

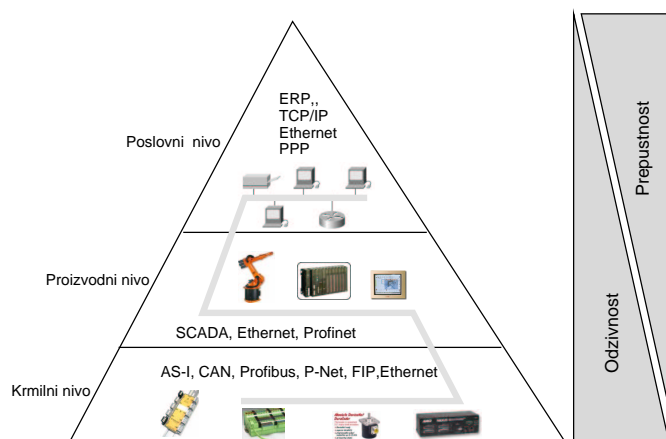
# Komunikacijski sistemi

## Kazalo

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Slojnost omrežij</b>	<b>3</b>
2.1	ISO OSI referenčni model . . . . .	4
2.2	Model TCP/IP . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Dostop do prenosnega sredstva</b>	<b>9</b>
3.1	Ethernet . . . . .	9
3.2	IEEE 802.3 in Ethernet . . . . .	10
3.3	Obroč z žetonom in IEEE 802.5 . . . . .	17
3.4	Vodilo z žetonom in IEEE 802.4 . . . . .	19
3.5	Brezžični LAN in IEEE 802.11 . . . . .	20
<b>4</b>	<b>Delovanje omreža</b>	<b>24</b>
4.1	Usmerjanje in Internet . . . . .	25
4.2	ARP in RARP . . . . .	28
4.3	Naslavljanje in IP . . . . .	31
<b>5</b>	<b>TCP in UDP</b>	<b>36</b>
	<b>Literatura</b>	<b>39</b>

# 1 Uvod

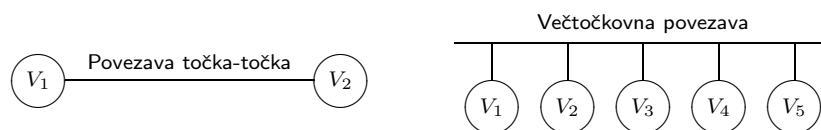
Komunikacijski sistemi v avtomatiki omogočajo medsebojno usklajevanje večjega števila krajevno porazdeljenih procesov. So poglavitna sestavina sistemov daljinskega vodenja, porazdeljenega vodenja, energetskih, transportnih, poslovnih in proizvodnih sistemov, hišne avtomatizacije, itd. V zadnjih desetletjih skokovito napreduje razvoj informacijskih in komunikacijskih tehnologij vseh vrst, računalnik je v njih postal nepogrešljiv sestavni del, spremenil pa je tudi način razmišljanja. Slika 1 prikazuje načelno skico informacijskega sistema in ob njem nekatere komunikacijske tehnologije. Na spodnjem, krmilnem nivoju imamo veliko število enostavnih naprav. Količina in koncentracija podatkov, ki se prenašajo, je majhna. Prepustnost omrežja (ali povprečni efektivni informacijski pretok) tu ni tako pomembna. Bistvena je odzivnost sistema (čas, ki preteče od zahteve za prenos do trenutka, ko so podatki prenešeni) in delovanje sistema v realnem času. Na višjih nivojih je odzivnost komunikacijskega sistema manj pomembna, potrebe po prepustnosti pa naraščajo.



Slika 1: Komunikacijska struktura v poslovno proizvodnem komunikacijskem sistemu.

Osnovna elementa omrežja sta *vozlišče* (angl. Node) in *povezava* (angl. Link). Komunikacijsko omrežje je sistem med seboj povezanih vozlišč. Osnovni

način povezovanja vozlišč je povezovanje *točka-točka*<sup>1</sup> (ang. Point-To-Point). Povezava točka-točka neposredno povezuje dve sosednji vozlišči med seboj (slika 2). Druga možnost za povezovanje vozlišč je večtočkovno povezovanje (Angl. Multi-point ali Multi-drop). Večtočkovno povezovanje se je zaradi nekaterih dobrih lastnosti uveljavilo v industrijskih omrežjih za povezovanje razmeroma enostavnih naprav (senzorjev, aktuatorjev, programljivih krmilnikov, i.t.d.).



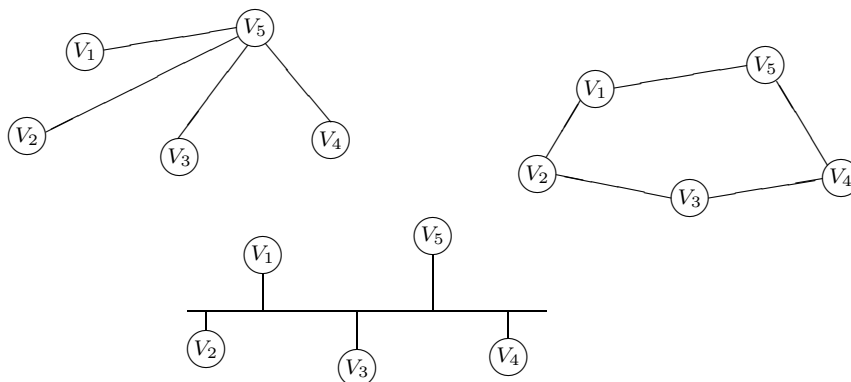
Slika 2: Točka-točka in večtočkovno povezovanje vozlišč.

Komunikacijsko omrežje v splošnem sestavljata dve vrsti vozlišč: *končna* in *vmesna*<sup>2</sup> vozlišča. V končnem vozlišču informacija nastaja ali pa se koristi. Vmesno vozlišče deluje kot posrednik informacije: informacijo sprejme, jo po potrebi začasno shrani, preoblikuje in pošlje naprej v zahtevani smeri. Končna vozlišča so sensorji, aktuatorji, daljinske postaje, krmilniki, računalniki in tako dalje. Vmesna vozlišča so ponavljalniki (ang. Repeaters), spojišča (Angl. Hubs) mostovi (Angl. Bridges), stikala (Angl. Switches) usmerjevalniki (Angl. Routers), prehodi (Angl. Gateways), ipd. Zaporedje povezav od enega končnega vozlišča preko vmesnih vozlišč do drugega končnega vozlišča sestavlja prenosno pot. S povezovanjem vozlišč nastane omrežje določene oblike. Osnovne oblike (topologije) delno povezanih komunikacijskih omrežij so: zvezda, obroč in vodilo (slika 3).

V zvezdastem omrežju in v obroču so povezave med vozlišči tipa točka-točka. V omrežju zvezdaste oblike (Angl. Star) komunicirajo zunanja (končna) vozlišča preko osrednjega (vmesnega) vozlišča. Pretok podatkov ureja osrednje vozlišče. V omrežju, ki je po obliki obroč (Angl. Ring) informacija kroži v predvideni smeri od vozlišča do vozlišča. Omrežje tipa vodilo (Angl. Bus) je večtočkovno omrežje, za katere je značilen množičen dostop (Angl. Multiple-Access). Ta omrežja se med seboj razlikujejo ravno po tem, kako

<sup>1</sup>Tudi točka s točko ali točka v točko.

<sup>2</sup>Tudi komunikacijska vozlišča.



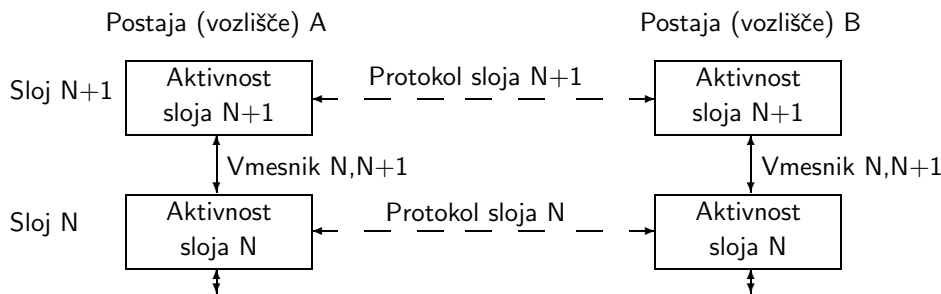
Slika 3: Osnovne oblike omrežij: zvezda, obroč in vodilo.

se vozliščem dodeljuje ali kako vozlišča dostopajo do skupnega prenosnega sredstva (medija). Večja omrežja se le redko javljajo v eni od osnovnih oblik.

## 2 Slojnost omrežij

Sodobna komunikacijska omrežja so zasnovana modularno kot sestav *slojev*, pri čemer je vsak višji sloj nadgrajen nad neposredno nižji sloj. Osrednji element v tej hierarhični večslojni zgradbi omrežja je *sloj* (Angl. Layer), imenovan tudi plast. Sloj zagotavlja storitve neposredno višjemu sloju. Sloj, ki nudi storitev, se imenuje dajalec storitve (Angl. Service provider). Sloj, ki uporablja storitev, se imenuje uporabnik ali uporabnik storitve (Angl. Service user). Sloj najboljše opredelijo naloge, ki jih opravlja, torej njegova funkcionalnost.

