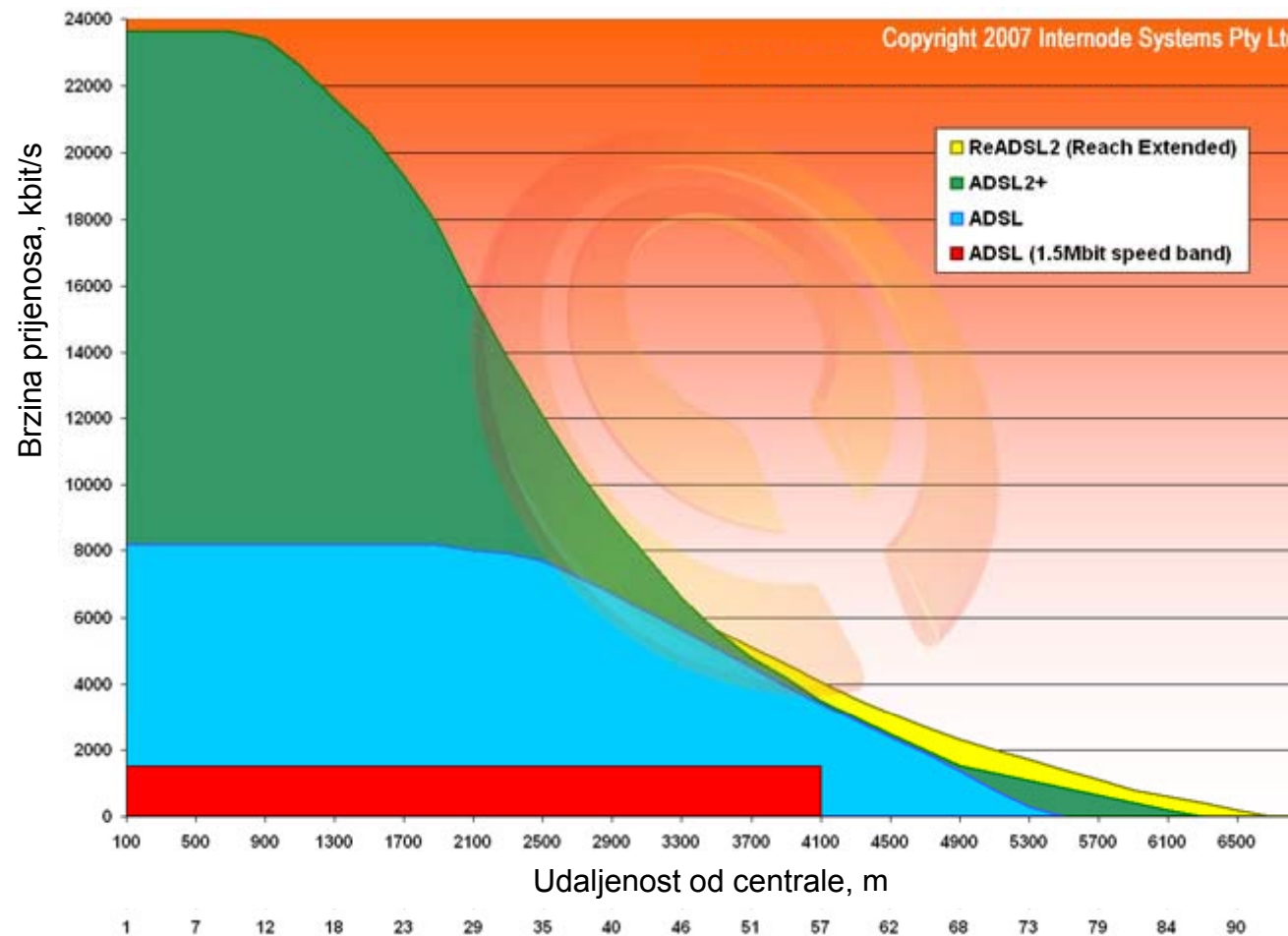
Digitalne pretplatničke linije

nevažne brojke, samo pro
nabrzinu

- daljnji razvoj ADSL normi
 - ADSL2
 - veća djelotvornost modulacijskog postupka
 - brzina prijenosa u odlaznom smjeru od korisnika prema centrali povećana je na 1 Mbit/s
 - brzina prijenosa u dolaznom smjeru povećana je na 12 Mbit/s
 - RE ADSL2 (RE, *Reach Extended*)
 - svrha: povećanje dometa u odnosu na ADSL2
 - povećanje snage signala i smanjenje širine pojasa
 - dolazni smjer: 552 kHz
 - povećanje spektralne gustoće snage signala od 3 dB u odnosu na ADSL2
 - u dolaznom smjeru omogućava prijenos brzinom od 768 kbit/s na udaljenosti 5,7 km
 - odlazni smjer: 78 kHz ili 35 kHz (povećanje spektralne gustoće snage signala od 1,6 dB ili 5,1 dB u odnosu na ADSL2)
 - ADSL2+
 - rabi širinu frekvencijskog područja od 2,2 MHz (umjesto 1,1 MHz u ADSL)
 - brzina prijenosa u dolaznom smjeru je povećana na 20 Mbit/s za linije duljine 1,5 km
 - brzina prijenosa u odlaznom smjeru od korisnika prema centrali ostaje ista kao kod ADSL2

