



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
Fakultet
elektrotehnike i
računarstva

Preddiplomski studij

Računarstvo

Ak.g. 2023/2024.

Komunikacijske mreže

7. Pristup Internetu.

Transportni sloj.

Transportni protokoli u Internetu:

TCP i UDP. (1. dio)



slobodno smijete:

- **dijeliti** — umnožavati, distribuirati i javnosti priopćavati djelo
- **remiksirati** — prerađivati djelo

pod sljedećim uvjetima:

- **imenovanje**. Morate priznati i označiti autorstvo djela na način kako je specificirao autor ili davatelj licence (ali ne način koji bi sugerirao da Vi ili Vaše korištenje njegova djela imate njegovu izravnu podršku).
- **nekomercijalno**. Ovo djelo ne smijete koristiti u komercijalne svrhe.
- **dijeli pod istim uvjetima**. Ako ovo djelo izmijenite, preoblikujete ili stvarate koristeći ga, preradu možete distribuirati samo pod licencom koja je ista ili slična ovoj.

U slučaju daljnjeg korištenja ili distribuiranja morate drugima jasno dati do znanja licencijske uvjete ovog djela. Najbolji način da to učinite je poveznicom na ovu internetsku stranicu.

Od svakog od gornjih uvjeta moguće je odstupiti, ako dobijete dopuštenje nositelja autorskog prava.

Ništa u ovoj licenci ne narušava ili ograničava autorova moralna prava.

Tekst licencije preuzet je s <http://creativecommons.org/>.

Pristup Internetu

A. Bažant, G. Gledec, Ž. Ilić, G. Ježić, M. Kos, M. Kunštić, I. Lovrek, M. Matijašević, B. Mikac, V. Sinković: Osnovne arhitekture mreža, Element, 2007.

4. Pristupne mreže

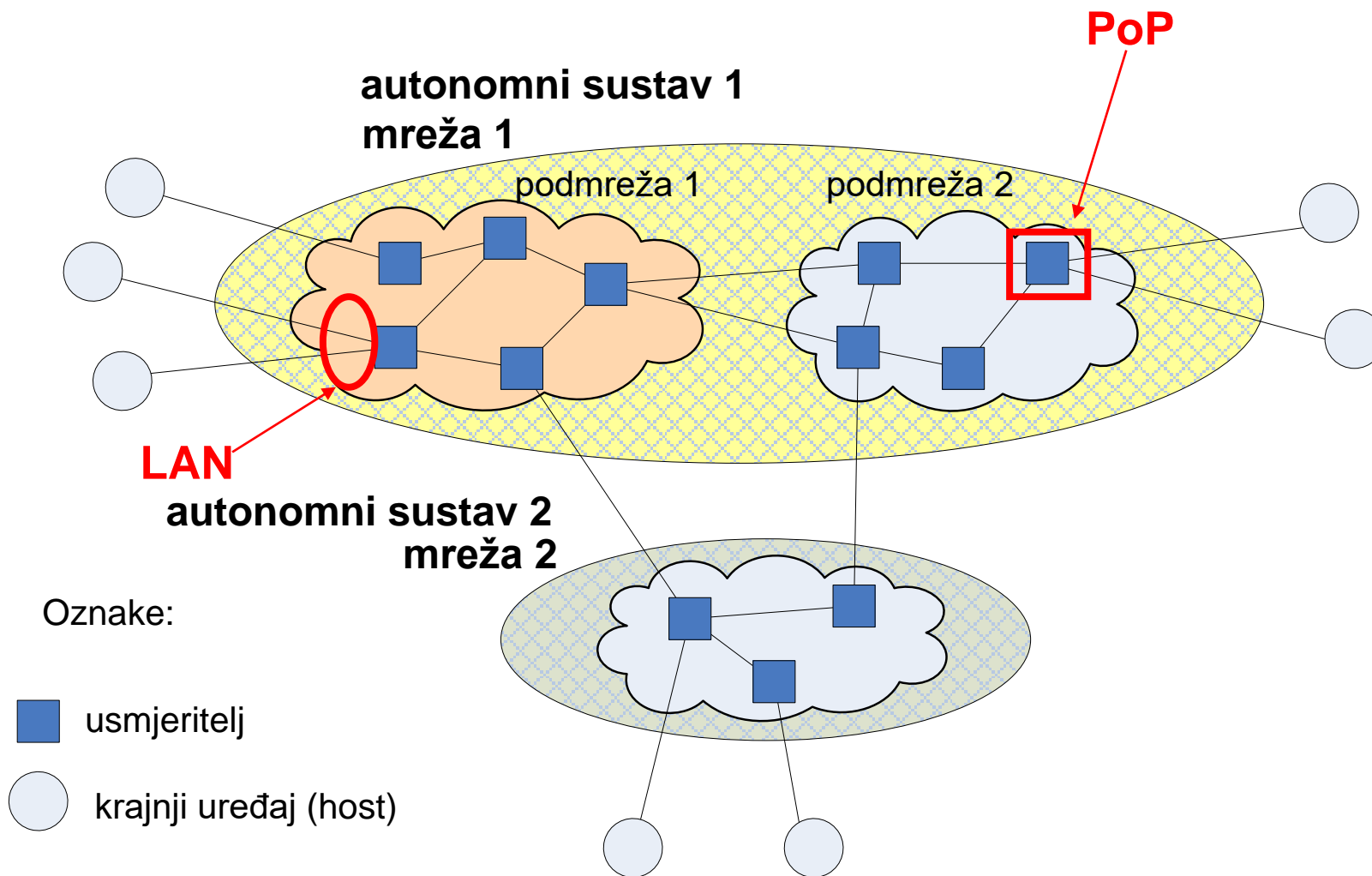
8. Pokretljivost u mrežama

Pristup Internetu (*engl. Internet Access*):

- ◆ spajanje krajnjeg sustava (*engl. End System*), npr. računala kojim se izvode usluge i aplikacije (*engl. host*) ili drugog uređaja, na Internet

Ostvarivanje pristupa Internetu:

- ◆ lokalnom mrežom koja je dio/podmreža autonomnog sustava Interneta ili
- ◆ povezivanjem do točke u autonomnom sustavu putem koje se spaja na Internet – točka prisutnosti IP-a (*engl. IP Point of Presence, IP PoP* ili kraće PoP):
 - „kroz” fiksnu ili pokretnu mrežu



**Lokalna mreža je podmreža
autonomnog sustava**

Usluge i aplikacije
TCP, UDP
IP
LLC MAC
Fizički sloj

- ◆ krajnji sustav komunicira paketski s drugim krajnjim sustavima i usmjeriteljem kojim se povezuje s drugim mrežama
- ◆ IP-datagram se prenosi u polju podataka okvira podatkovne poveznice, npr. Ethernetskog okvira

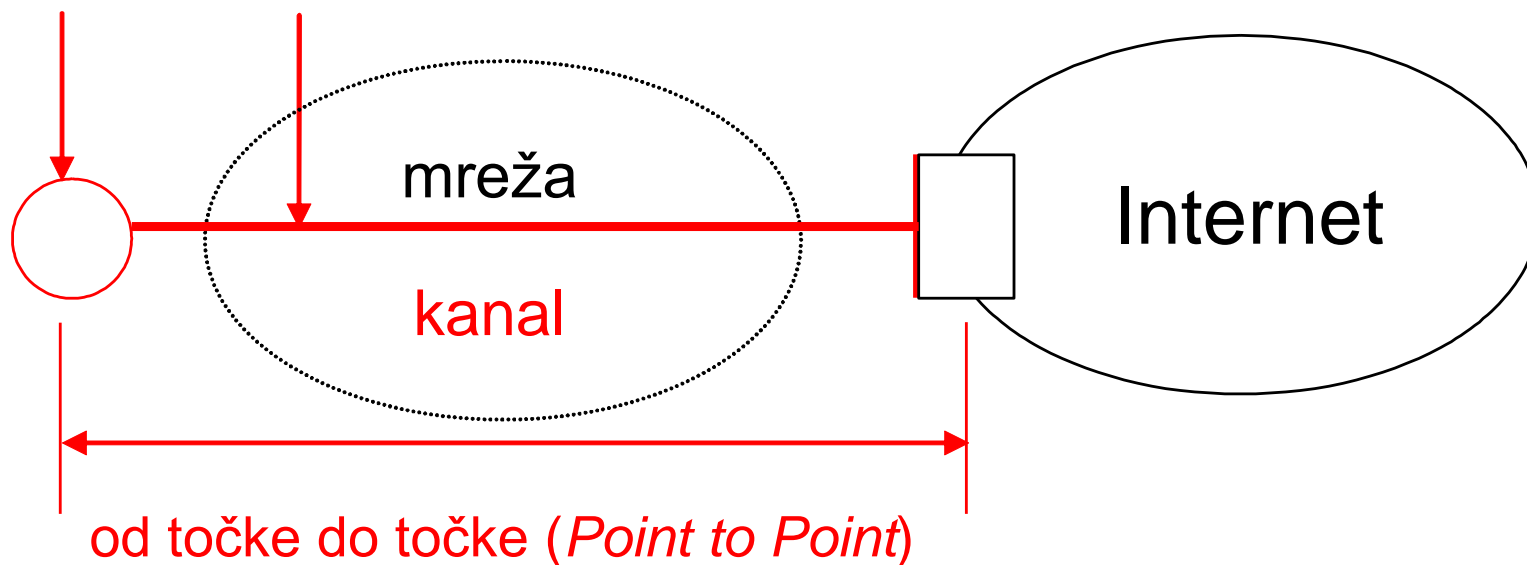
Pristup Internetu kanalom kroz fiksnu mrežu (tzv. “fiksni pristup”):

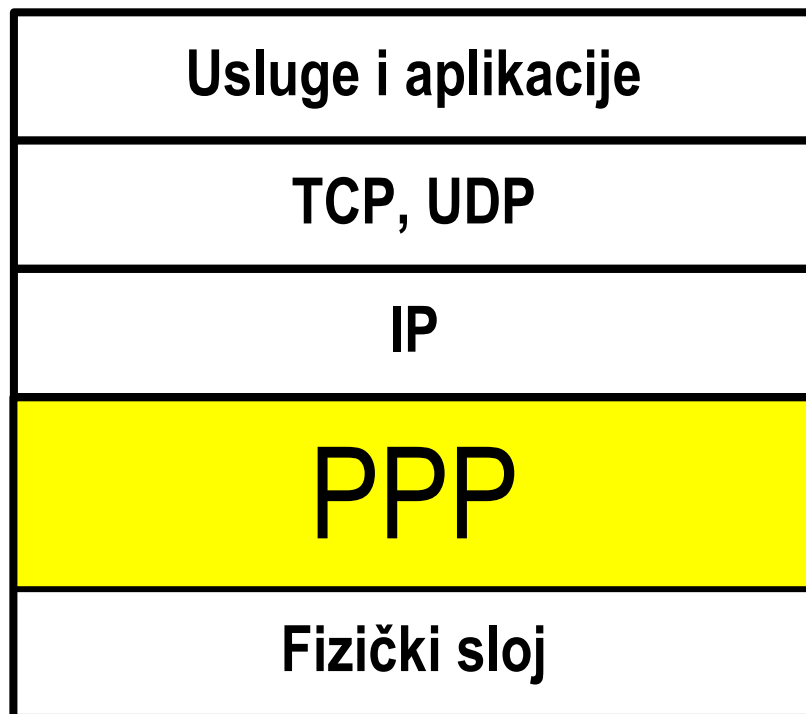
- ♦ od točke na kojoj je krajnji sustav do točke putem koje se spaja na Internet
- ♦ problem: dovesti IP do krajnjeg sustava i dodijeliti mu IP-adresu

IP

adresa?

IP?



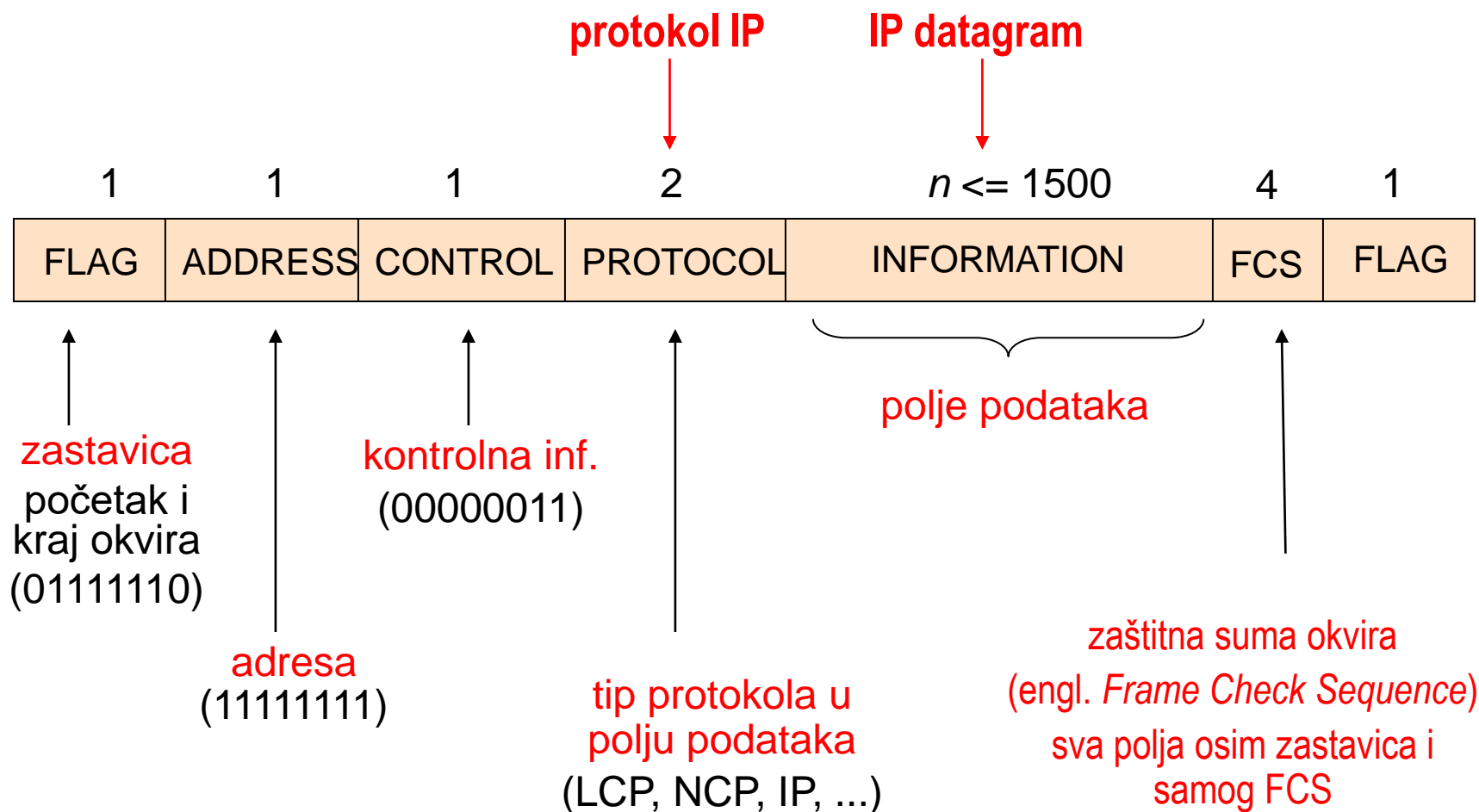


PPP

(Point to Point Protocol)