Med sosednima slojema je vmesnik. Vmesnik slojev  $N$  in  $N + 1$  določa storitve, ki jih sloj  $N$  daje sloju  $N + 1$ , pa tudi operacije za izvedbo teh storitev. Proces sloja  $N$  na eni postaji komunicira s procesom sloja  $N$  na drugi postaji. Pravimo, da komunikacija v omrežju poteka med istorodnimi procesi (Angl. peer-to-peer). Pravila in dogovori, ki jih upoštevata istorodna procesa na obeh straneh na sloju  $N$ , imenujemo *komunikacijski protokol* sloja  $N$ . Čeprav poteka komunikacija po protokolu v horizontalni smeri, pa poteka resnični tok podatkov v navpični smeri. Višji sloj preda podatke (skupaj z



Slika 4: Načelo slojnosti

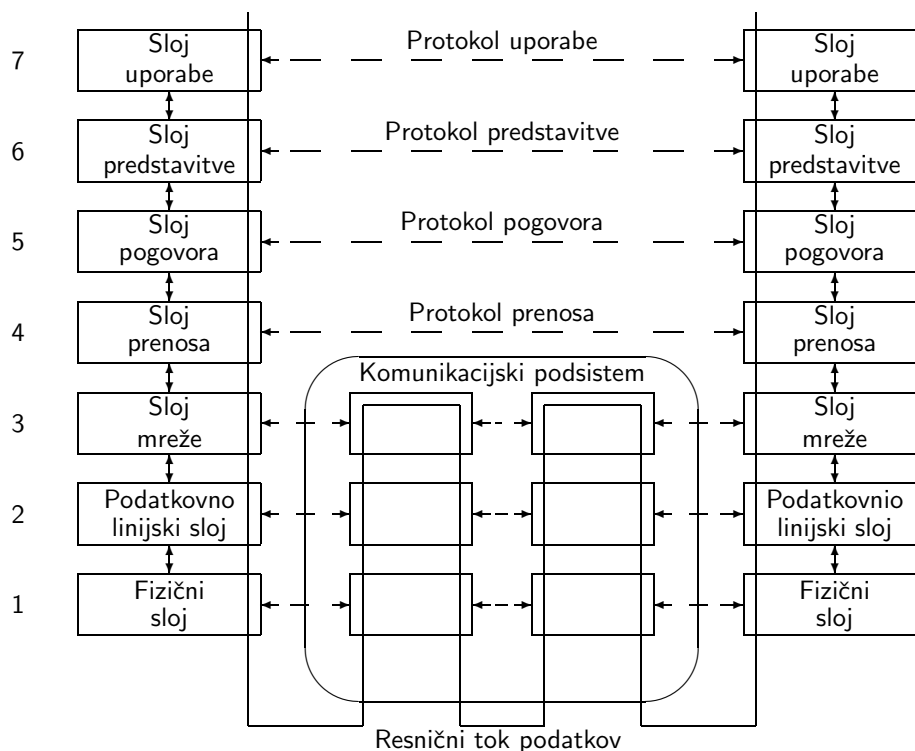
nadzorno informacijo) nižjemu sloju, ta pa še nižjemu. Končno pride po prenosni poti do dejanskega prenosa z ene na drugo stran, kjer gredo podatki spet od sloja do sloja navzgor - v navpični smeri. Množica slojev in protokolov ter vmesnikov oziroma storitev, ki so dane na vmesnikih, določa *arhitekturo omrežja*.

## 2.1 ISO OSI referenčni model

Mednarodna organizacija za standardizacijo ISO je v začetku osemdesetih let preteklega stoletja predlagala model, po katerem naj bi gradili računalniška omrežja.<sup>3</sup> Referenčni model OSI (Angl. Open Systems Interconnection), kot pove ime, se nanaša na sisteme, ki so odprti za komunikacijo z drugimi odprtimi sistemi. Arhitekturni model OSI obsega sedem slojev (slika 5). Slika prikazuje dve poljubni končni vozlišči, ki ju povezuje komunikacijski (pod)sistem. Model OSI določa le funkcije posameznih slojev, zato sam po sebi še ni arhitektura mreže.

**Fizični sloj** (Angl. Physical Layer) skrbi za prenos informacijskih signalov po komunikacijskem kanalu. Osnovna informacijska enota tega sloja je bit. Sloj določa mehanske, električne in postopkovne lastnosti signalov, naprav in tokokrogov. Tipična vprašanja v zvezi s tem slojem so: napetostni nivoji signalov, hitrost prenosa, oblike signalov, vrste modulacij, konektorji in število priključkov na konektorjih, uporabljeni prenosni medij, čeprav sam ni del sloja.

<sup>3</sup>ISO 7498-1984: Information Processing Systems - Open systems Interconnection - Basic Reference Model.



Slika 5: Referenčni model ISO OSI.

**Podatkovno linijski sloj** ali linijski sloj (Angl. Data Link Layer) zagotavlja naslednjemu višjemu sloju (mrežnemu sloju) visoko zanesljivost prenosa podatkov med sosednjimi vozlišči. V ta namen deli daljša zaporedja bitov na manjše okvire (Angl. Frames) ter skrbi za pravilen prenos posameznih okvirov od vozlišča do vozlišča s preverjanjem pravilnosti prenešenega okvira in s potrjevanjem pravilnosti sprejema. Tipična vprašanja v zvezi s tem slojem so: kako označiti začetek in konec okvira (okvirenje), kako ugotavljati prisotnost napak, kako zahtevati ponoven prenos pokvarjenega okvira in kako rešiti problem podvojenih okvirov (dveh enakih okvirov) v primeru, da se izgubi potrjeno že pravilno sprejetega okvira. Naslednja važna naloga tega sloja je nadzor nad dostopom do skupnega prenosnega sredstva (komunikacijskega kanala) (Angl. Media Access Control Sublayer - MAC).

**Mrežni sloj** (Angl. Network Layer) skrbi za delovanje komunikacijskega podsistema. Na sliki 5 vidimo, da vmesna vozlišča opravljajo naloge samo

prvih treh (spodnjih) slojev. Osnovna podatkovna enota tega sloja je paket (Angl. Packet). Ključna naloga tega sloja je zagotavljanje *poti prenosa* od izvirnega do ponornega vozlišča. Mrežni sloj torej skrbi za usmerjanje paketov od vozlišča do vozlišča (Angl. Routing), naslavljanje vozliščin povezovanje omrežij med seboj.

**Prenosni sloj** (Angl. Transport Layer) streže sosednjemu višjemu sloju (sloju pogovora). Od njega prevzema podatke, jih po potrebi deli na manjše enote - podatkovne enote prenosnega sloja (Angl. Transport Protocol Data Unit - T-PDU),<sup>4</sup> zatem pa predaja naslednjemu nižjemu (mrežnemu) sloju ter skrbi, da podatki pogovornega sloja pridejo pravilno na drugo stran. Torej skrbi za *prenos* informacije na drugo stran, kot pove tudi njegovo ime. Prenosni sloj je prvi 'pravi' sloj 'od-konca-do-konca' (Angl. End-to-End). Z drugimi besedami, proces na eni končni postaji komunicira neposredno s sorodnim procesom na drugi končni postaji, brez posrednikov.

**Pogovorni sloj** (Angl. Session Layer) omogoča 'pogovor' med uporabniškimi procesi na različnih postajah in s tem skrbi za organizacijo in strukturiranje dialoga. Podobno kot prenosni sloj omogoča prenos podatkov, poleg tega pa nudi tudi nekatere kvalitetnejše storitve specifične za določene aplikacije. Če bi za prenosni sloj rekli, da skrbi za prenos podatkov med enim in drugim končnim vozliščem, skrbi pogovorni sloj za pogovor med istorodnima procesoma enega in drugega vozlišča.

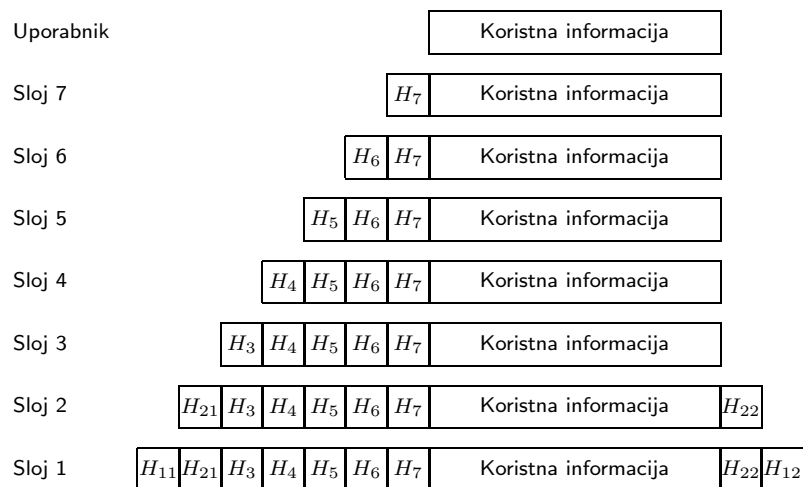
**Predstavitveni sloj** (Angl. Presentation Layer) opravlja pogoste storitve, ki zahtevajo splošno rešitev za večino uporabnikov teh storitev. Tipične storitve tega sloja so: kodiranje in prekodiranje, šifriranje, zgoščevanje podatkov in podobno (pravzaprav se šifriranje lahko dogaja na vsakem sloju).

**Sloj uporabe** (Angl. Application Layer) predstavlja vmesnik med končnim uporabnikom in komunikacijskim sistemom. Vsebuje največ storitev in protokolov, ki so najbolj vidni končnemu uporabniku in na ta način izoblikujejo zunanji izgled omrežja.