Digitalne pretplatničke linije

- usporedba ADSL normi



Digitalne pretplatničke linije

- VDSL

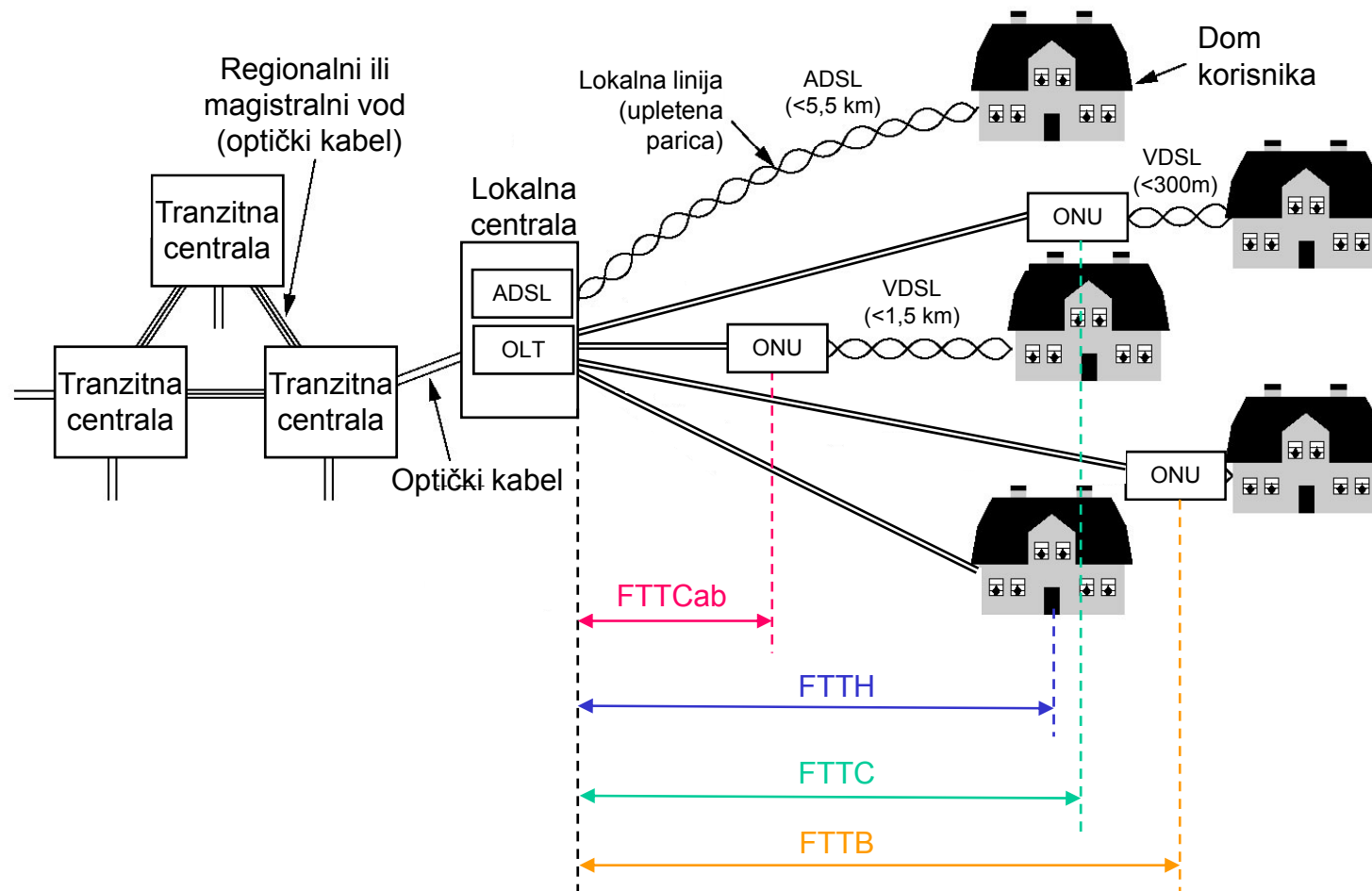
- rabi se u pristupnim mrežama gdje je optički kabel doveden u lokalnu petlju (FITL, *Fiber in the Loop*)
- omogućava prijenos signala upletenom paricom vrlo visokim brzinama (do 55 Mbit/s) na kratkim udaljenostima (do 300 m)
- za veće prijenosne udaljenosti brzina prijenosa se smanjuje
- optička mrežna jedinica (ONU, *Optical Network Unit*) je mjesto u mreži gdje se provodi optoelektrička i elektrooptička pretvorba
 - od ONU u smjeru prema korisniku prenosi se električki signal
 - od ONU u smjeru prema mreži prenosi se optički signal
- optički kabeli povezuju optičko linijsko zaključenje (OLT, *Optical Line Termination*) u centrali s optičkim mrežnim jedinicama (ONU) koje se nalaze u blizini korisnika
- optičke pristupne tehnologije (FTTx, *Fiber to the x*) razlikuju se po mjestu u mreži gdje se nalazi ONU → skupi dio, optički kabeli nisu skupi