- ♦ prijenos paketa kanalom od točke na kojoj je krajnji sustav do točke u autonomnom sustavu kojom se ostvaruje pristup Internetu
- ♦ IP-datagram se prenosi u polju podataka okvira protokola PPP
- ♦ **fizički sloj: kanal u pristupnoj mreži**

- ◆ protokol sloja podatkovne poveznice kojim se ostvaruje prijenos paketa dvosmjernim kanalom
- ◆ *byte*-orijentirani protokol
- ◆ omogućuje rad s različitim mrežnim protokolima
- ◆ dodatna funkcionalnost za rad u IP-mreži:
 - dinamička dodjela IP-adresa
 - ovjera (utvrđivanje autentičnosti)



Protokol za kontrolu poveznice (engl. *Link Control Protocol*, LCP)

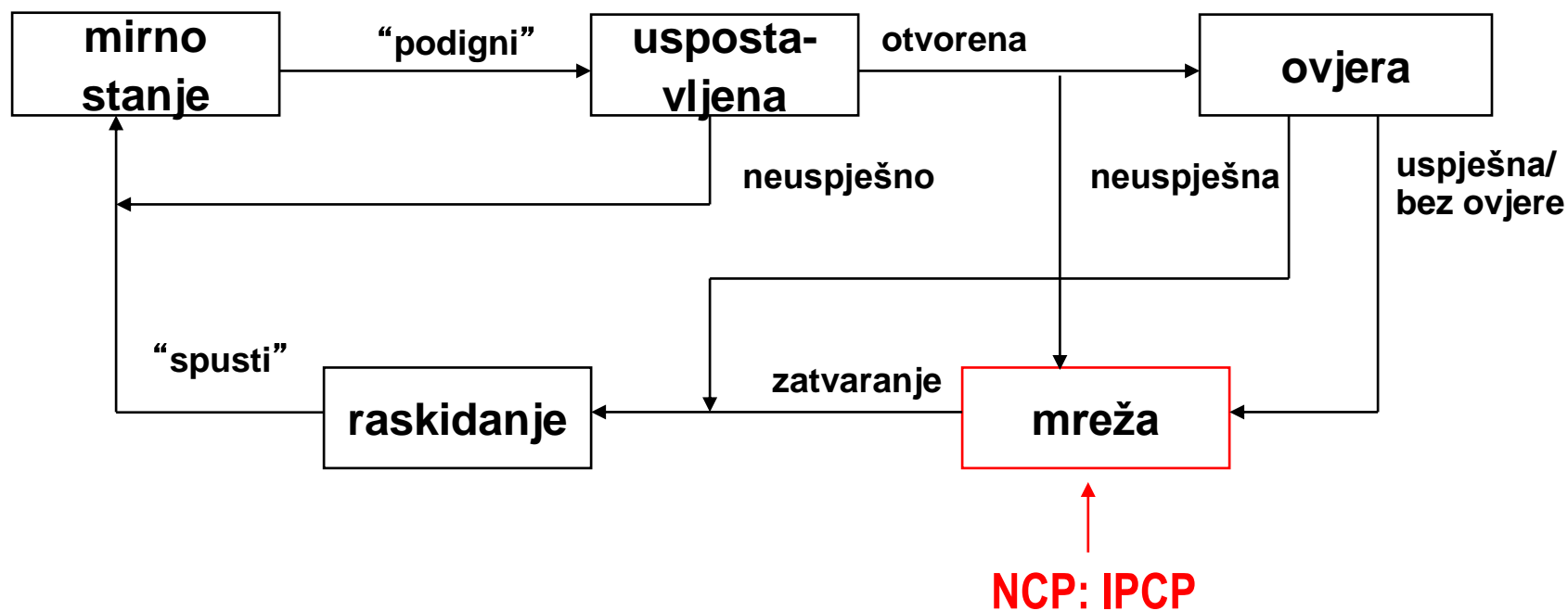
- ◆ konfiguriranje, uspostavljanje, ispitivanje i raskidanje podatkovne poveznice

Mrežni kontrolni protokol (engl. *Network Control Protocol*, NCP)

- ◆ neovisno konfiguriranje i uspostavljanje pojedinih protokola mrežnog sloja
- ◆ više NCP-ova, posebni NCP za svaki mrežni protokol
- ◆ IPCP (*IP Control Protocol*)

1. uspostava poveznice i pregovaranje o konfiguraciji (**LCP**)
 - npr. duljina polja podataka, komprimiranje podataka, oznaka protokola ovjere i protokola kvalitete
2. (izborno) ovjera i upravljanje kvalitetom
3. pregovaranje o konfiguraciji mrežnog sloja (**NCP = IPCP**)
 - IP-adresa, komprimiranje IP i TCP-zaglavlja
4. komunikacija na mrežnom sloju (**IP**)
5. raskidanje poveznice (**LCP**)

Automat stanja poveznice za LCP



U stanju

mreža

- ◆ Na početku komunikacije:
 - inicijalizira IP na oba kraja
 - konfigurira parametre:
 - IP-adresa (dojava vlastite adrese ili zahtjev za dinamičkom dodjelom IP-adrese iz skupa slobodnih adresa),
 - kompresija TCP/IP-zaglavlja
 - uspostavlja “vezu” na mrežnom sloju (tok IP-datagrama)
- ◆ Na kraju komunikacije:
 - zaključuje “vezu” na mrežnom sloju i
 - oslobađa privremeno dodijeljenu IP-adresu

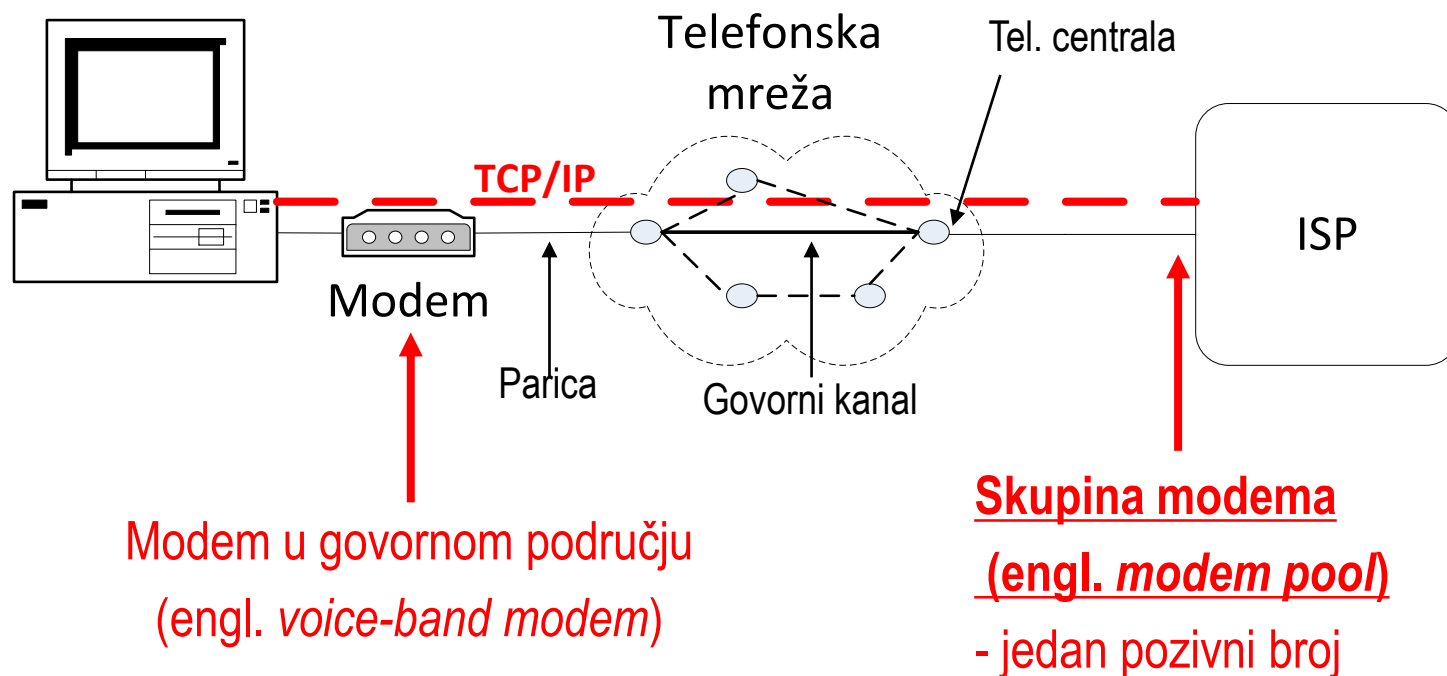
Koristi se javna komutirana telefonska mreža:

- ◆ analogni prijenos pretplatničkom petljom (engl. *Subscriber Line*, SL) – parica!
- ◆ prijenos podataka u govornom kanalu, primjena modema (***modulator demodulator***) na koji se priključuje računalo
- ◆ komunikacija u frekvencijskom pojasu 0-4 kHz,
- ◆ maksimalna brzina prijenosa 56 kbit/s,
- ◆ nemogućnost istovremenog prijenosa govora i podataka,
- ◆ pristup Internetu vezom ostvarenom pozivom, odnosno “biranjem” (“*dial-up*”)

Primjer fiksnog pristupa: telefonska mreža (2)

Postupak:

- ◆ 1. modem poziva broj davatelja internetske usluge (ISP)
- ◆ 2. PPP uspostavlja vezu (do 56 kbit/s)
- ◆ 3. računalu se dinamički dodjeljuje privremena IP-adresa

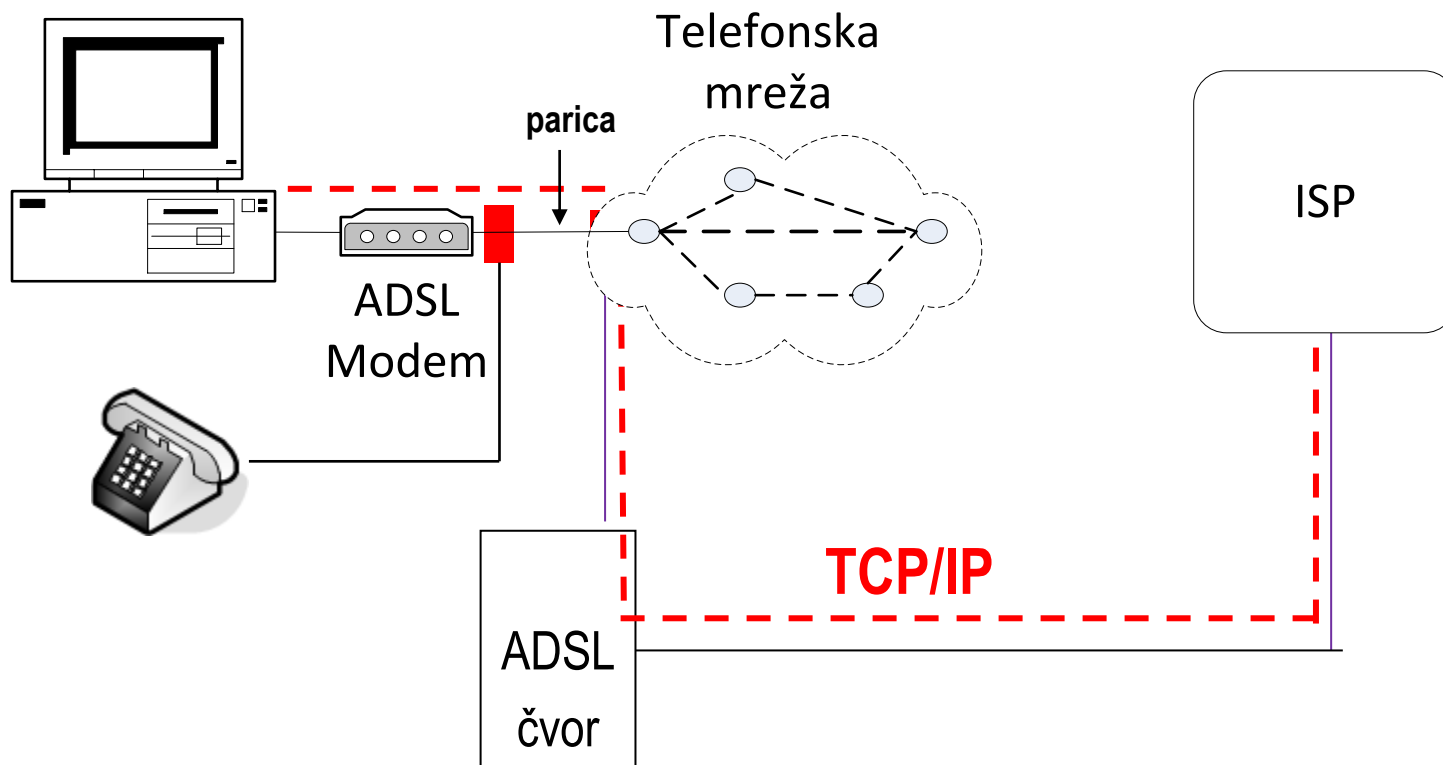


ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*):