Slika 6 shematično prikazuje načelo ovojnice v sedemslojnem modelu OSI. Na vsakem sloju se koristni informaciji doda kontrolna informacija protokola tega sloja (glava) ter na koncu vse skupaj odda v kanal. Na sprejemni strani

---

<sup>4</sup>Od tega sloja navzgor za PDU nimamo posebnih imen, največkrat pa jim rečemo paket.



Slika 6: Načelo ovojnice. Koristni informaciji uporabnika se na vsakem sloju doda kontrolna informacija protokola (glava H) in z njo tvori protokolovno podatkovno enoto (PDU). PDU sloja N je na na sloju N+1 "nedotakljiva".

teče postopek v obratni smeri.

## 2.2 Model TCP/IP

Sedem slojni arhitekturni model OSI je začel nastajati v času, ko so bile TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) tehnologije že v razcvetu in se je v marsičem tudi zgledoval po njih. Vendarle je slojnost omrežij dobila primeren poudarek šele z nastankom OSI modela in kasneje bistveno pripomogla k razvoju konceptov in komunikacijskih tehnologij. Marsikatero omrežje zaprtega tipa (najbolj pa v industrijskih okoljih), ki je nastalo pred samim modelom in se je pred tem obravnavalo kot omrežje "v enem kosu", se je potem obravnavalo in razvijalo razslojeno z vidika modela OSI. Danes je treba priznati, da model ISO OSI v celoti ni nikoli popolnoma zaživel. Enega od razlogov za to gre verjetno iskati v kompleksnosti, ki je upočasnila razvoj in dodatnemu bremenu, ki ga vnaša za večino potreb preveliko število slojev ali z drugimi besedami funkcionalnost, ki je v modelu ponekod preveč poudarjena in včasih nepotrebna. Kot odgovor temu je v industrijskih okoljih sledil model EPA (Enhanced Protocol Architecture), ki



obsega samo prva dva sloja in pa sedmi sloj. Večina industrijskih omrežij na krmilnem nivoju je danes tega tipa (na primer Profibus, DeviceNet). S tega stališča je OSI opravil svoje poslanstvo. Glavni razlog za manjšo prisotnost OSI arhitektur pa je Internet oziroma omrežja TCP/IP, kot jih imenujemo po dveh glavnih predstavnikih Internetnih protokolov. Omrežje Internet temelji na štirislojnem arhitekturnem modelu TCP/IP, ki ima svoje korenine v omrežju ARPANET iz konca šestdesetih let preteklega stoletja. Internet seveda ni grajen po modelu OSI, saj je nastal pred njim. To ne pomeni, da bi Internet ne bilo “odprto” omrežje. TCP/IP je kar zadeva slojnosti in neodvisnosti med storitvami in protokoli manj dosleden kot OSI, verjetno zato, ker so se nove rešitve izoblikovale kot odziv na vedno nove potrebe skozi daljše časovno obdobje.



Slika 7: Model in arhitektura omrežja Internet.

Slika 7 prikazuje arhitekturni model in primer arhitekture. Spodnji trije sloji so mrežnega značaja, zgornji sloj je uporabniško usmerjen. V omrežjih TCP/IP se funkcionalnosti na spodnjih dveh slojih modela OSI ni nikoli posvečalo veliko pozornosti. V omrežjih lokalnega značaja in to so tista omrežja, ki jim je Internet ponujal povezljivost navzven, je na to problematiko odgovoril Ethernet. Model TCP/IP je od vsega začetka izpostavljal pomen povezljivosti omrežij, ta pa je zagotovljena v okviru mrežnega sloja. V arhitekturi na levi strani slike so zajeti le nakateri najbolj tipični protokoli izmed možnih protokolov. V lokalnih omrežjih Internet se v spodnjem sloju (Angl. Network Interface Layer) največ uporablja Ethernet protokol. Za povezovanje oddaljenih vozlišč točka-točka se uporablja protokol PPP

(Point-to-Point-Protocol), ki je nadomestil protokol SLIP (Serial Link IP). Ker spodnji sloj realizira funkcije spodnjih dveh slojev modela OSI, se včasih ta arhitektura obravnava kot petslojna. Če primerjamo Internet model z modelom OSI, bi medomrežni sloj (Angl. Internet layer) najbolj ustrezal mrežnemu sloju, prenosni sloj prenosnemu, aplikacijski sloj pa sedmemu (ali še boljše zgornjim trem slojem) modela OSI. Če povzamemo, praksa kaže, da je danes še najbolj primeren petslojni referenčni model.

## **3 Dostop do prenosnega sredstva**

### **3.1 Ethernet**

Ethernet je skupno ime za najbolj razširjeno komunikacijsko tehnologijo v omrežjih manjših krajevnih razsežnosti (LAN), pridobiva pa tudi prisotnost v še manjših, kot tudi omrežjih večjih (mestnih) razsežnosti. Njegove korenine segajo v zgodnja sedemdeseta leta preteklega stoletja, ko je Norman Abramson na Havajski univerzi postavil brezžično poketno omrežje ter ga poimenoval ALOHA. Omrežje, ki je temeljilo na popolnoma naključnem dotopu do kanala po pravilu: "Pošlji takoj, ko imaš pripravljen paket", je delovalo presenetljivo dobro. To je Roberta Metcalfa, tedaj podiplomskega študenta na Harvardu, spodbudilo k doktorski disertaciji, v kateri se je posvetil paketnim omrežjem z množičnim dostopom. Po doktoratu se je Metcalfe zaposlil v Xerox-u, kjer je skupaj z Davidom Boggsom in sodelavci postavil eksperimentalno omrežje tipa vodilo ter mu kasneje dal ime Ethernet. Omrežje je delovalo s hitrostjo 2.94 Mb/s in je povezovalo nad 100 postaj. Na pobudo Metcalfa so DEC, Intel in Xerox (zato kratica DIX) pristopili k izdelavi standarda za 10 Mb/s Ethernet na osnovi 50 ohmskega koaksialnega kabla. Tako imenovani DIX ali Ethernet II standard je bil podlaga za izdelavo standarda IEEE 802.3. Ethernet II definira dostop do prenosnega sredstva (CSMA/CD), prenosna sredstva (koaksialec, parica) in obliko okvira, danes poznane kot Ethernet okvir. Standard 802.3 se razlikuje od (de-facto) predhodnika po tem, da opisuje celo družino protokolov izpeljanih iz CSMA/CD, predvideva različne prenosne medije in dovoljuje različne hitrosti, od 1 Mb/s do 10 MGb/s, malenkostno pa se razlikuje tudi v obliki okvira (802.3 okvir), vendar je razlika taka, da ne preprečuje sobivanja enih in drugih omrežij.

Dostop CSMA/CD (Angl. Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection), je v omrežjih Ethernet ostal do danes, čeprav se je njegov pomen z uvedbo komunikacijskih stikal počasi začel izgubljati. Koncept CSMA/CD je enostaven: "Poslušaj predno govoriš". Kadar ima postaja pripravljen naslednji okvir, najprej prisluhne kanalu. V primeru, da kanal ni prost, zadrži oddajo. Če pa je kanal prost, začne z oddajo. Možno je, da začne sočasno z oddajo več postaj, tako pride do trčenja. V primeru trčenja je okvir uničen in potrebna je ponovna oddaja istega okvira. Med oddajanjem svojega okvira postaje hkrati prisluškujejo kanalu. V primeru detekcije trčenja, prekinejo z oddajo in tako sprostijo kanal. Da se zmanjša verjetnost ponovnega trčenja, postaje, ki trčijo, poskusijo ponovno z oddajo po naključnem času. S številom zaporednih trčenj čakalni čas pred ponovno oddajo eksponento raste (Angl. Binary Exponential Back-off).

Iz povedanega sledijo naslednje lastnosti CSMA/CD dostopa, spričo katerih so omrežju Ethernet napovedovali ne prav lepo prihodnost, ki pa se ni uresničila. Prvič, CSMA/CD realizira naključen dostop, kar pomeni, da se ne da zagotovo napovedati, kdaj bo postaja prišla z oddajo na vrsto. Za sisteme v realnem času je kaj takega nedopustno. Po drugi strani pa ostaja dejstvo, da v nizko obremenjenih omrežjih, na kar bi morali paziti v časovno kritičnih omrežjih, postaje pridejo praktično takoj na vrsto. Drugič, z večanjem krajevne razsežnosti omrežja narašča čas širjenja signala od konca do konca, zato narašča verjetnost trčenja (kolizijsko območje), kar se tem bolj pozna, čim bolj je omrežje obremenjeno. Dejstvo pa je, da se kolizijsko območje lahko omeji z vgradnjo mostov in stikal. Tretjič, z višanjem prenosne hitrosti odkrivanje trčenj izgublja na pomenu, saj je okvir končan, še predno se trčenje sploh lahko odkrije. Kakorkoli že, današnja omrežja Ethernet so našla odgovor tudi na to dilemo. Verjetno najbolj bistveno je, da je Ethernet dobil bitko s konkurenčnimi tehnologijami (vodilo z žetonom, Angl. Token Bus in obroč z žetonom, Angl. Token Ring) že dosti prej, predno bi njegove potencialne slabosti lahko prišle do izraza, predvsem zaradi enostavnosti, sledila pa je prisotnost Etherneteta skoraj povsod.

## **3.2 IEEE 802.3 in Ethernet**

Stadardi z oznako IEEE 802.x ( $x = 1,2,3, \dots$ ) se glede na referenčni model OSI nanašajo na podatkovni in fizični sloj lokalnih omrežij, glej sliko 8.