Digitalne pretplatničke linije ; nije toliko važno

- FTTx tehnologije
 - optički kabel do ormarića udaljenog 300 – 1500 m od korisnika (FTTCab/FTTN, FTT *Cabinet*/FTT *Node*)
 - optički kabel se dovodi do skupine korisnika (do 300) gdje se nalazi ONU
 - signali se nakon ONU distribuiraju do korisnika putem VDSL modema i upletene parice
 - optički kabel do ormarića udaljenog manje od 300 m od korisnika (FTTC, FTT *Curb*)
 - optički kabel se dovodi do skupine korisnika (do 100) gdje se nalazi ONU
 - optički kabel do većeg stambenog objekta (FTTB, FTT *Building*)
 - inačica FTTC gdje je ONU smješten u stambenom objektu s više korisnika
 - optički kabel do doma korisnika (FTTH, FTT *Home*)
 - krajnja faza sveoptičke pristupne mreže
 - svjetlovod se dovodi do pojedinih korisnika i nema potrebe za telefonskom paricom
- za VDSL rabe se tehnologije u kojima optički kabel dolazi do lokalne centrale (FTTEx, FTT *Exchange*), FTTCab i FTTC

Digitalne pretplatničke linije

- optičke pristupne tehnologije i VDSL



Digitalne pretplatničke linije

- VDSL
 - podržava simetrični i asimetrični prijenos u frekvencijskom području od 200 kHz do 30 MHz
 - način podjele raspoloživog frekvencijskog područja ovisi o brzini prijenosa te tome da li rabi simetrični ili asimetrični prijenos
 - VDSL podržava različite širine raspoloživog frekvencijskog područja kako bi se omogućila prilagodba različitim uslugama i strukturama mreže
- VDSL2- druga generacija VDSL sustava
 - podržava brzine prijenosa do 100 Mbit/s istodobno u dolaznom i odlaznom smjeru na udaljenostima do 300 m
 - povećanjem prijenosne udaljenosti značajke prijenosa su degradirane
 - na udaljenosti 500 m brzina prijenosa je 50 Mbit/s u svakom smjeru
 - na udaljenosti 1 km brzina prijenosa je 25 Mbit/s u svakom smjeru
 - na udaljenostima većim od 1,5 km značajke se približavaju značajkama ADSL2+ sustava

Digitalne pretplatničke linije

⁷³ samo zapamtiti da su brzine
50-100 Mbit/s, ostalo je nevažno

- profili VDSL2 sustava za simetrični prijenos

Širina pojasa (MHz)	Broj potkanala	Razmak između podnositelja (kHz)	Najveća brzina prijenosa (Mbit/s)
8,832	2048	4,3125	50
8,832	2048	4,3125	50
8,5	1972	4,3125	50
8,832	2048	4,3125	50
12	2783	4,3125	68
12	2783	4,3125	68
17,664	4096	4,3125	100
30	3479	8,625	100