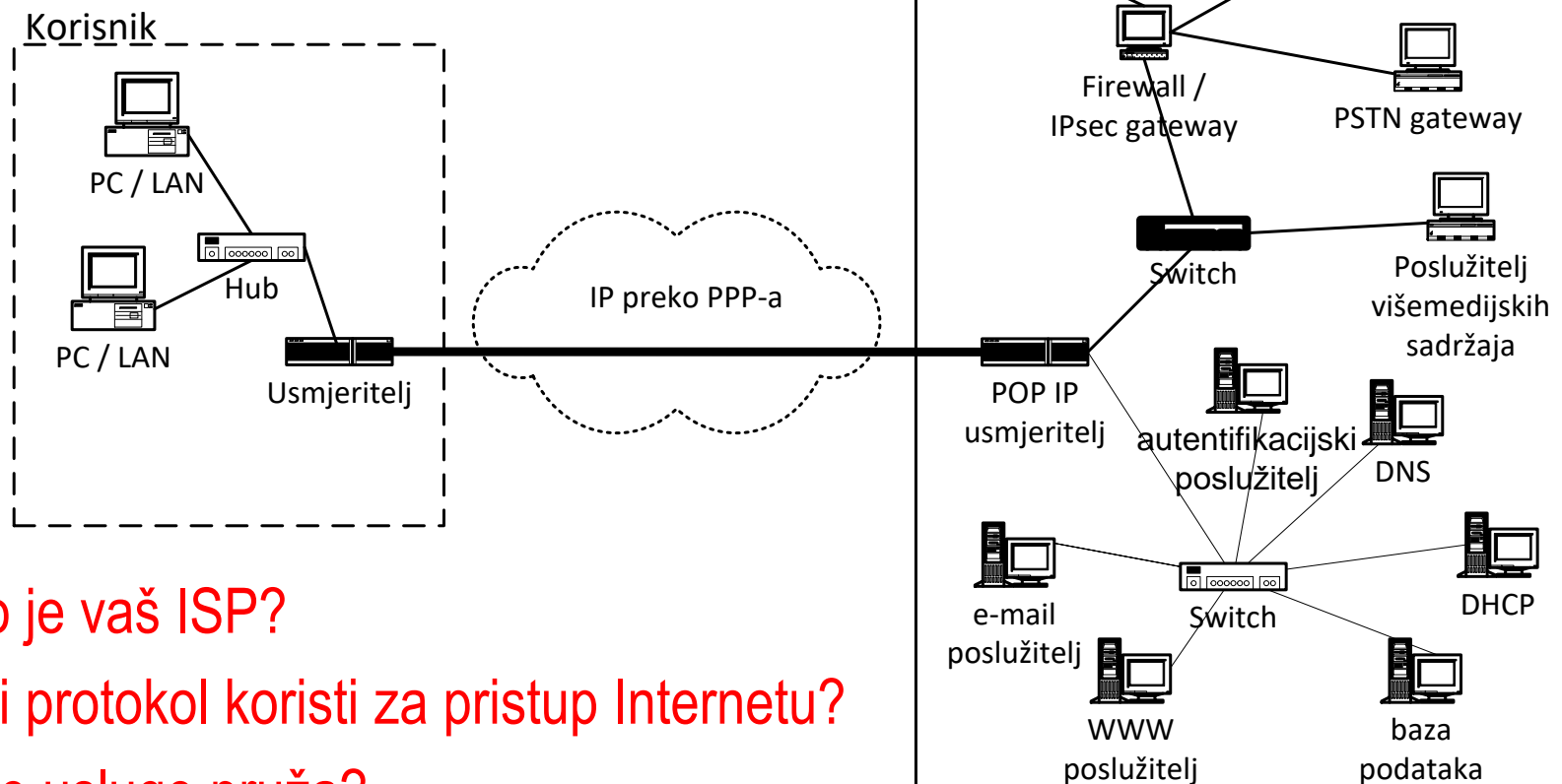
- ◆ izvodi se paricom u pristupnom dijelu telefonske mreže:
 - dolazni smjer – veća maksimalna brzina (8 Mbit/s, do 3 km)
 - odlazni smjer – manja maksimalna brzina (640 kbit/s, do 3 km)
 - osjetljivost na kvalitetu izvedbe i duljinu parice, te broj parica u kabelu s digitalnim prijenosom
- ◆ mogućnost istovremenog prijenosa govora i podataka:
 - prienos govora i podataka u frekvencijskoj podjeli
- ◆ stalna povezanost (nije potrebno uspostavljati vezu pozivom)
- ◆ ADSL2 (12 Mbit/s, 1 Mbit/s), do 1,5 km
- ◆ ADSL2+ (24 Mbit/s, 3 Mbit/s), do 1,5 km

Primjer širokopojasnog fiksnog pristupa: ADSL (2)

- ◆ Istom se paricom prenose govor i podaci koji se razdjeljuju:
 - govor: telefonski aparat – telefonska centrala
 - podaci: računalo – ADSL-čvor – Internet



ISP (*Internet Service Provider*)



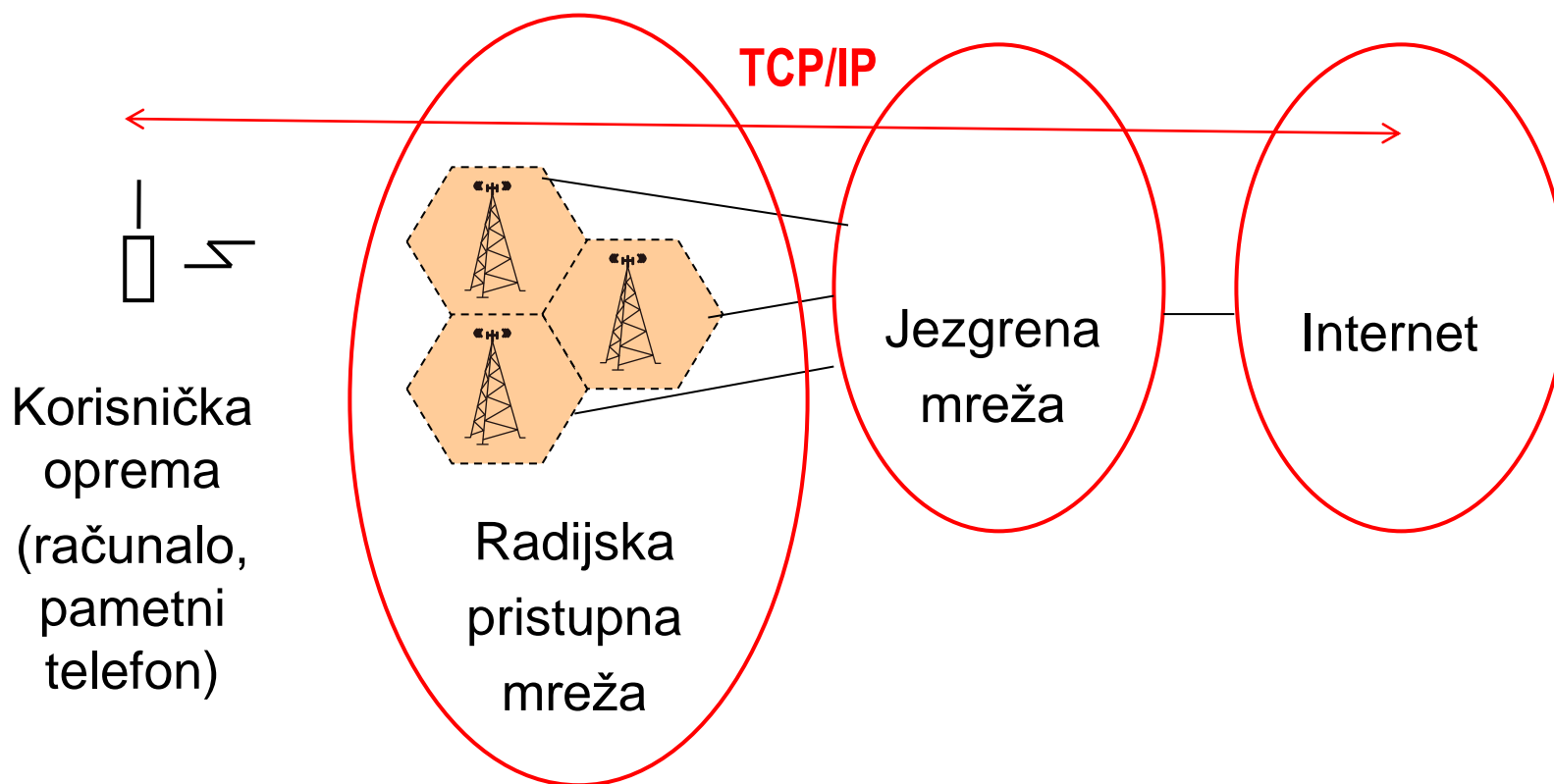
Tko je vaš ISP?

Koji protokol koristi za pristup Internetu?

Koje usluge pruža?

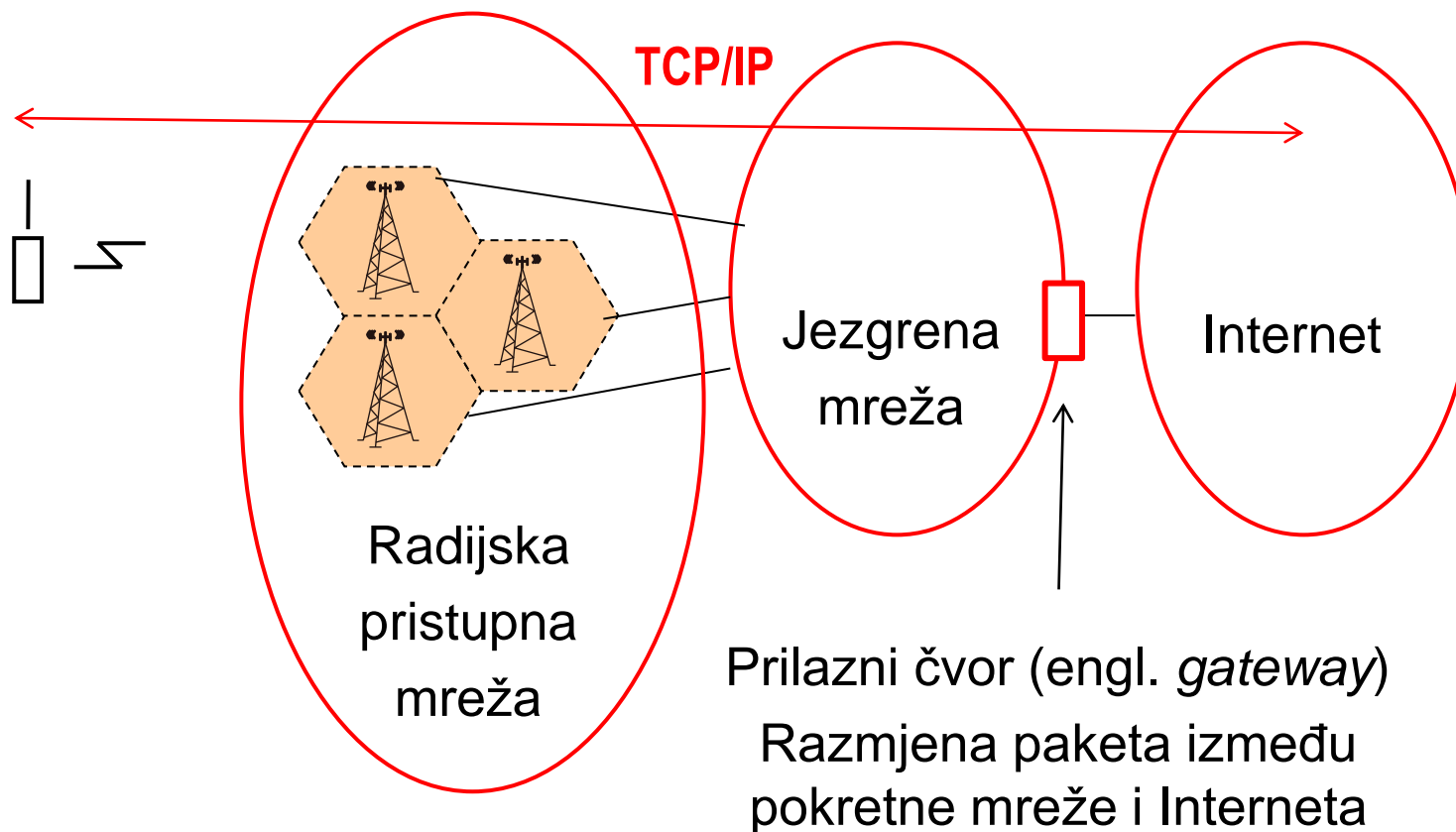
Tok paketa:

- ♦ tok paketa: korisnička oprema ↔ radijska pristupna mreža ↔ jezgrena mreža ↔ Internet



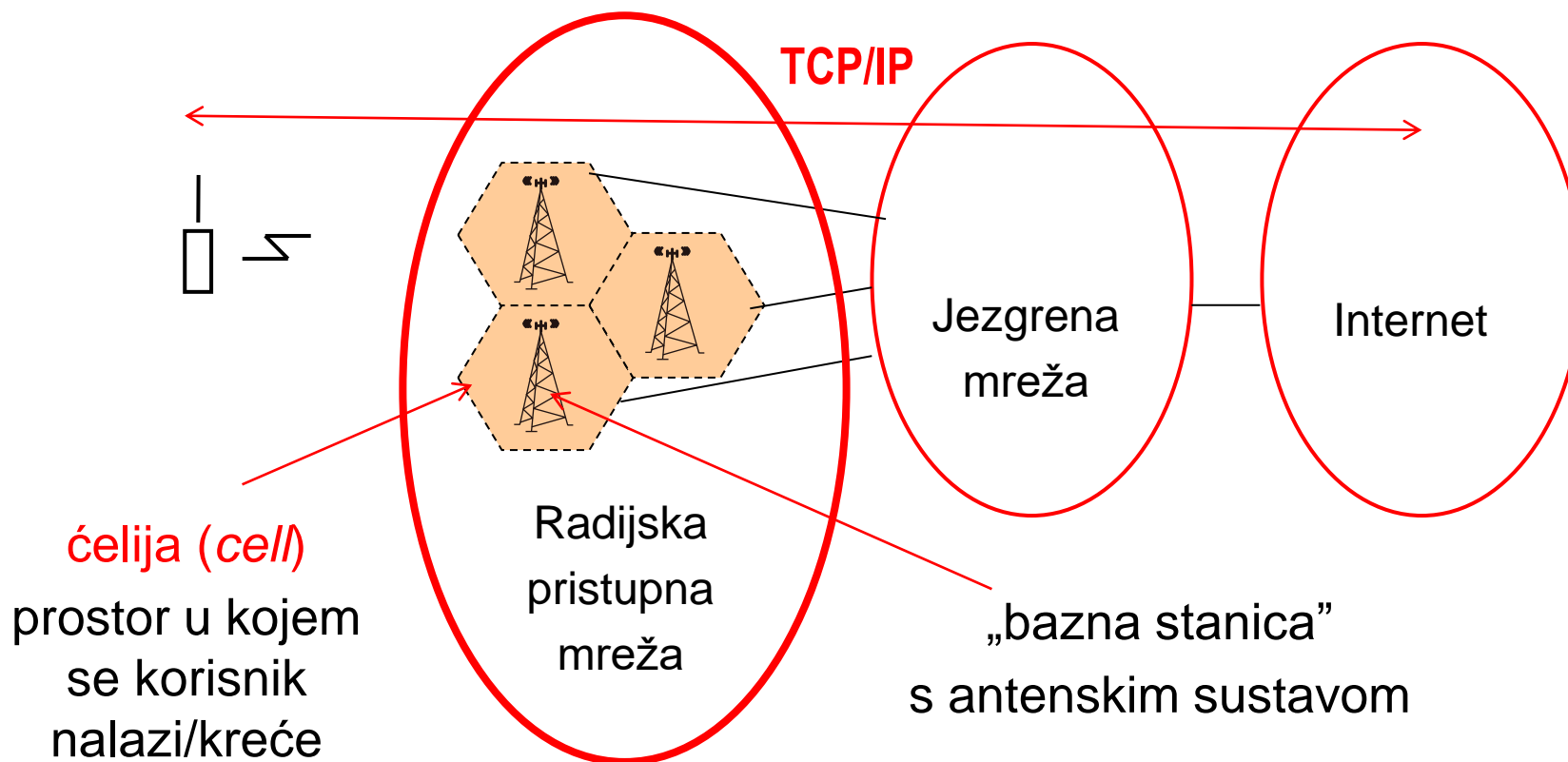
Razmjena paketa:

- ◆ Prilazni čvor: jezgrena mreža ↔ Internet



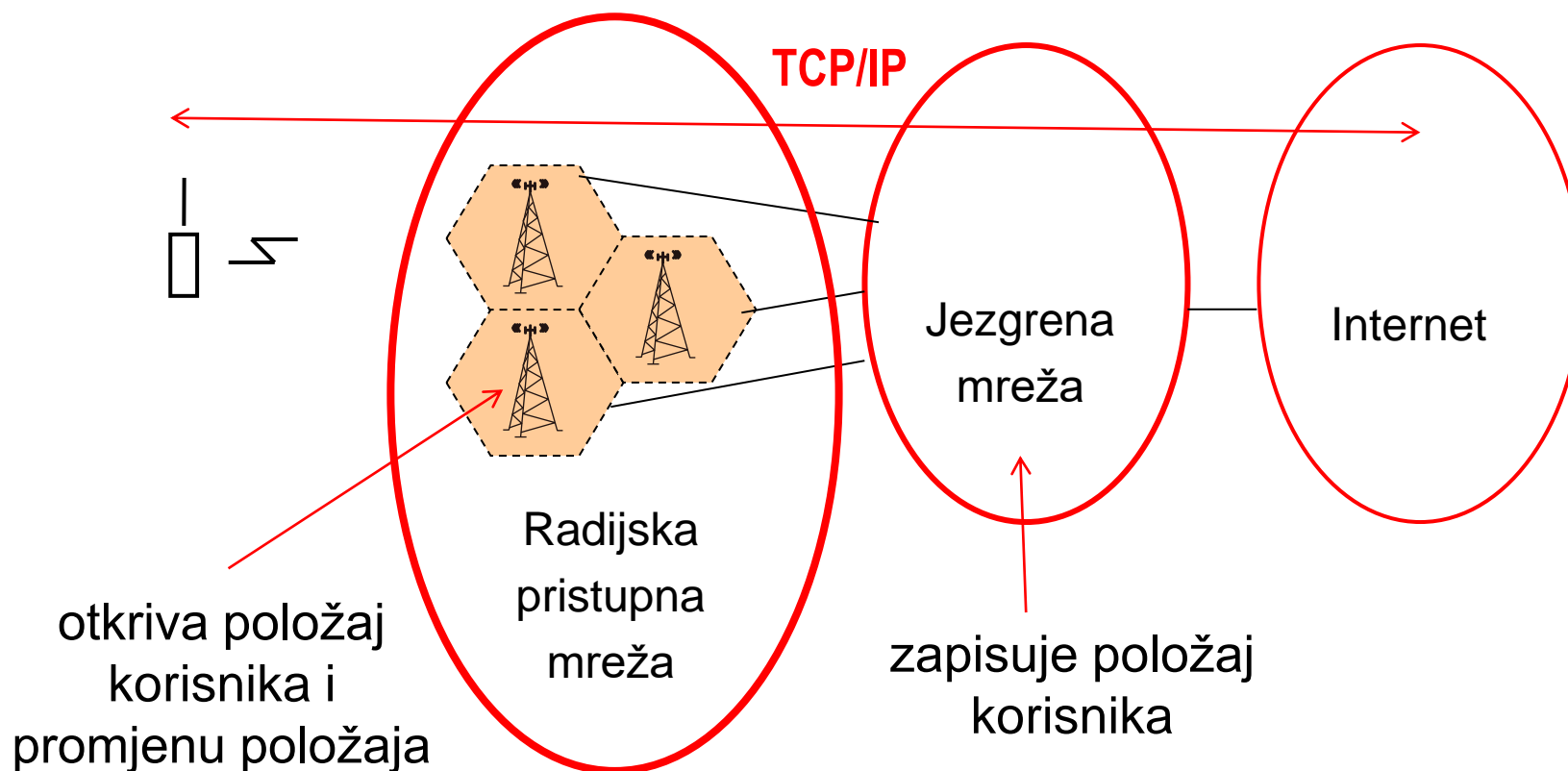
Pokretljivost:

- ◆ Problem: korisnik se kreće, a mreža treba znati u kojem se području nalazi da bi mogla usmjeravati pakete prema njemu



Upravljanje pokretljivošću:

- ♦ Pristupna mreža otkriva prostorni položaj korisnika, a jezgrena mreža ga zapisuje u posebne registre, tako da „zna” područje u kojem se nalazi



- ◆ Koji je vaš mrežni operator?
- ◆ Kojom vrstom pokretne mreže pristupate Internetu (GPRS, EDGE, UMTS, ..., LTE)?
- ◆ Kakve su teorijske brzine pristupa za tu vrstu mreža?
- ◆ Koja je razlika između pristupa Internetu bežičnom lokalnom mrežom i pokretnom mrežom?

Transportni sloj

Transportni protokoli u Internetu: TCP i UDP (1. dio)

Zadaća transportnog sloja

- ◆ Transparentan prijenos transportnih jedinica podataka od izvora do odredišta
 - s kraja na kraj mreže (engl. *end-to-end*)
 - oslanja se na mrežni sloj, pruža (spojnu ili nespojnu) uslugu višem sloju (sjednički, prezentacijski, aplikacijski)

- ◆ prijenos uz zahtijevanu kvalitetu usluge:
 - pouzdana usluga - prijenos bez pogrešaka (dodatni mehanizmi za pouzdanost)
 - prijenos uz najmanje kašnjenje (minimalno procesiranje)

◆ Usluga transportnog sloja

◆ Funkcionalnost

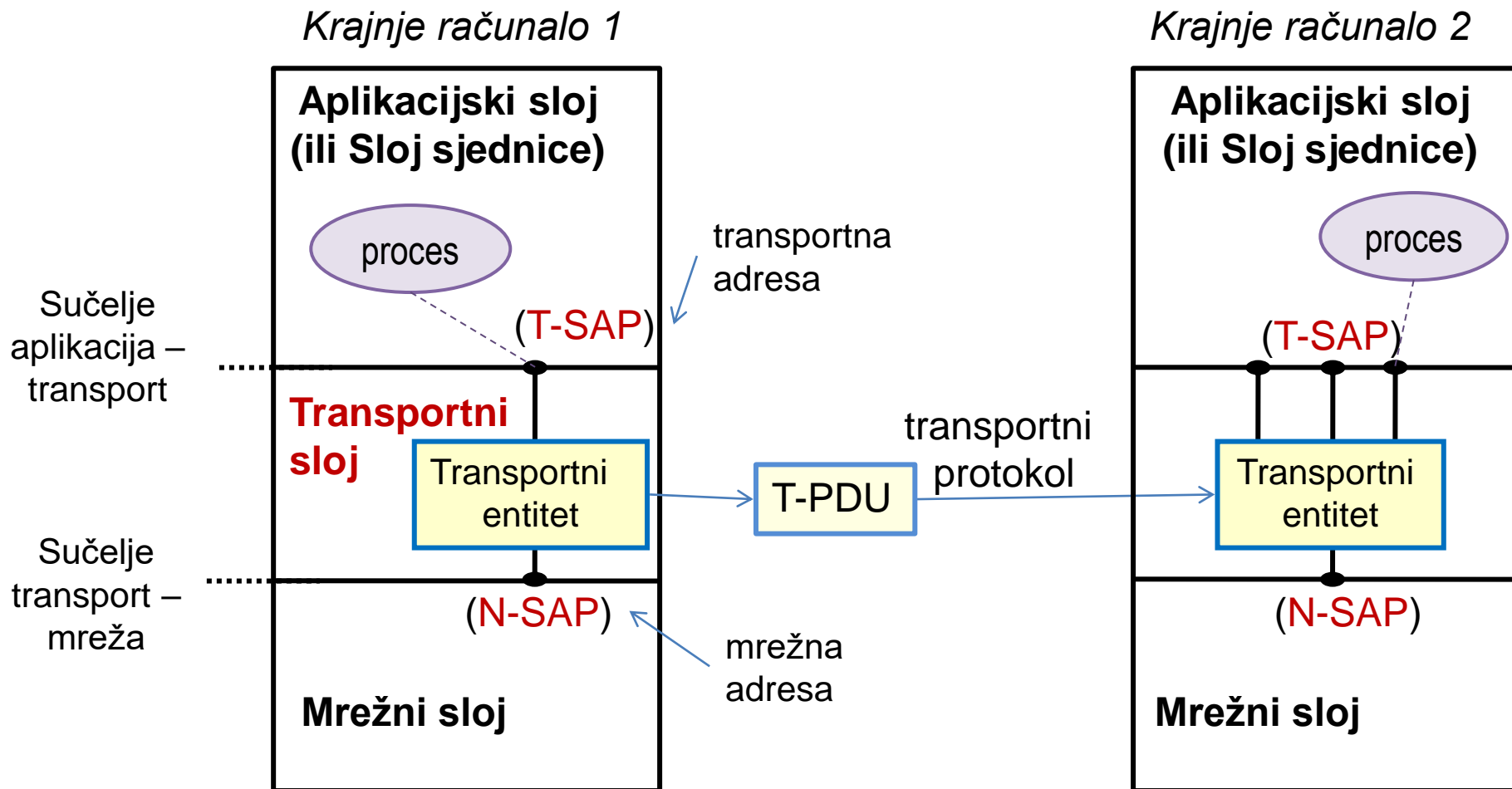
- adresiranje
- multipleksiranje
- uspostava i raskid veze
- kontrola toka i privremena pohrana
- oporavak od prekida

◆ Protokoli transportnog sloja u Internetu

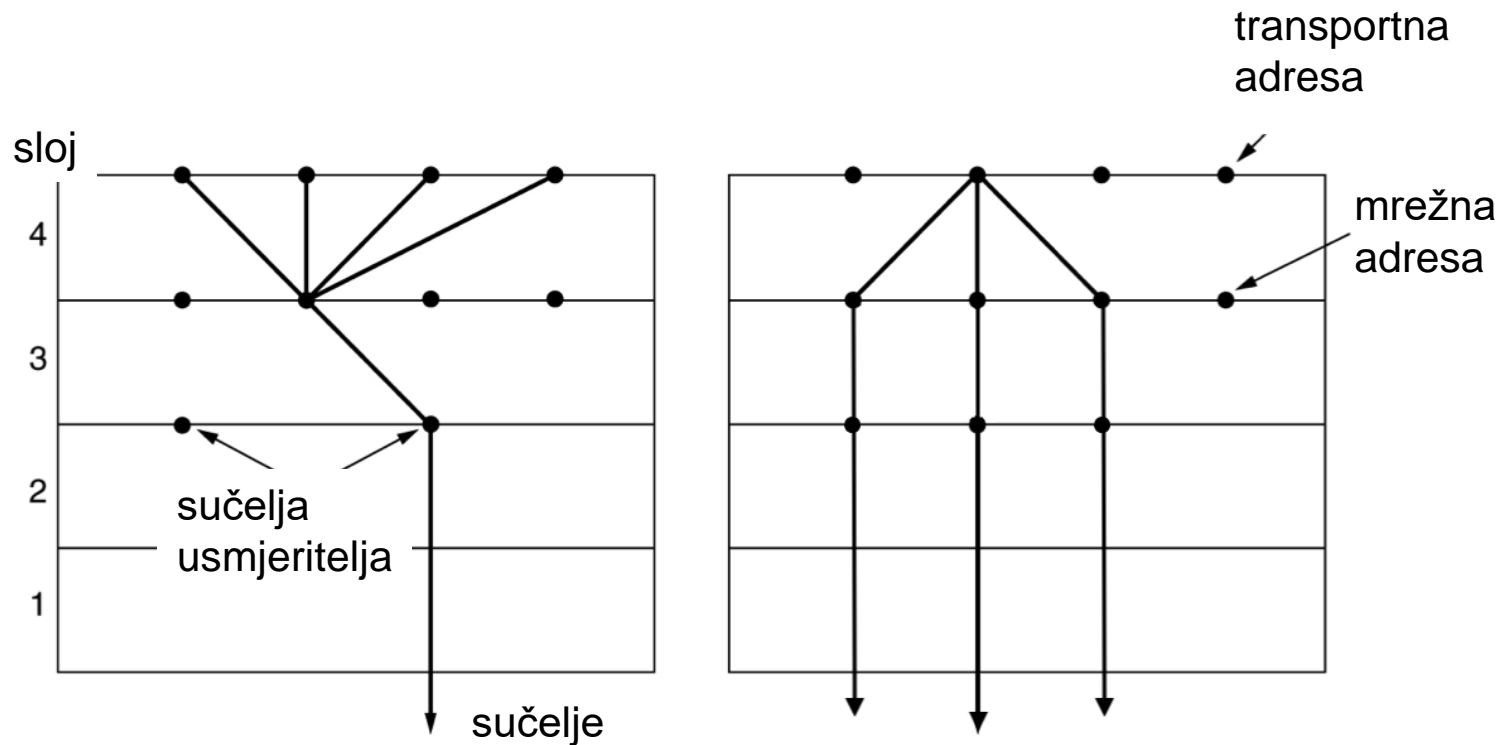
- Transmission Control Protocol
- User Datagram Protocol