Standard IEEE 802.1 se nanaša na skupne arhitekturne lastnosti omrežij in definira osnovne operacije na obeh vmesnikih podatkovnega sloja, definira most (Angl. Bridge) - komunikacijsko napravo podatkovnega sloja, 802.1Q pa virtualna lokalna omrežja (VLAN). Standard IEEE 802.2 opisuje zgornji del podatkovnega sloja ter protokol poznan pod kratico **LLC** (**L**ogical **L**ink **C**ontrol). Ostali standardi se nanašajo na spodnji del podatkovnega sloja MAC (ang. Media Access Control Sublayer) in prenos signalov v odvisnosti od prenosnega sredstva: IEEE 802.3 na CSMA/CD in Ethernet, IEEE 802.4 na vodilo z žetonom (ang. Token Bus), IEEE 802.5 na obroč z žetonom (ang. Token Ring), IEEE 802.11 na brezžična lokalna omrežja (WLAN), IEEE 802.15 na osebna omrežja (PAN), IEEE 802.16 brezžična mestna omrežja WMAN oziroma WiMax.

ISO OSI	IEEE 802				
Podatkovni sloj	Podatkovni sloj	802.1	802.2 (LLC)		
Fizični sloj	MAC podsloj		802.3	802.4	802.10
	Fizični sloj			802.5	802.11
			802.6	802.12	
			802.7	802.14	
			802.8	802.15	
			802.9	802.16	

Slika 8: Standardi IEEE 802 in sloji modela OSI.

Naslednja tabela (Tabela 1) na kratko povzema tudi ostale dokumente te skupine.

Današnja omrežja Ethernet delujejo v osnovnem frekvenčnem pasu (brez modulacije). Sprava je bil za Ethernet značilen 50 ohmski koaksialni kabel rumene barve, v industriji "triaksialen" kabel, in bifazna Manchester oblika signala. V današnjih omrežjih prevladuje neokopljeni sukani vod ali parica UTP (Unshielded Twisted Pair), izjemoma STP (Shielded TP), NRZ (Non-Return to Zero) oblika signala ter skupinska in večnivojska tehnika kodiranja signala. Na primer, za 100 Mb/s se uporablja kodiranje štirih simbolov s petimi simboli (4B5B), s čimer se poveč kakovost sinhronizacije in odpornost na motnje. Za večje razdalje (in višje hitrosti) pa se vedno več uporabljajo večrodovna in enorodovna vlakna. Spodnja tabela (tabela 2) prikazuje nekatere izstopajoče izvedbe.

802.1	Uvod in arhitektura LAN
802.2	LLC (Logical Link Control), protokol linijskega sloja
<b>802.3</b>	Ethernet
802.4	Vodilo z žetonom (v zatonu)
802.5	Obroč z žetonom (malo prisoten)
802.6	DQDB (Distributed Queue Dual Bus), (MAN) omrežja
802.7	Svetovalni skupina za širokopolasovna omrežja
802.8	
802.9	Isohroni LAN za delo v realnem času (v zatonu)
802.10	Navidezni LAN in varnost (v zatonu)
<b>802.11</b>	Brezžični LAN (WLAN)
802.12	HP AnyLAN
802.13	
802.14	Kabelski modemi
<b>802.15</b>	PAN (Personal Area Networks), Bluetooth, ZigBee
<b>802.16</b>	Širokopolasovna brezžična omrežja (WIMAX)

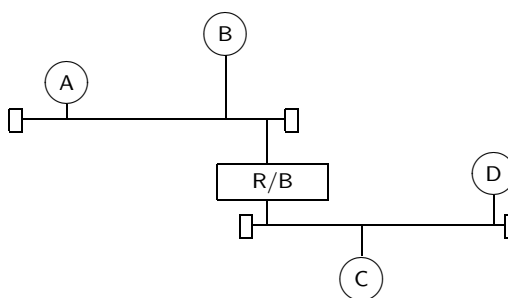
Tabela 1: Dokumenti in delovne skupine IEEE 802. Najvažnejše so v krepkem tisku.

Segmente povezujemo v večje omrežje na več načinov. V omrežjih na koaksialnem kablu sta se uporabljala ponavljalnik (Angl. Repeater) in most (Angl. Bridge). Ponavljalnik je regeneratorski signal (naprava fizičnega sloja). Enako vlogo ima v UTP omrežjih spojišče (Angl. Hub), le da nanj po principu točka-točka vežemo več naprav. Tako nastane zvezdasta oblika omrežja. Slaba lastnost ponavljalnikov in spojišč je, da ne lokalizirajo prometa, signal se svobodno širi skozi napravo. S tem se večja kolizijsko področje, omrežje je bolj občutljivo na napake in vdore.

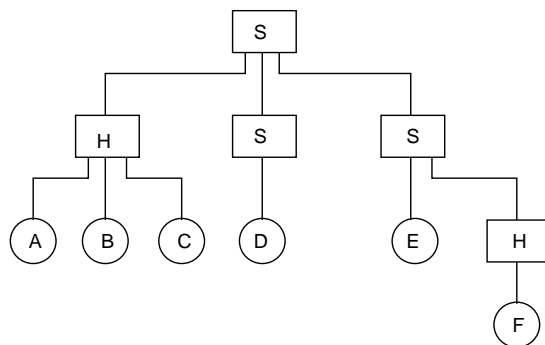
*Most* je selektiven in 'pametnejši' - vsebuje programsko opremo. Sodi na drugi, podatkovni sloj. Most preverja okvire in jih po potrebi spušča naprej na naslednji segment. Recimo, če postaja *A* pošlje okvir postaji *C*, ga most spusti naprej (slika 9). Če pa postaja *A* pošilja postaji *B*, ostane okvir na istem segmentu. Most logično in fizično loči promet na posameznih segmentih, zato lahko istočasno komunicira *A* z *B* in *C* z *D*, s čimer se poveča prepustnost omrežja. Most lahko tudi spremeni obliko okvirja. Danes se most uporablja za povezovanje dveh ali več omrežij, sicer pa so ga po večini zamenjala stikala (angl. Switch). Na stikalo povezujemo naprave po načelu točka-točka, tako nastane hierarhično omrežje na osnovi zvezdastih povezav.

Oznaka	Segment	Opis
802.3		Manchester (bifazno) kodiranje signala
10BASE5	500 m	Debeli (10 mm) koaksialni kabel - osnovni Ethernet
10BASE2	185 m	Tanki (5mm) koaksialni kabel - tanki Ethernet
10BASE-T	100 m	Dve parici kategorije UTP 3 ali več
10BASE-F	2000 m	vlakno
802.3u		Hitri Ethernet, NRZ, 4B5B, 8B6T, ipd, kodiranje
100BASE-T	100 m	Skupno ime za "hitri" 100 MB/s Ethernet na parici
100BASE-TX	100 m	Polni duplex na dveh paricah kategorije UTP 5, 4B5B
100BASE-T4	100 m	Polduplex na štirih paricah UTP 3, 8B6T
100BASE-FX	2000 m	Polni duplex na dvopramenskem vlaknu, 4B5B
100BASE-SX	300 m	Kot FX, le z LED diodami namesto laserskih virov
802.3z		Gigabitni Ethernet, NRZ, PAM5, 8B10B
1000BASE-T	100 m	Štiri parice (za obe smeri) kategorije UTP 5/5e/6
1000BASE-SX	550 m	8B10B NRZ, večrodovno vlakno
1000BASE-LX	5000 m	8B10B NRZ, enorodovno vlakno
802.3ae		10 gigabitni Ethernet na vlaknu
802.3an		10 gigabitni Ethernet na neoklopljeni (UTP) parici

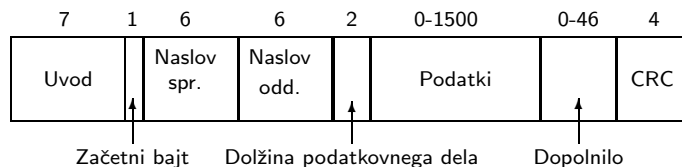
Tabela 2: Nekatere možnosti prenosnih sredstev v omrežjih Ethernet. Iz oznake je razvidna hitrost prenosa, frekvenčni pas (BASE) in dolžina ali tip segmenta.



Slika 9: Ponavljalnik ali most (R/B) povežeta dva segmenta, vendar most loči promet na enem segmentu od prometa na drugem segmentu. Postaji A in B lahko v primeru uporabe mostu komunicirata sočasno s postajama C in D.



Slika 10: Uporaba spojišč (H) ali stikal (S). Stikala, v nasprotju s spojišči, na osnovi Ethernet naslova usmerjajo promet.



Slika 11: Oblika okvirja po standardu Ieee 802.3.

Ethernet stikalo v bistvu deluje podobno kot most: okvir spusti naprej samo v izbrani smeri.