- ◆ svrha: omogućiti **logičko** povezivanje procesa na krajnjim računalima
- ◆ usluga može biti spojna i nespojna
- ◆ funkcije:
 - adresiranje (na razini transportnog sloja)
 - multipleksiranje
 - uspostava i raskid veze (za spojnu uslugu)
 - kontrola toka
 - oporavak od prekida komunikacije
- ◆ “kompenzacija nedostataka” mrežnog sloja
- ◆ izbor transportnog protokola ovisit će o parametrima kvalitete usluge koje zahtijeva aplikacija!

logička veza – procesi koji komuniciraju ponašaju se kao da su izravno spojeni



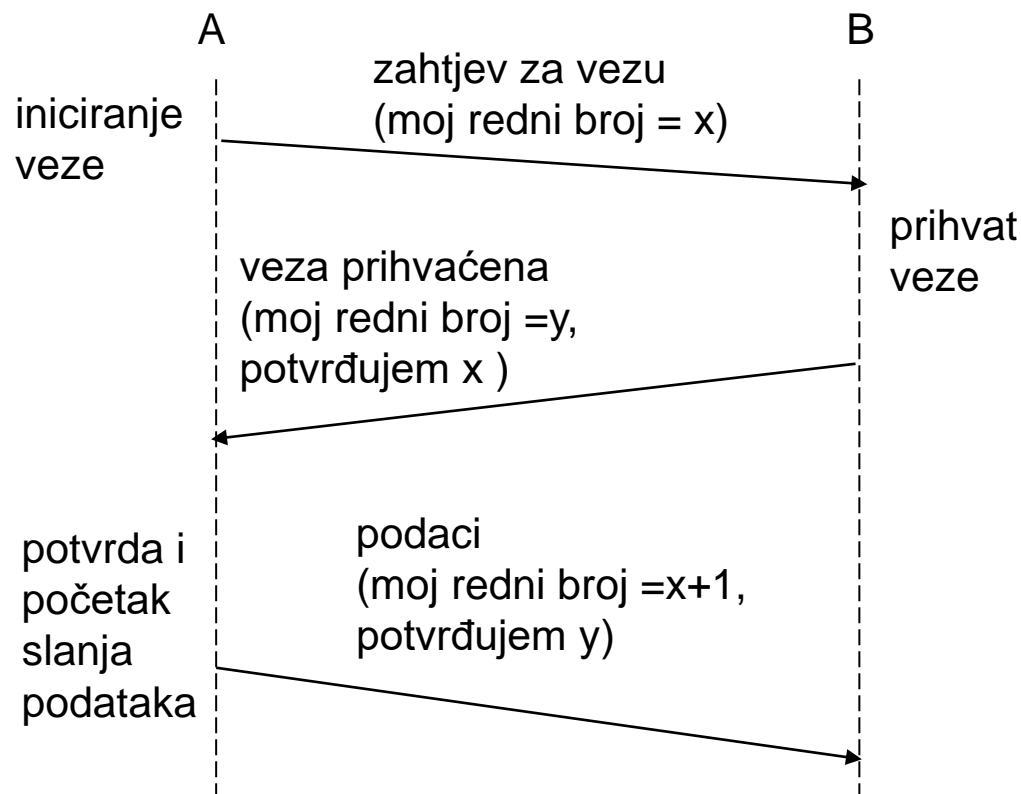
- ◆ na sučelju transporta i mreže: mrežna pristupna točka usluzi – N-SAP (Network-Service Access Point)
 - adresa mrežnog sučelja
 - u internetskom modelu: IP adresa
- ◆ na sučelju transporta i aplikacije: transportna pristupna točka usluzi – T-SAP (Transport-Service Access Point)
 - adresa transportnog entiteta
 - u internetskom modelu: vrata (engl. *port*)
- krajnje točke logičke veze:
(IP adresa izvora, vrata na izvoru) --- (IP adresa odredišta, vrata na odredištu)
 - u internetskom modelu: priključnica (engl. *socket*)
- ◆ multipleksiranje: način preslikavanja T-SAP:N-SAP
 - odozgo, n:1
 - odozdo, 1:m



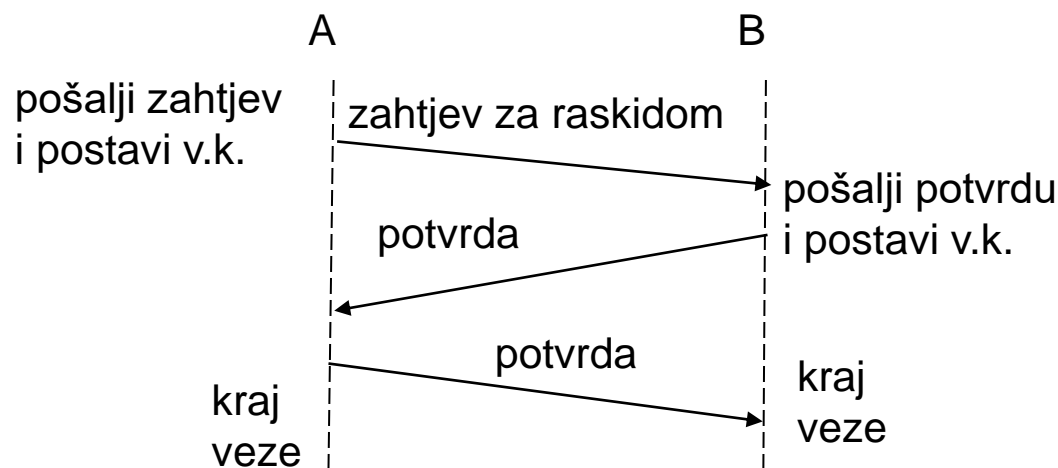
- ◆ multipleksiranje odozgo:
više procesa komunicira preko iste
mrežne adrese
- npr: TCP, UDP

- ◆ multipleksiranje odozdo:
proces otvara više mrežnih veza i
šalje podatke naizmjenice po njima
- npr.: mTCP i SCTP

- ◆ kontrolne poruke: zahtjevi i odgovori u zadanom (dogovorenom) obliku
- ◆ mehanizmi:
 - ◆ numeracija poruka
 - ◆ (pozitivne) potvrde
 - ◆ negativne potvrde
 - ◆ vremenska kontrola
 - ◆ klizeći prozor
- ◆ vremenska kontrola (v.k.) nužna za slučajeve ispada ili gubitka zahtjeva/ potvrde



- ♦ različiti scenariji urednog zatvaranja veze
- ♦ primjer:



- ♦ nužna vremenska kontrola (v.k.) za slučajeve ispada ili gubitka zahtjeva/ potvrde

- ◆ kontrola toka – sličan problem kao u sloju podatkovne poveznice:
 - usklađivanje pošiljaateljeve brzine slanja i brzine primanja/obrade na strani primatelja
 - najčešći model kontrole toka – klizeći prozor!

- ◆ privremena pohrana – zbog nepouzidane dostave i moguće promjene redoslijeda datagrama
 - treba privremeno pohranjivati T-PDU
 - pohrana i prilikom slanja, i prilikom primanja!
 - rješenje: usklađivanje veličine klizećeg prozora i dinamičko rukovanje memorijskim spremnikom

- ◆ prekidi se događaju - moguća mjesta kvara:
 - krajnji uređaji
 - usmjeritelji

- ◆ kvar na usmjeritelju i krajnje točke sa očuvanim stanjem transportne veze – jednostavan oporavak

- ◆ ako je kvar na krajnjem uređaju - što se događa s transportnom vezom nakon ponovnog pokretanja?
 - teži problem, stanje nije sačuvano
 - općeniti zaključak: nemoguće je sasvim prikriti kvar od viših slojeva, ali vrijedi - prekid na sloju N može ispraviti sloj N+1 pod pretpostavkom da krajnje točke “znaju gdje su stale”

Izbor transportnog protokola ovisi o parametrima kvalitete usluge (pouzdanost, kašnjenje, itd.) koje zahtijeva aplikacija!

Primjeri aplikacija – zahtjevnost /oštrina kriterija

Aplikacija	Pouzdanost	Kašnjenje	Kolebanje kašnjenja	Širina pojasa
Elektronička pošta	Visoki	Niski	Niski	Niski
Transfer datoteka	Visoki	Niski	Niski	Srednji
Pristup Webu	Visoki	Srednji	Niski	Srednji
Rad na daljinu	Visoki	Srednji	Srednji	Niski
Audio na zahtjev	Niski	Niski	Visoki	Srednji
Video na zahtjev	Niski	Niski	Visoki	Visoki
Telefonija	Niski	Visoki	Visoki	Niski/Srednji
Videokonferencija	Niski	Visoki	Visoki	Visoki

- ◆ dvosmjerna komunikacija
 - sposobnost istovremenog slanja i primanja
- ◆ pouzdanost transporta
 - detekcija gubitka paketa i eventualna reakcija
- ◆ transfer poruka ili niza okteta
 - dvije mogućnosti tretiranja podataka: kao blokovi/poruke, ili kao niz okteta
- ◆ očuvanje redoslijeda podataka
 - rekonstrukcija izvornog redoslijeda poruka ili okteta na odredištu za slučaj narušavanja redoslijeda pri prolasku kroz mrežu
- ◆ kontrola toka
 - usklađivanje brzina slanja i primanja podataka između krajnjih točaka (procesa)

- ◆ Usluga transportnog sloja
- ◆ Funkcionalnost
 - adresiranje
 - multipleksiranje
 - uspostava i raskid veze
 - kontrola toka i privremena pohrana
 - oporavak od prekida
- ◆ Protokoli transportnog sloja u Internetu
 - Transmission Control Protocol
 - User Datagram Protocol

4 Aplikacijski sloj
3 Transportni sloj
2 Mrežni/internetski sloj
1

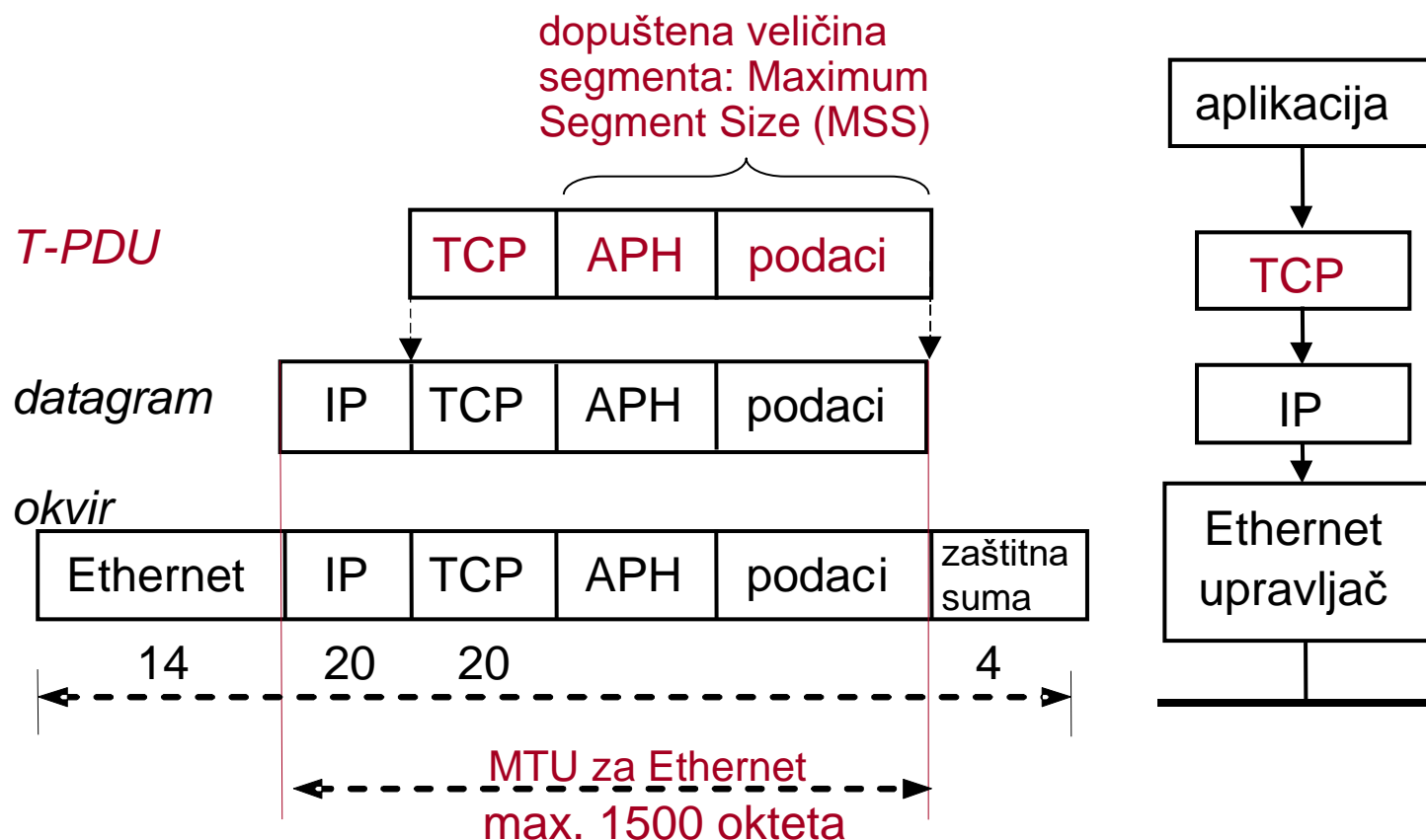
- ◆ transmisijski kontrolni protokol (*Transmission Control Protocol*, **TCP**)
 - pouzdana transportna usluga: prijenos niza okteta bez pogrešaka, uz isporuku potpune informacije u nepromijenjenom redoslijedu
- ◆ Korisnički datagramski protokol (*User Datagram Protocol*, **UDP**)
 - jednostavna transportna usluga: prijenos uz najmanje moguće kašnjenje informacije

- ◆ TCP je spojno-orijentirani, pouzdani internetski protokol transportnog sloja
 - TCP pruža spojnu uslugu transporta struje okteta povrh nespojnog IP-a
 - uspostavlja logičku vezu između procesa na krajnjim računalima
 - osigurava pouzdan transport s kraja na kraj pomoću mehanizama potvrde i retransmisije, uz očuvani redoslijed struje okteta i upravljanje transportnom vezom.
 - logička veza između procesa definirana je parom 16-bitnih transportnih adresa, koje se u internetskoj terminologiji nazivaju vrata (engl. *port*).
 - TCP PDU naziva se (TCP) segment.