Obliko okvirja po standardu Ieee 802.3 prikazuje slika 11. Med dvema zaporednima okvirjema mora biti časovna praznina v trajanju vsaj 96 bitov. Okvir začenja z uvodom sedmih bajtov (oktetov) za sinhronizacijo (Bitni vzorec 10101010). Uvodnemu delu sledi začetni bajt (10101011) in za njim dve polji naslovov: naslov pošiljatelja (izvora) in naslov sprejemne postaje (ponora). Vsak naslov obsega šest bajtov. Za naslovom pošiljatelja sledi polje (dva bajta), ki pomeni število bajtov v podatkovnem delu okvirja. V podatkovnem delu okvirja se prenaša LLC (802.2.) okvir podatkovnega protokola, ki obsega najmanj 3 bajte. Število podatkovnih bajtov gre torej od 3 do največ 1500 bajtov. Za podatkovnim delom so še štirje bajti za ciklično preverjanje okvirja s polinomom stopnje 32,

$$X^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1.$$

Okvir mora vsebovati najmanj 64 bajtov (od začetka do konca). Če je podatkovni del krajši od 46 bajtov, se ga dopolni z dopolnilnimi bajti na minimalno dolžino 46. Omejitev dolžine okvirja navzdol je potrebna zaradi

CSMA/CD dostopa oziroma odkrivanja trčenj, da se omogoči razlikovati zaradi trčenja "odrezane" okvirje od kratkih koristnih okvirjev.

Oblika okvirja po de facto standardu Ethernet II, ki se v omrežjih Internet od vedno primarno uporablja, se razlikuje od okvirja 802.3 v polju, ki sledi naslovnemu delu in ne pomeni dolžine okvirja, ampak tip okvirja (na primer ARP poizvedba, IP protokol, ... ), vendar je oznaka za tip večja od maksimalne dolžine okvirje, tako da zamenjava okvirjev ni mogoča.

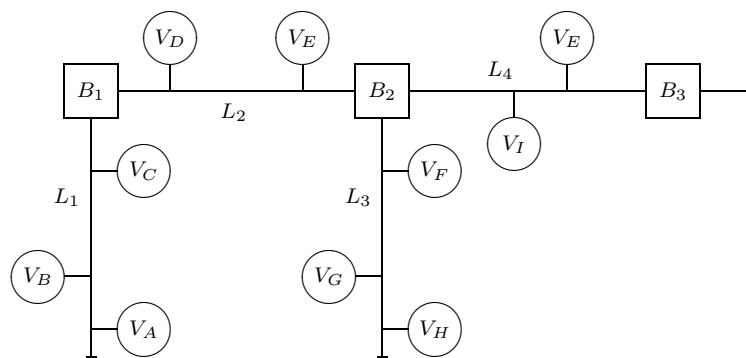
Naslovom v okvirju običajno rečemo kar Ethernet ali fizični naslovi in pomenijo naslov priključka vozlišča.

### **3.2.1 Mostovi in stikala**

Mostovi in stikala so komunikacijske naprave, ki v omrežju služijo kot posredniki informacije. Most (ali stikalo) je naprava drugega, to je podatkovnega sloja in deluje na nivoju okvirjev. Most sprejme in začasno shrani okvir, mu po potrebi spremeni obliko in pošlje naprej, če je to potrebno. Pravimo, da opravlja funkcijo 'filtriranja' okvirjev. Pri svojem delovanju most upošteva obliko in notranjost okvirja, vendar ga podatkovni del okvirja ne zanima. Podatkovni del okvirja ostane pri prehodu skozi most nedotaknjen.

Tipični razlogi za vgradnjo mostov/stikal v omrežje so: povezovanje obstoječih, samostojno zgrajenih omrežij, povečanje razsežnosti omrežja, povečanje števila postaj, povečanje prepustnosti omrežja, povečanje zanesljivosti delovanja, povečanje varnosti. Lokalna omrežja so razmeroma cenena in ne redko nastajajo ločeno in neodvisno eno od drugega, pa čeprav v istem podjetju ali celo v isti zgradbi. Razumljivo se s časom pojavi potreba po povezovanju takšnih omrežij v skupno omrežje. Omrežja, ki jih povezujemo z mostovi, so od vključno tretjega sloja navzgor običajno popolnoma identična (enaki protokoli na vseh slojih). Z mostom lahko povezujemo omrežja, ki so na spodnjih dveh slojih enakega ali različnega tipa. Povezovanje omrežij enakega tipa, recimo omrežje po standardu IEEE 802.3 z enakim omrežjem, je manj zahtevno od povezovanja omrežij različnih tipov. V prvem primeru se oblika okvirja ne spremeni in most okvirje resnično samo filtrira. Pri prehodu iz omrežja IEEE 802.11 v omrežje IEEE 802.3 ali podobno pa se mora spremeniti tudi oblika okvirja, velikost okvirja, hitrost prenosa, frekvenčni pas signala, nekaterih funkcij pa se enostavno ne da realizirati.





Slika 12: Lokalno omrežje z več segmenti in mostovi  $B_1$ ,  $B_2$  in  $B_3$ .

Most/stikalo je primeren tudi tedaj, kadar obremenitev omrežja tako naraste, da se začne manjšati njegova prepustnost. Za lokalna omrežja so značilne razmeroma intenzivne komunikacije znotraj delovnih skupin, navzven pa je komunikacij bistveno manj. S primernim nameščanjem mostov se da omejiti širjenje okvirjev samo na del omrežja, tako da lokalne komunikacije po nepotrebnem ne obremenjujejo celega omrežja.

Z vgrajevanjem mostov/stikal se večja tudi zanesljivost delovanja omrežja. Če se prekine segment, ki je od ostalega omrežja ločen z mostom, to ne moti obratovanja ostalega dela omrežja. Z mostovi se da tudi omejiti širjenje okvirjev z zaupno informacijo, ki bi jih lahko sicer prestregel vsiljivec.

Uporabljata se dve vrsti mostov, prozorni most (ang. Transparent Bridge) in most z usmerjanjem v izvoru (ang. Source Routing Bridge). Poglejmo si delovanje prozornih (transparentnih) mostov.

Prozoren most se sam prilagaja spremembam v omrežju. Tako ime ima zato, ker je za uporabnike praktično neviden. Delovanje mostu bomo razložili s pomočjo slike 12.

Mislimo si, da postaja  $V_A$  pošilja okvir postaji  $V_B$ . Ker sta  $V_A$  in  $V_B$  na istem segmentu  $L_1$ , ga most ne pošlje na naslednji segment. Sedaj pa vzemimo, da postaja  $V_A$  pošilja okvir postaji  $V_F$ . Ker  $V_F$  ni na istem segmentu kot  $V_A$ , most  $B_1$  pošlje okvir na segment  $L_2$ . Pri tem most  $B_1$  ne zanima, ali se  $V_F$  zares nahaja na segmentu  $L_2$  ali ne. Posredovanje okvirja naprej na segment

$L_3$ , kjer se nahaja postaja  $V_F$ , je naloga mosta  $B_2$ . Seveda mora most  $B_2$  vedeti, da  $V_F$  ni na segmentu  $L_2$  in tudi, na katerem segmentu je.

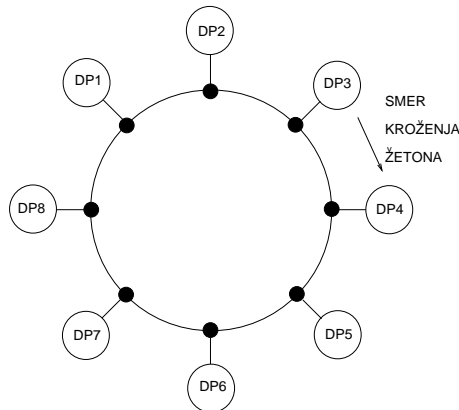
Zastavlja se vprašanje, kako mostovi ugotovijo in sicer brez posredovanja uporabnika, kdaj naj okvir zadržijo in kdaj naj ga pošljejo naprej ter tudi v katero smer. V ta namen most vzdržuje usmerjevalno tabelo. V začetku obratovanja mostu je tabela prazna. Most ne ve niti kje so postaje niti kje so drugi mostovi. To mora šele ugotoviti. Ko pride okvir za neznano postajo do mostu, ga most pošlje naprej v vse smeri. Temu rečemo preplavljanje. Z obratovanjem pa se most uči in začne pošiljati okvirje naprej in samo tja, kamor je potrebno. Delovanje mostov lahko povzamemo v naslednjem algoritmu: če je naslovljenec na istem segmentu kot pošiljatelj, potem zavrži okvir (pri stikalih to ni mogoče). Drugače, če je segment naslovljenca znan, potem pošlji v to smer, sicer pošlji v vse smeri.

Most se uči iz prišlih okvirjev. Algoritmu učenja pravimo "vzratno učenje" (ang. Backward Learning). Ko na primer most  $B_1$  sprejme okvir od postaje  $V_A$ , ki je na segmentu  $L_1$ , preveri naslov izvora (pošiljatelja) in naslov ponora (naslovljenca). Če naslovljenca ne pozna, pošlje okvir naprej v vse smeri. Če pa ne pozna pošiljatelja (torej  $V_A$ ), vpiše v svojo usmerjevalno tabelo, da se  $V_A$  nahaja na segmentu  $L_1$ . Ko v prihodnosti dobi okvir za postajo  $V_A$ , pošlje okvir na segment  $L_1$  ali pa ga zadrži na tem segmentu. Po začetnem času učenja si vsi mostovi zgradijo usmerjevalne tabele. Da tabele zaradi morebitnih sprememb v omrežju s časom ne zastarajo, se vodi časovni nadzor. Po predvidenem času obratovanja most ponovi postopek učenja. Podobno delujejo tudi stikala.

### 3.3 Obroč z žetonom in IEEE 802.5

Lokalna omrežja *obroč z žetonom* (Angl. Token Ring) je po obliki obroč. Za omrežje topologije obroč je značilno, da so postaje oziroma vmesniki postaj krožno vezani eden z drugim s povezavo točka-točka. Obroč je nepristranski do postaj in jim omogoča popolnoma determinističen dostop do kanala. Na sliki 13 je shematično prikazana mreža, ki je po obliki obroč. Postaje so na omrežje vezane preko vmesnikov. Vmesniki postaj pa so vezani v obroč.

V obroču z žetonom kroži v obroču poseben bitni vzorec (kratek okvir), ki mu pravimo žeton. Ko nobena postaja nima želje po oddaji, je obroč prost



Slika 13: Mreža topologije obroč.

in po obroču enakomerno kroži žeton. Če postaja želi oddajati, se mora prej polastiti žetona. Postaja počaka, da žeton pride do nje, vzame žeton iz obroča oziroma spremeni žeton v začetek okvirja in prične z oddajo vsebine okvirja. Ker je v obroču samo eden žeton, ima pravico do oddaje v nekem obdobju samo ena postaja - tista, ki ima v lasti žeton. Trčenje dveh ali več postaj je zato nemogoče. Zaradi fizične izvedbe kanala pride oddana informacija po zakasnilnem času naokrog tudi do oddajne postaje. Oddajna postaja ima takrat možnost, da primerja oddano informacijo s sprejeto informacijo, lahko pa jo preprosto zavrže. To omogoča sprejemni postaji razmeroma enostavno potrjevanje pravilno sprejetih okvirjev in oddajni postaji preverjanje pravilnosti prenosa.

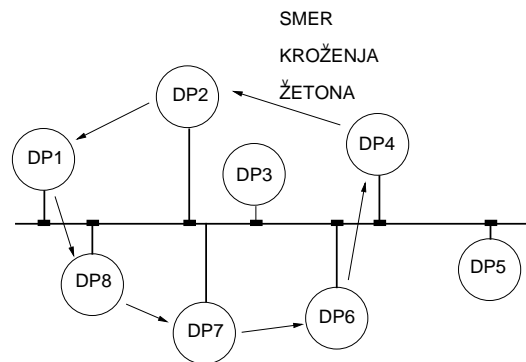
Kadar omrežje ni obremenjeno, se večino časa v obroču nahaja žeton. Ko pa obremenitev narašča in postaje čakajo na oddajo, se žetona polasti naslednja (sosednja) postaja takoj, ko prejšnja postaja konča z oddajo in obnovi žeton. V močno obremenjeni mreži zato pravica do oddaje enakomerno kroži od postaje do postaje in kanal je maksimalno izkoriščen. To je važna lastnost mreže obroč z žetonom, v mreži tipa CSMA/CD so razmere ravno obratne: prepustnost mreže z obremenitvijo zaradi trčenj močno pade.

Eden od parametrov obroča z žetonom je maksimalni držalni čas žetona THT (ang. Token Holding Time). V tem času lahko lastnik žetona odda okvir ali zaporedje krajših okvirjev, po tem času pa je obvezen sprostiti žeton. Z daljšanjem držalnega časa žetona se izkoristek omrežja sicer veča, čakalni čas na oddajo pa narašča. Druga možnost je omejitev obhodnega časa žetona

TTRT (Angl. Target Token Rotation Time), kot je na primer v omrežju FDDI. V omrežju tipa obroč se da realizirati prioritetni sistem in tako jamčiti kakovost storitev.

### 3.4 Vodilo z žetonom in IEEE 802.4

Vodilo z žetonom (Angl. Token Bus) je sprva predstavljalo resno alternativo Ethernetu. Ethernetu so očitali *naključni dostop*, ki da v industrijskem okolju ne pride v poštev, saj se lahko zgodi, pa čeprav je zelo malo verjetno, da postaja čaka na kanal zelo dolgo, dlje, kot to dovoljuje industrijski proces. Čas čakanja na kanal v omrežju tipa CSMA/CD ni navzgor omejen. Druga kritika omrežja tipa CSMA/CD gre na račun nezmožnosti izvedbe *prioritetnega sistema* dodeljevanja kanala. Namreč, manj pomembni okvirji lahko prehitevajo bolj pomembne okvirje, kar je v sistemih, ki morajo delovati v realnem času, nedopustno. V mrežah s topologijo obroč dostop do kanala ni naključen, čas čakanja na kanal v najslabših razmerah pa je za vsako postajo navzgor omejen in vnaprej znan. Namreč, v omrežju z  $N$  postajami, bo poljubna postaja čakala na kanal največ  $(N - 1) \times T$ , kjer je  $T$  čas trajanja okvirja oziroma najdaljši čas oddajanja posamezne postaje. Vodilo z žetonom je združilo dobre lastnosti vodila (enostavnost povezovanja) z determinističnim dostopom obroča. V omrežju tipa vodilo z žetonom je dostop do kanala urejen z žetonom. Žeton pomeni pravico do oddaje. Samo postaja, ki ima v lasti žeton, sme začeti z oddajo okvirja. Ker je v omrežju en sam žeton, do trčenja ne more priti. Žeton je poseben bitni vzorec oziroma ustrezno označen kratek okvir, ki "kroži" od postaje do postaje. Ko postaja odda podatkovni okvir ali zaporedje okvirjev, nazadnje odda še žeton in zraven pove komu je namenjen. V omrežju po obliki vodilo zaznajo žeton sicer vse postaje, sprejme pa ga le naslovljena postaja (tista, ki ji je žeton namenjen). Vsaka postaja ima na vodilu enoznačno določen naslov, po katerem je znana drugim postajam. Vsaka postaja na vodilu pozna naslov predhodne postaje, od katere bo dobila žeton in naslov nasledne postaje, ki ji bo prepustila žeton. Na ta način se pravica do oddaje seli od postaje do postaje v predvidenem zaporedju. Zadnja postaja preda žeton spet prvi postaji in logični obroč je sklenjen. Vrstni red, v katerem so postaje fizično priključene na kanal, je nepomemben. Možno je tudi, da so v logičnem obroču samo nekatere od fizično priključenih postaj, kot je narisano na sliki 14. Na kanalu



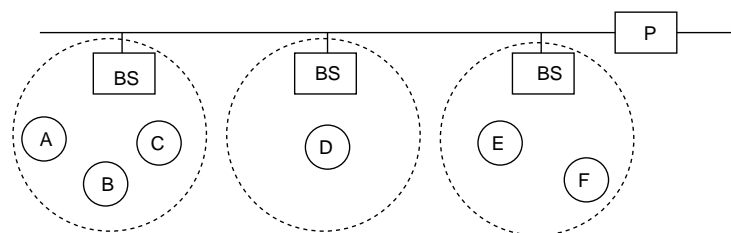
Slika 14: Vodilo z žetonom. V logičnem obroču so samo postaje 8, 7, 6, 4, 2, 1. Postaji 3 in 5 nista v obroču.

se vrstijo okvirji, ki jih poslušajo vse postaje, ki so v logični zanki, okvir pa sprejme samo tista postaja, ki ji je okvir namenjen.

V začetku obratovanja omrežja logičen obroč še ne obstaja in potrebno ga je šele vzpostaviti. Vzdrževanje obroča pa je potrebno tudi med obratovanjem omrežja. Razmere v omrežju se s časom spreminjajo, nekatere postaje postajajo aktivne in želijo "vstopiti" v obroč, druge obroč zapuščajo. Možno je tudi, da postaje izpadejo zaradi okvare ali pa se enostavno izklopijo. S tem se logični obroč prekine. V primeru, da izpade postaja, ki ima v lasti žeton, pa se izgubi tudi žeton. Skratka, omrežje vodilo z žetonom mora imeti izdelane mehanizme, ki omogočajo vzpostavitev in vzdrževanje obroča, vstopanje v obroč in izstopanje iz obroča ter nadzor nad podvojenimi in izgubljenimi žetoni. Obroč z žetonom se je najbolj uveljavil v industrijskih okoljih (Profibus, P-Net, precej podoben je tudi FIP, vsi so zajeti v standardu IEC 61158). Prav kompleksnost upravljanja z žetonom in nesluten razmah Etherneta pa sta glavna vzroka, da taka omrežja vedno redkeje srečamo.

### 3.5 Brezžični LAN in IEEE 802.11

Čeprav se Ethernet uporablja skoraj povsod, pa ob njem in včasih tudi na njegovom mestu nastajajo vse več priložnosti za brezžična omrežja. Želja po mobilnosti obdelave podatkov je narekovala razvoj prenosnikov, tem je sledila potreba po mobilni povezljivosti, tu pa brezžične povezave nimajo prave konkurence - razvil se je WiFi in sledil je standard IEEE 802.11. Omrežja 802.11 predvidevajo dva načina delovanja: z in brez bazne oziroma



Slika 15: Mobilno večcelično brezžično omrežje.

dostopovne postaje (Angl. Access Point). V njeni prisotnosti poteka vsa komunikacija preko nje. Če bazne postaje ni (v t.i. "ad hoc" omrežjih), pa komunikacija poteka direktno med končnimi postajami. Sredi devetdesetih let, ko je nastajal brezžični LAN (WLAN), je bil Ethernet že dobro vsidran skoraj povsod, to je pomenilo zahtevo po kompatibilnosti z njim - izgled brezžičnega LAN-a navzgor proti mrežnemu sloju naj bi se ne razlikoval od klasičnega Etherneta. Konkretno, IP paket naj bi šel preko brezžičnega omrežja enako, kot po ožičenem Ethernetu. V brezžičnem omrežju CSMA/CD dostop zaradi omejenega dosega signala, ovir, odbojev, ne pride v poštev. Selitev postaje pa je problematična tudi zaradi usmerjanja. Rešitev se je našla v sistemu večih baznih postaj oz. celic in povezavi le-teh z Ethernetom, kot kaže slika 15; od zunaj je omrežje WLAN videti kot običajen Ethernet.