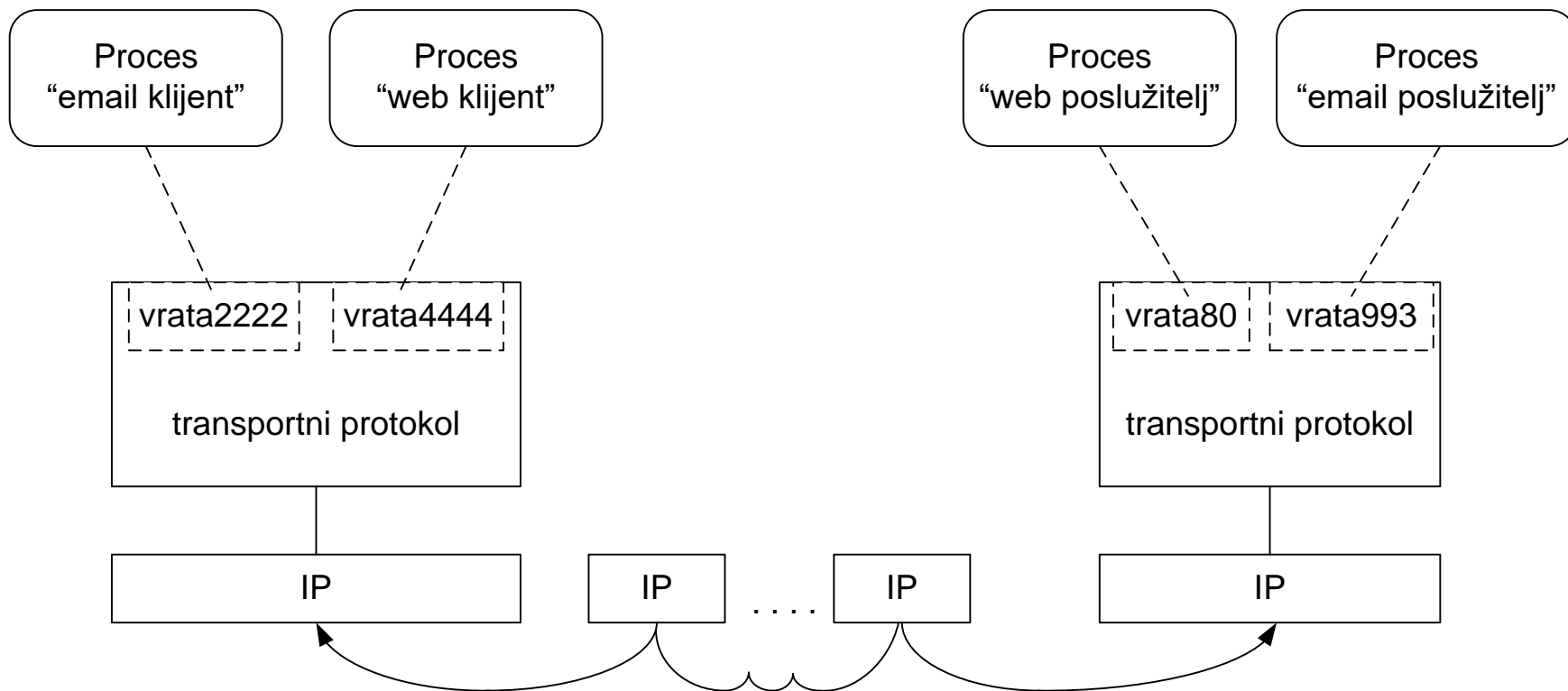
◆ osnovne funkcije:

- osnovni transport podataka
- adresiranje i multipleksiranje
- pouzdanost
- upravljanje logičkom vezom
- upravljanje tokom
- prioritet i sigurnost (logičke veze, ne podataka!)

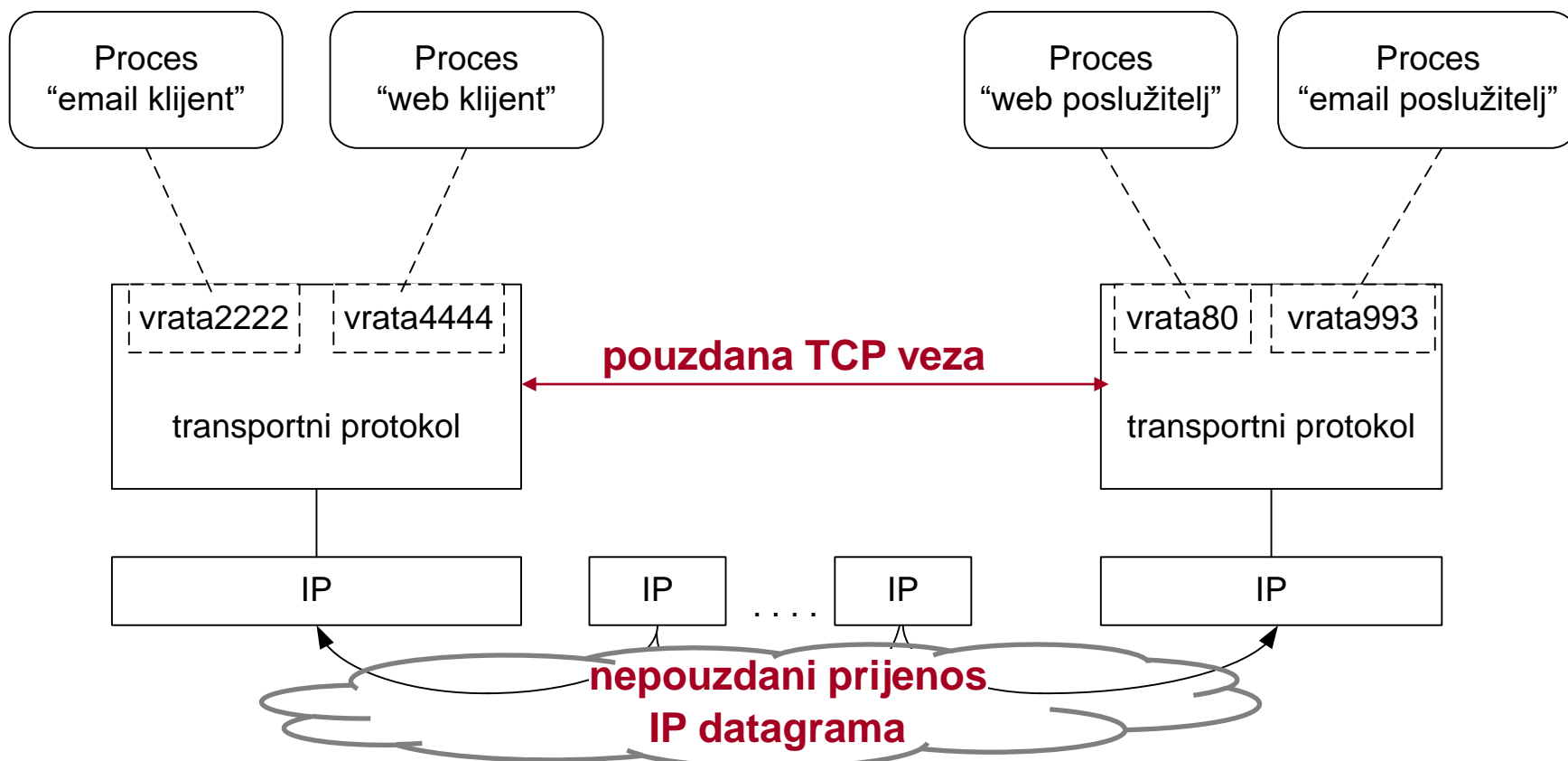
- dvosmjerni transport kontinuiranog niza podataka, pakiranjem okteta podataka u *segmente*, koje potom predaje protokolu mrežnog sloja



- ◆ raščlanjivanje tokova podataka koji pripadaju različitim procesima
- ◆ Krajnje točke komunikacije:
<IP adresa izvora, vrata na izvoru, IP adresa odredišta, vrata na odredištu>



- ◆ pouzdana TCP veza preko nepouzdanog datagramskog mrežnog sloja



■ mehanizmi koji osiguravaju pouzdanost:

- detekcija pogrešaka
- retransmisija
- kumulativna potvrda
- vremenska kontrola
- polja u zaglavlju koja služe za oznake segmenta u nizu i oznake potvrda

■ osnovna ideja:

- svaki segment je **numeriran** →
- primatelj potvrđuje primljene segmente
- potvrda je kumulativna – potvrđuje sve oktete do onog na kojeg se potvrda odnosi
- pošiljatelj postavlja vremensku kontrolu prilikom slanja segmenta
- ako do isteka vremenske kontrole ne primi potvrdu, pošiljatelj smatra segment izgubljenim

važno! numeriraju se segmenti, ali taj broj NIJE redni broj segmenta, nego redni broj **okteta** koji je **prvi u promatranom segmentu!**

Numeracija segmenata - primjer

Primjer:

podaci aplikacijskog sloja: 6207 okteta , duljina podatkovnog polja = 1460 okteta

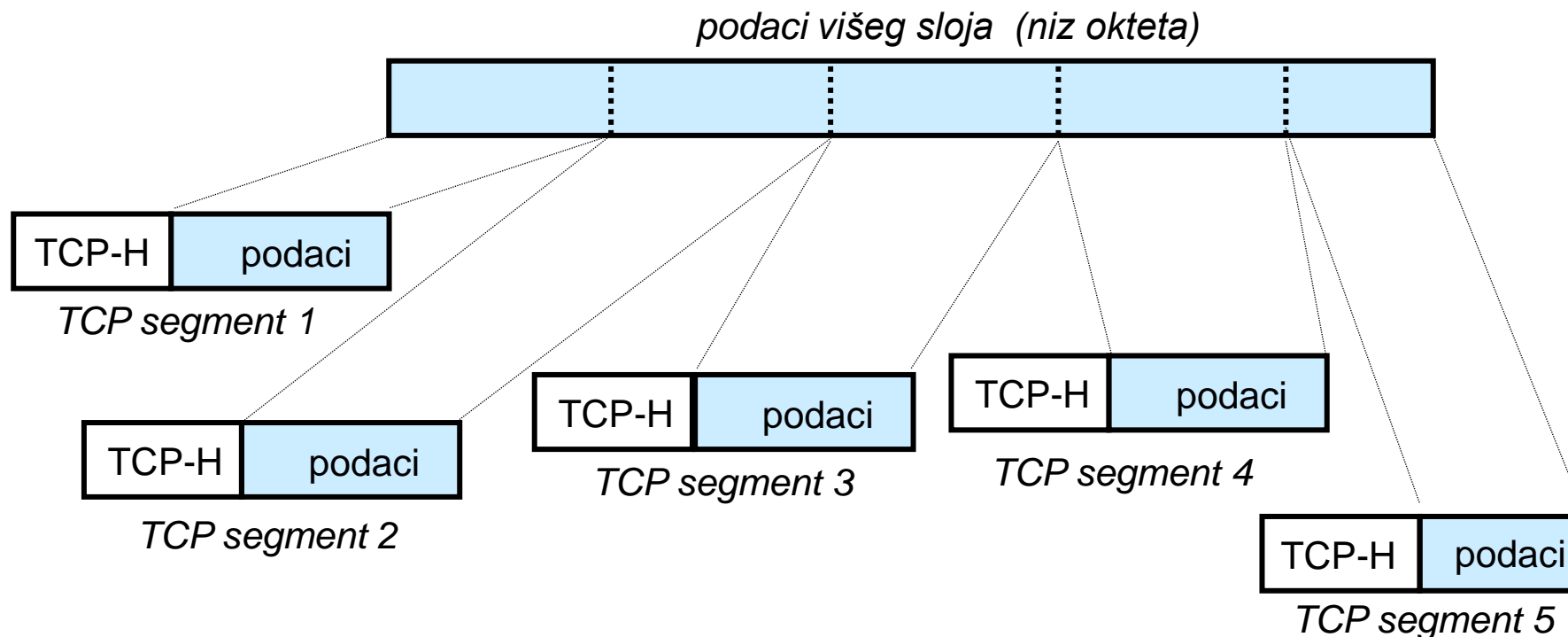
segment 1: okteti 0-1459 (duljina 1460) -> redni broj segmenta = x (početni broj)

segment 2: okteti 1460-2919 (duljina 1460) -> redni broj segmenta = $x+1460$

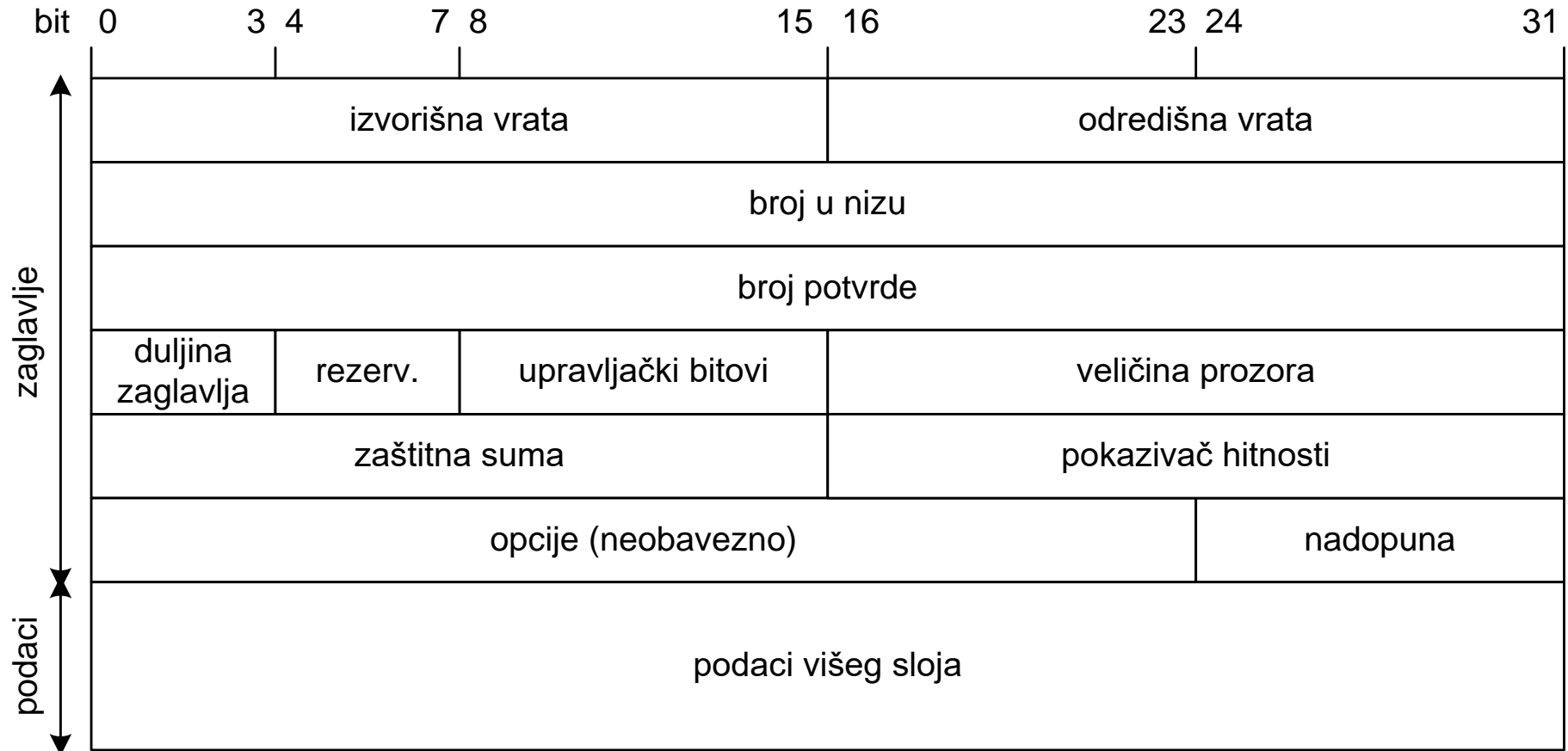
segment 3: okteti 2920-4379 (duljina 1460) -> redni broj segmenta = $x+2920$

segment 4: okteti 4380-5839 (duljina 1460) -> redni broj segmenta = $x+4380$

segment 5: okteti 5840-6206 (duljina 367) -> redni broj segmenta = $x+5840$



Struktura TCP-segmenta



upravljački bitovi

U	A	P	R	S	F
R	C	S	S	Y	I
G	K	H	T	N	N

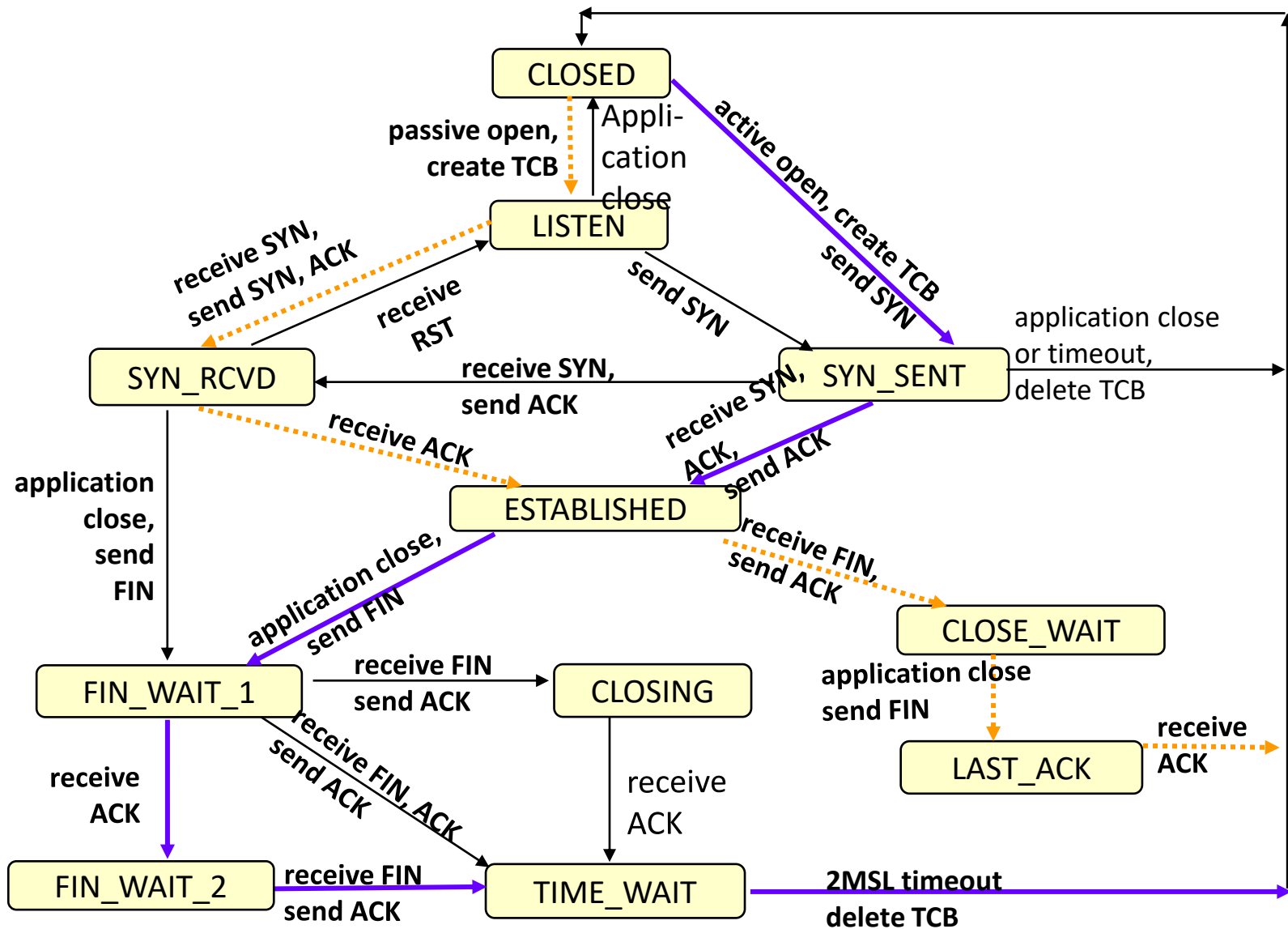
- ◆ uspostava i raskid veze:
 - ◆ SYN (od engl. *synchronize*)
 - ◆ FIN (od engl. *finish*)
- ◆ potvrda:
 - ◆ ACK (od engl. *acknowledgement*)
- ◆ prioritetni podaci:
 - ◆ URG (od engl. *urgent*)
 - ◆ PSH (od engl. *push*)
- ◆ poništavanje veze:
 - ◆ RST (od engl. *reset*)

- ◆ Da bi ostvario svoje funkcije, TCP “pamti” niz parametara vezanih uz svaki par komunicirajućih procesa, odn. uz stanje logičke veze
 - ◆ ponašanje se može opisati automatom stanja
 - ◆ stanje – karakterizira ga skup internih varijabli procesa
 - ◆ prijelaz – karakteriziraju ga ulazni događaj koji izaziva promjenu stanja i izlazni signal ili poruka prema drugoj krajnjoj točki
 - ◆ automat stanja opisuje jedan kraj veze, odn. jedan TCP entitet (instancu TCP automata stanja na strani klijenta i li na strani poslužitelja) – uočimo da oni ne moraju biti u istom stanju!

◆ Stanja

- Listen
 - Syn_Rcvd
 - Syn_Sent
 - Established
 - Close_wait
 - Last_ack
 - Fin_wait1
 - Fin_wait2
 - Time_wait
 - Close_wait
- uspostavljanje veze
- veza uspostavljena
- čekanje na završetak
pasivno zatvaranje (poslužitelj)
- čekanje na završetak
aktivno zatvaranje (klijent)

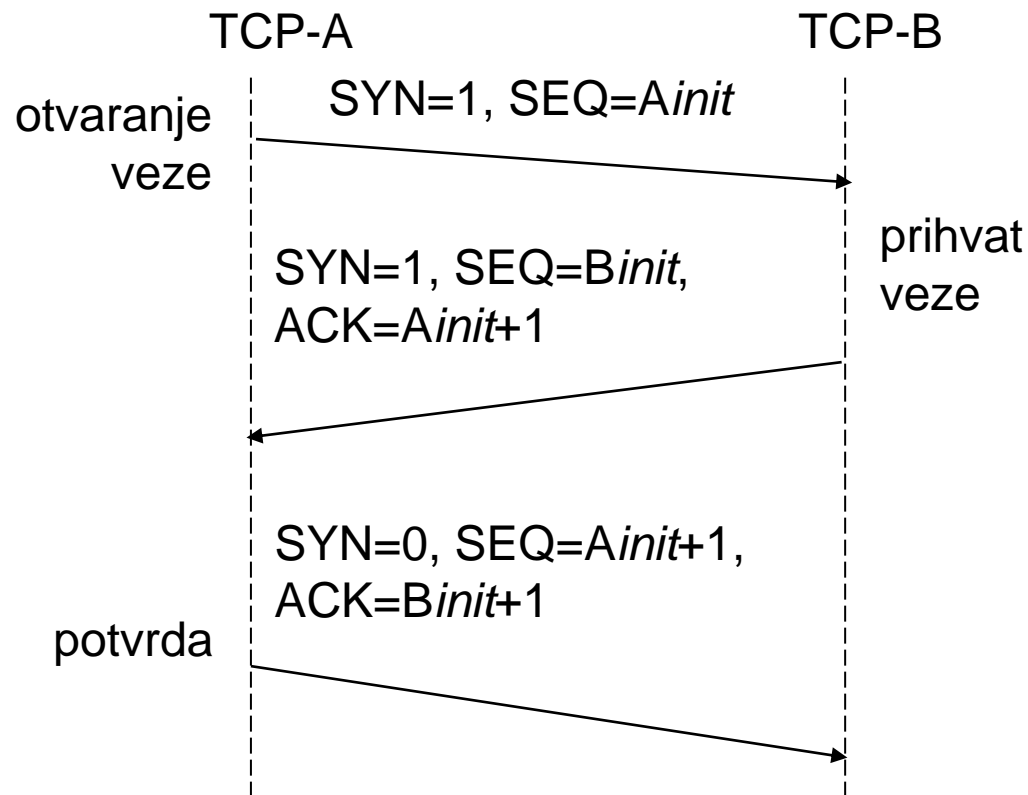
◆ Prijelazi – TCP segmenti (upravljačke poruke ili podaci)



◆ Procedura uspostave veze:

- ◆ svaka od strana mora poslati tzv. **SYN segment** u kojem objavljuje parametre bitne za vezu, npr.:
 - početni broj za numeraciju okteta
 - veličinu prozora
 - izvorišna i odredišna vrata
 - može biti i drugih parametara (u poljima za opcije)
- strana koja primi SYN segment mora poslati potvrdu (ACK) da ga je primila

- prilikom uspostave veze, inicijaliziraju se parametri komunikacije



- nakon uspješne uspostave veze, slijedi razmjena podataka aplikacijskih procesa

Transport niza podatkovnih okteta - primjer

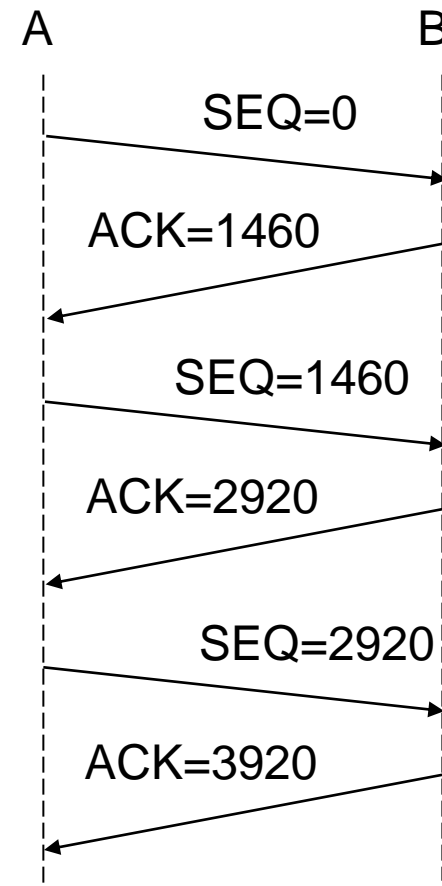
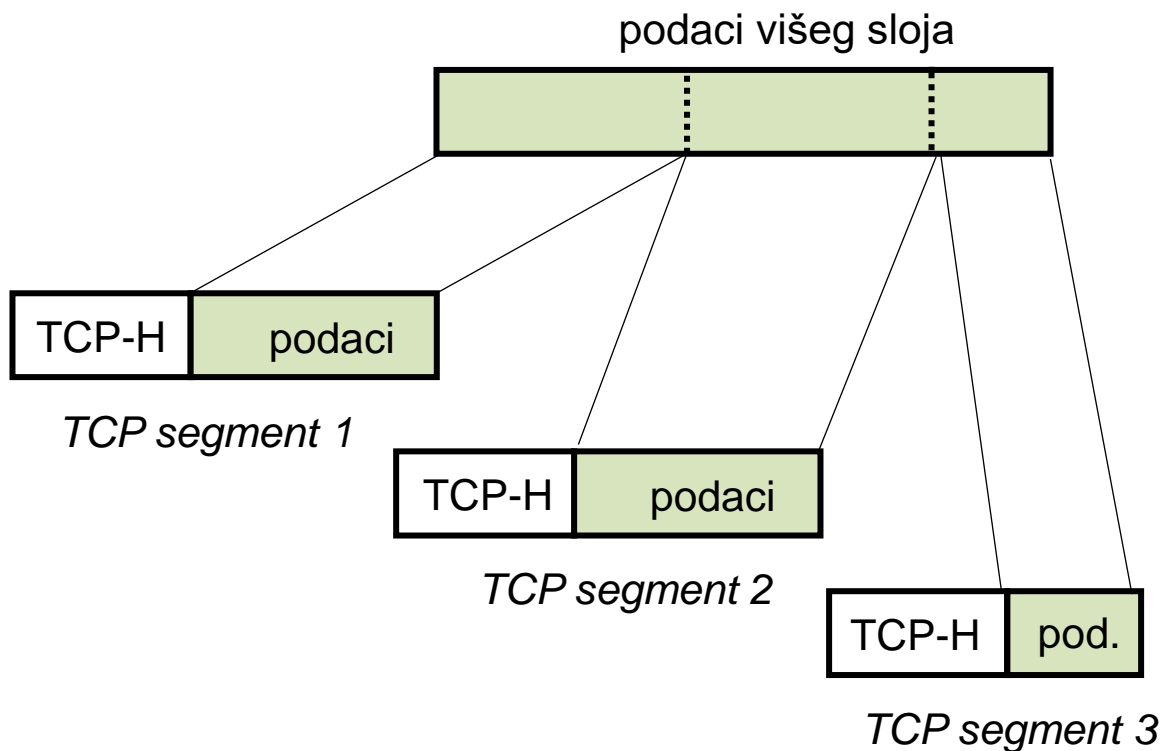
podaci 3920 okteta