IEEE 802.11 označuje družino brezžičnih (WLAN) omrežij, ki uporabljajo različne tehnike moduliranja, a enak protokol. Prva omrežja so delovala s hitrostjo 1 in 2 Mb/s, a še predno bi lahko zaživela, jih je nadomestila hitrejša tehnologija. Na fizičnem sloju se uporabljajo različne tehnike moduliranja v širokem spektru: s rekvenčnim skakanjem FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum), z neposrednim zaporedjem DSSS in HR-DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum in High Rate DSSS), ortogonalno frekvenčno multipleksiranje OFDM (Orthogonal Frequency division Multiplexing), kodno multipleksiranje CDMA (Code Division Multiple Access), in še nekatere druge. Razen IEEE 802.11a, ki deluje na frekvencah nad 5 GHz, delujejo v ISM (Industrial Scientific Medical) frekvenčnem pasu 2.4-2.5 GHz. Maksimalne hitrosti prenosa so 54 Mb/s za 802.11a, 11 Mb/s za 802.11b, ki je najbolj razširjen in 54 Mb/s za 802.11g. Skupna oznaka za vse je 802.11x. Nekaj podatkov je zbranih v tabeli 3.

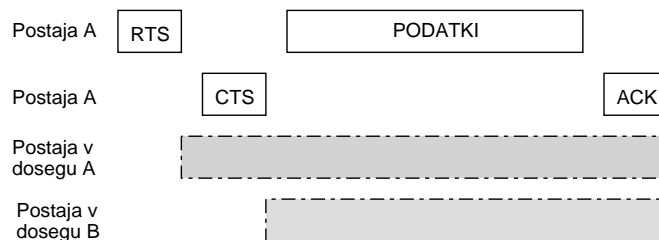
Oznaka	Datum	Frekvenčni pas	Hitrost	Max. hitrost	Doseg
802.11	1997	2.4 - 2.5 GHz	1 Mb/s	2 Mb/s	
802.11a	1999	5.15-5.35 GHz	25 Mb/s	54 Mb/s	50 m
		5.457-5.725			
		5.725-5.9875 GHz			
802.11b	1999	2.4-2.5 GHz	6.5 Mb/s	11 Mb/s	100 m
802.11g	2003	2.4 GHz ali 5 GHz	11 Mb/s	54 Mb/s	100 m

Tabela 3: Nekateri podatki omrežij WLAN IEEE 802.11

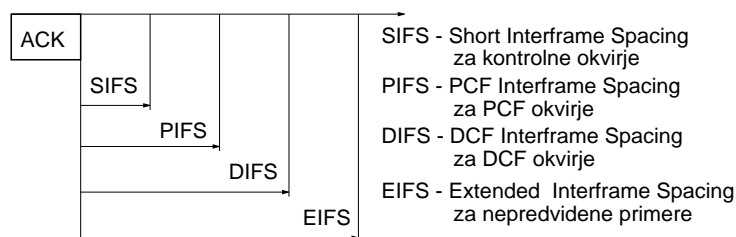
Dostop do prenosnega sredstva v WLAN se razlikuje glede na to, ali je v omrežju prisotna bazna postaja ali ne. WLAN brez bazne postaje, to je v DCF načinu (Distributed Coordination Function), deluje po načelu CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), ki je pravzaprav CSMA/CD brez odkrivanja trčenj. Postaje prisluškujejo kanalu. V primeru, da je kanal zaseden, postaja počaka z oddajo, sicer začne z oddajo, vendar med oddajanjem ne posluša. Če trči, poskusi z oddajo ponovno po naključnem času. Druga možnost v načinu DCF je t.i. virtualno zaznavanje kanala in napovedovanje oddaje ter deluje takole (slika 16). Postaja A, ki bi želela oddati okvir postaji B, z RTS (Request To Send) zahteva od nje dovoljenje, ki ga denimo le-ta potrdi s CTS (Clear To Send). Postaja A zato začne z oddajo okvirja postaji B, pred tem pa nastavi časovnik za čakanje na potrdilo ACK (Acknowledge). Če potrdilo pride predno se časovnik izteče, je prenos uspešno opravljen, v nasprotnem primeru se vse skupaj ponovi. Druge postaje, ki so v dosegu postaje A in torej slišijo njeno zahtevo RTS, iz zahteve razberejo pričakovano trajanje oddaje, zato morebitno svojo oddajo zadržijo za vsaj toliko časa. Postaje, ki niso v dosegu postaje A, ne slišijo zahteve RTS. Tiste postaje pa, ki so v dosegu postaje B, slišijo njen odgovor CTS in zato, da ne bi motile njenega sprejema, zadržijo morebitno oddajo do potrdila ACK.

V omrežjih z bazno postajo je urejen dostop "centralno" z bazno postajo; imenuje se PCF način (PCF - Point Coordination Function). Bazna postaja eksplicitno dodeljuje kanal (poziva "svoje" postaje), tako da do trčenja ne more priti. V ta namen periodično oddaja svarilni okvir (Angl. Beacon Frame), s katerim nastavi določene komunikacijske parametre, pa tudi vabilo za vstop nove postaje v pozivni seznam.

Omrežja tipa DCF in PCF lahko sobivajo. Ta možnost je urejena s časovnim



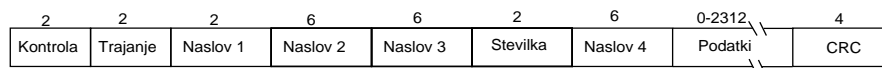
Slika 16: Dostop do prenosnega sredstva z virtualnim zaznavanjem zasedenosti kanala.



Slika 17: Časovni nadzor za dostop do prenosnega sredstva.

nadzorom prostega intervala med dvema zaporednima okvirjema. Obstajajo štiri t.i. časovne reže, vsaka je rezervirana za oddajo določenega tipa okvirjev. Krajša kot je časovna reža, višja je prioriteta (slika 17).

Brezžična omrežja so z vidika varnosti (tajnosti in verodostojnosti) bolj ranljiva od ožičenih. Prijava (in odjava) nove postaje v omrežje z geslom je zato nujna. Možnost zlorabe pa kljub temu še vedno obstaja. Zaupnost komuniciranja temelji na protokolu WEP (Wired Equivalent Privacy) in algoritmu šifriranja z algoritmom RC4, katerega avtor je, kot številnih drugih algoritmov, Ronald Rivest. Za povprečnega uporabnika algoritem zagotavlja zadostno stopnjo zaupnosti. Kot pove ime, naj bi WEP zagotavljal stopnjo zaupnosti, ki je ekvivalentna zaupnosti v ožičenih omrežjih.



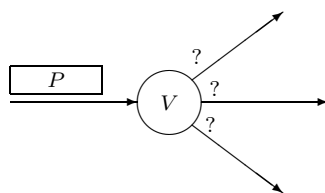
Slika 18: Zgradba okvirja.



Na koncu pokomentirajmo še zgradbo okvira (slika 18). Okvir začne s kontrolnim poljem, ki vsebuje verzijo protokola, tip in podtip okvirja (npr. podatkovni okvir, kontrolni okvir, itd.). Sledi polje za trajanje okvirja (koliko časa bo okvir potreboval kanal), štiri naslove (naslova izvirne in ponorne mobilne postaje, naslova odhodne in prihodne bazne postaje), zaporedno številko fragmenta (okvir je lahko sestavljen iz manjših fragmentov). Preostanek je podatkovni del in kontrolna vsota.

## 4 Delovanje omreža

Glavna naloga mrežnega sloja je zagotavljanje poti prenosa od izvora do ponora oziroma povezljivost končnih vozlišč. Vozlišča, ki opravljajo to nalogo, se imenujejo usmerjevalniki (angl. Routers). Podatkovna enota tega sloja je paket. Ko usmerjevalno vozlišče dobi paket, ga mora poslati oziroma usmeriti naprej v pravo smer, dokler paket ne pride do cilja (slika 19). To imenujemo usmerjanje. Usmerjanje poteka na osnovi usmerjevalnih tabel. Vsebine tabel se lahko določa na več načinov; te imenujemo algoritmi usmerjanja. Samo usmerjanje opravljajo usmerjevalni (usmerjani) protokoli. Druga naloga mrežnega sloja je naslavljanje. Vsako vozlišče ima svoj mrežni naslov, po katerem je znano drugim vozliščem. Oblika in pomen naslova je odločilna za usmerjanje. Paket mora priti na cilj tudi, če se ciljno vozlišče ne nahaja v istem omrežju kot izvirno vozlišče. Povezovanje omrežij med seboj je tretja naloga mrežnega sloja.



Slika 19: Osnovna naloga vmesnih vozlišč je usmerjanje paketov.