MSS = 1460 okteta

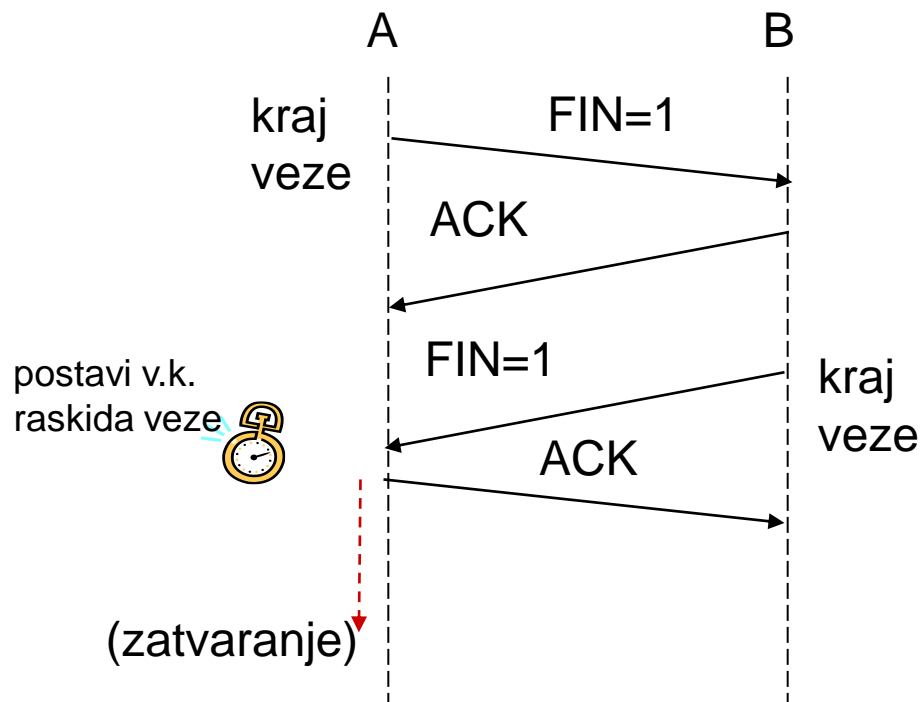
segment 1: okteti 0-1459 -> početni redni broj = 0

segment 2: okteti 1460-2919 -> redni broj = 1460

segment 3: okteti 2920-3919 -> redni broj = 2920



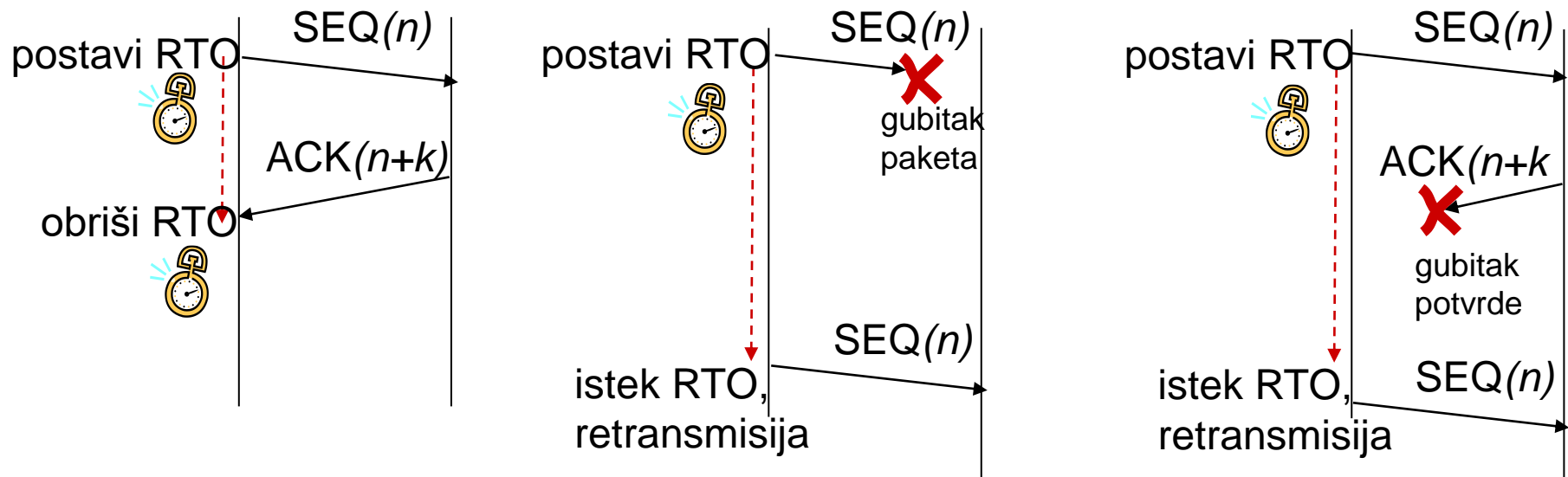
- kad nemaju više podataka za poslati, krajnje točke započinju “dogovor” o raskidu veze



- ◆ Segmenti se u mreži mogu izgubiti iz više razloga
 - greške u prijenosu koje se ne daju ispraviti
 - usmjerivači ispuštaju pakete pri preopterećenosti linkova
 - petlje u usmjeravanju i TTL mehanizam

- ◆ TCP garantira da će poduzeti sve mjere da nadomjesti oktete izgubljene u mreži
 - ponavljanje slanja nakon određenog vremenskog perioda (*retransmission timeout, RTO*)
 - eksponencijalno produljivanje vremenskog intervala za ponavljanje slanja (*exponential backoff*)

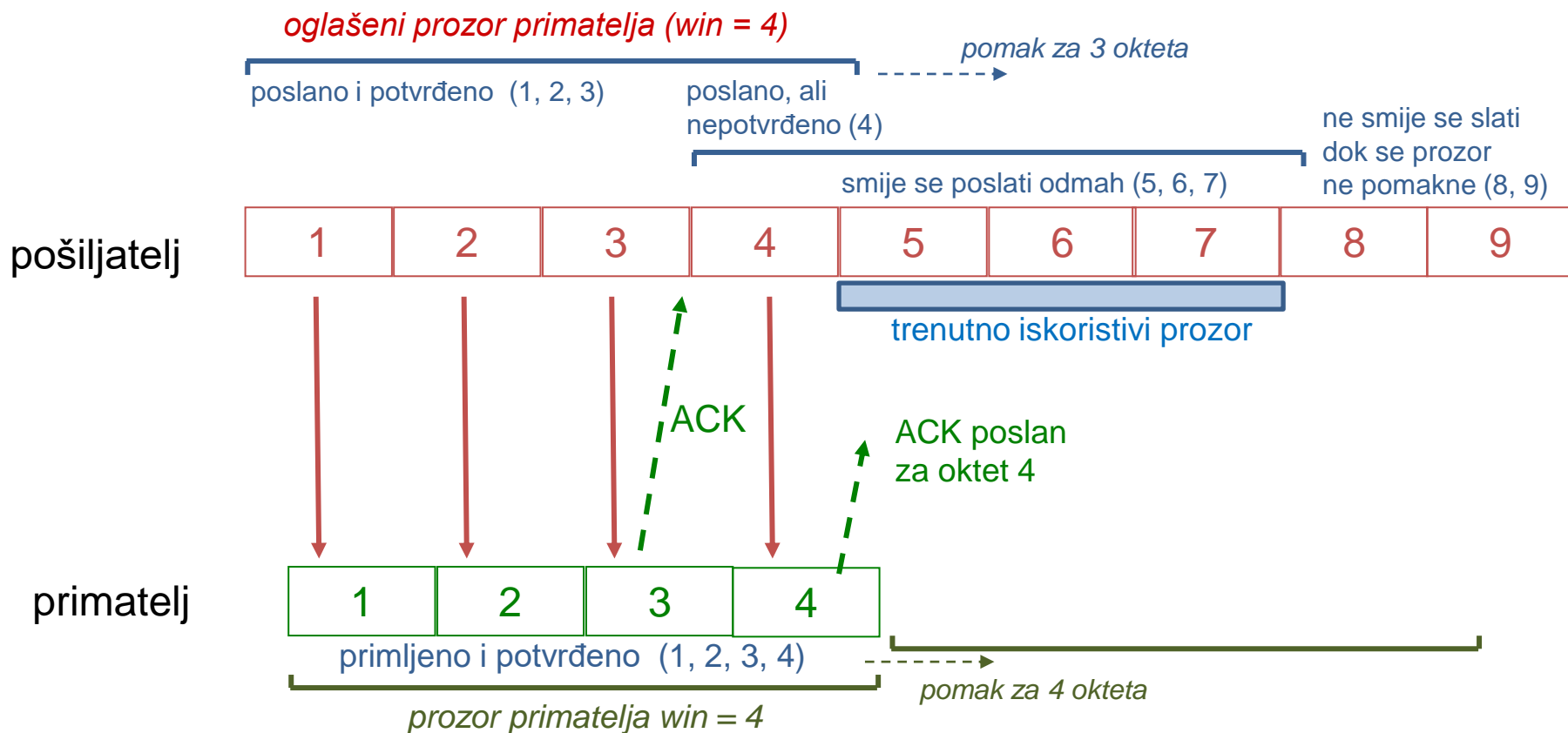
- ◆ TCP pošiljatelj postavlja RTO prilikom slanja segmenta
- ◆ ako potvrda za segment ne stigne do trenutka isteka RTO, pošiljatelj smatra segment izgubljenim i šalje ga ponovno



(promatramo segment koji počinje na oktetu n i ima duljinu k okteta)

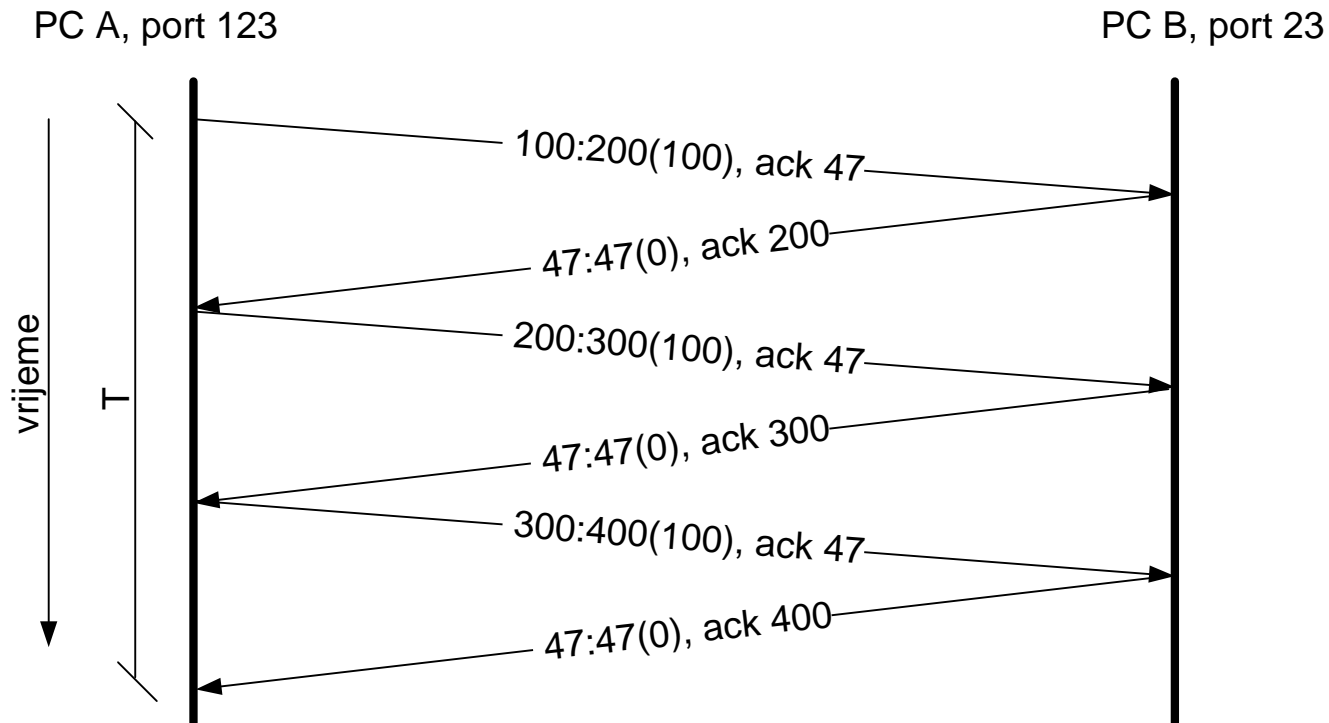
- ◆ Usklađivanje brzine slanja i primanja
 - što ako pošiljalac šalje brže nego što primatelj može obrađivati?
- ◆ TCP koristi mehanizam **klizećeg prozora**
 - prozor je broj okteta koje pošiljalac u danom trenutku smije poslati a da ne čeka potvrdu bilo kojeg od tih okteta
 - prozor objavljuju obje strane i to u sklopu potvrda koje šalju
- ◆ Primjer
 - pretpostavimo da je pošiljalac primio potvrdu za oktet $N-1$ i u potvrdi je objavljen prozor W
 - pošiljalac smije poslati sve oktete do $N+W$ bez ikakve daljnje potvrde
 - međutim, ne smije poslati oktete od $N+W$ nadalje sve dok mu se barem jedan dio okteta na “donjoj granici” prije $N+W$ ne potvrdi

- ◆ prilagodba brzine slanja prema brzini primanja primatelja i stanju u mreži
- ◆ **klizeći prozor** - veličinom prozora je definiran max. broj nepotvrđenih okteta koje pošiljalac može poslati odjednom



◆ Primjer:

Oznake: od:do(duljina), ack “oktet koji se potvrđuje”



Je li moguće prenijeti segmente sa slike u još kraćem vremenu?

- ◆ Pošiljatelj može istovremeno poslati više segmenata

Oznake: od:do(duljina), ack “oktet koji se potvrđuje”