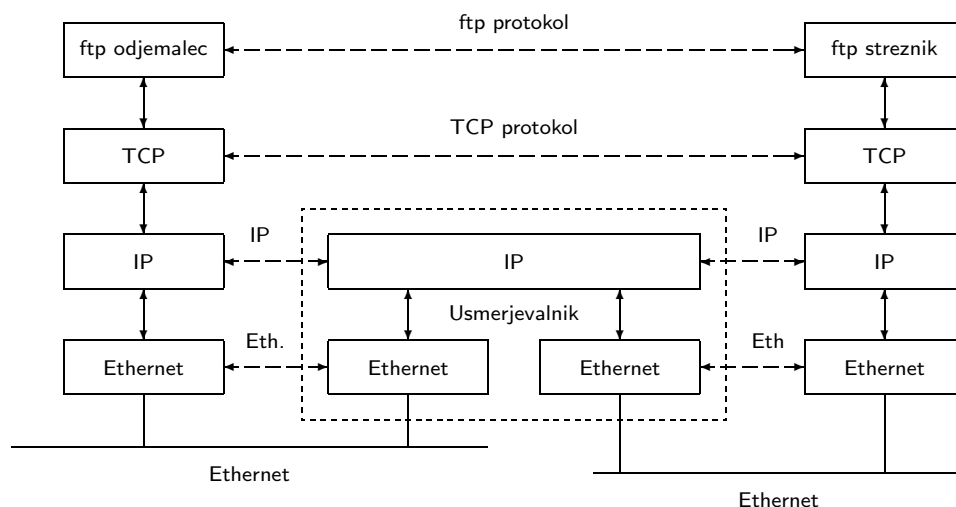
Obstajata dva tipa omrežij, povezavno in nepovezavno usmerjena. V prvih omrežjih se najprej določi pot skozi omrežje ("navidezna povezava"), po kateri potem poteka prenos vseh paketov drugega za drugim, ko povezava ni več potrebna, se podre. Tako deluje na primer ATM. V drugih omrežjih

predstavlja vsak paket samostojno podatkovno enoto, ki gre od vozlišča do vozlišča po najbolj primerni poti, dokler ne pride do ciljnega vozlišča (ali pa se "izgubi"). Do vzpostavitve povezave nikoli ne pride. Taka omrežja, kot je na primer Internet, so tipa datagram. Datagram omrežje se trudi dostaviti paket od izvora do ponora. Naloga vsakega usmerjevalnika je, da preda paket naprej naslednjemu (direktno povezanemu) usmerjevalniku, pot od tam naprej ga ne zanima. Omrežje ne preprečuje podvajanja in/ali izgubljanja paketov, niti ne zagotavlja sekvenčnosti dostave paketov. Tako deluje IP protokol.

Usmerjanje je lahko statično ali dinamično. Če je statično, se vsebine usmerjevalnih tabel med obratovanjem ne prilagajajo spremembam (se med samim obratovanjem ne spreminjajo). Algoritme usmerjanja v grobem delimo na lokalne (izolirane), porazdeljene in globalne (centralizirane). V prvem primeru določi vsak usmerjevalnik svojo tabelo sam na podlagi lastnega poznavanja omrežja. V porazdeljenem si sosednja usmerjevalna vozlišča izmenjuje usmerjevalne tabele ali del usmerjevalnih tabel. Z obratovanjem se tabele izpopolnjujejo in izboljšujejo. Slaba stran teh algoritmov je razmeroma počasna konvergenca in neobčutljivost na spremembe v omrežju. V omrežjih TCP/IP tako na primer deluje RIP (Routing Information Protocol, RIPv1 in RIPv2), vendar ga izpodrivajo drugi algoritmi, kot denimo OSPF (Open Shortest Path First). OSPF je globalnega oziroma centraliziranega tipa. Usmerjevalnik najprej pridobi podatke o topologiji omrežja od drugih usmerjevalnih vozlišč preko svojih sosedov. Usmerjevalniki preverjajo stanje direktnih povezav. Stanje direktnih povezav posredujejo svojim neposrednim sosedom. Preko sosedov se stanja direktnih povezav razširjajo po omrežju. Vsak usmerjevalnik tako dobi stanje povezav v celem omrežju. Na podlagi tega z optimizacijskim algoritmom (iskanje najkrajših poti) določi vsebinske usmerjevalne tabele.

## 4.1 Usmerjanje in Internet

Internet ("medmrežje") povezuje veliko število omrežij, tako imenovanih avtonomnih sistemov (Angl. AS - Autonomous System). AS je običajno v upravljanju enega operaterja. Usmerjanje znotraj AS je avtonomno, to je neodvisno od usmerjanja izven AS, usmerjevalni protokol (algoritem usmerjanja znotraj AS se imenuje IGP (Interior Gateway Protocol ali Intradomain



Slika 20: Primer povezave dveh TCP/IP omrežij tipa Ethernet z usmerjevalnikom. Posredništvo se zgodi na tretjem (mrežnem sloju).

Routing Protocol). Umerjevalna protokola v uporabi sta RIP (Routing Information Protocol) in/ali OSPF (Open Shortest Path First). OSPF močno prevladuje. Za usmerjanje med avtonomnimi sistemi skrbi EGP (Exterior Gateway Protocol), t.i. Interdomain Routing Protocol, ki je tipično BGP (Border Gateway Protocol).

Usmerjevalniki (vozlišča z več priključki) in končna vozlišča (vozlišča z enim ali več priključki) vzdržujejo usmerjevalne tabele. Usmerjevalniki delujejo kot posredniki paketov (sprejmejo paket na enem priključku in ga pošljejo naprej na drugem priključku). Končna vozlišča ("Host") ne posredujejo paketov, sprejemajo/oddajajo svoje pakete (pakete s svojim naslovom, skupinskim (Angl. Multicast) in splošnim (Angl. Broadcast) naslovom. Posredovanje paketov na podlagi usmerjevalne tabele je zadolžen IP. Določanje vsebin usmerjevalnih tabel je naloga algoritmov ter protokolov usmerjanja (RIP, OSPF, BGP).

Načelna skica povezave dveh Ethernet omrežij z IP usmerjevalnikom s stališča slojne zgradbe omrežja je prikazana na sliki 20. Usmerjevalnik pošlje paket naprej samo, če je potrebno, kar razbere iz svoje usmerjevalne tabele. Posredništvo se zgodi na tretjem sloju; usmerjevalnik se odloča na podlagi IP (mrežnih) naslovov. Če bi se posredništvo zgodilo na drugem (Ethernet) sloju, bi bila vmesna naprava most ali stikalo. Most (stikalo) bi opravi-

posredništvo na osnovi Ethernet naslovov.

Poglejmo, kako v načelu poteka usmerjanje paketov. V ta namen si najprej pogledjmo možen izgled in razlago usmerjevalne tabele končnega vozlišča.

Destination	Gateway	Flags	Refs	Use	Interface	Pmtu
127.0.0.1	127.0.0.1	UH	0	320455	lo0	4608
193.2.72.140	127.0.0.1	UH	27	3201312	lo0	4608
193.2.72	193.2.72.140	U	9	5245675	lan0	1500
default	193.2.72.65	UG	55	3004572	lan0	1500

- Destination: ciljni IP naslov je lahko
  - poln IP naslov vozlišča
  - naslov omrežja (t.j. omrežni del IP naslova)
- Gateway: v tem polju je
  - IP naslov usmerjevalnika (angl. next-hop router) ali
  - naslov direktno vezanega omrežja (angl. IP address of a directly connected network).

Usmerjevalnik prevzema pakete, ki jih (lokalna) vozlišča preko njega pošiljajo vozliščem na drugi strani.

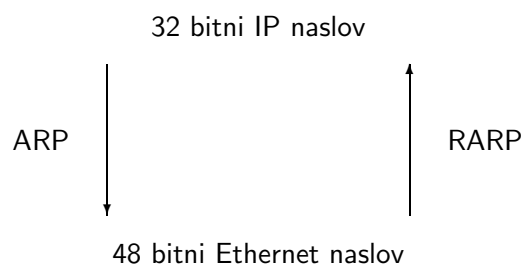
- Zastavice (ang. Flags):
  - U: (Up) povezava je aktivna.
  - H: (Host) ciljni naslov je naslov omrežja (H=0) ali vozlišča (H=1).
  - G: (Gateway),
    - G=1, v stolpcu Gateway je naslov usmerjevalnika
    - G=0, v stolpcu Gateway je direktno vezano vozlišče.
- Ime vmesnika, na katerega se pošlje paket.
- Ostala določila: (število aktivnih povezav, št. prenešenih paketov, ..).

Posredovanje (usmerjanje) pa poteka takole:

- Ciljni naslov paketa se primerja s ciljnim naslovi v tabeli. V primeru zadetka, se postopa takole.
  - Če je vozlišče s ciljnim (ponornim) naslovom direktno priključeno, se pošlje na ta naslov.
  - V nasprotnem primeru se pošlje usmerjevalniku, ki je naveden v pripadajoči vrstici tabele.
- V primeru, da naslova vozlišča ni v tabeli, se v tabeli išče ujemenje naslova ciljnega omrežja paketa, naprej se postopa enako.
- Če se naslova v tabeli ne najde, se uporabi privzeti ("default") usmerjevalnik.
- V primeru, da se ciljnega vozlišča ne najde, sledi sporočilo napake "host unreachable" ali "network unreachable".

## 4.2 ARP in RARP

Protokol ARP (Address Resolution Protocol), kot nakazuje njegovo ime, skrbi za preslikavo mrežnih naslovov v priključno mesto vozlišča ali tako imenovani fizični naslov. RARP (Reverse ARP) skrbi za obratno preslikavo, a bolj pomemben je ARP. V Ethernet omrežju je fizični naslov v bistvu 48 bitni Ethernet naslov.



Vsako vozlišče v omrežju je enolično določeno z 32 bitnim mrežnim (IP) naslovom. Če želi dano izvorno vozlišče poslati paket izbranemu (ponornemu) vozlišču, mora poznati njegov (IP) naslov. V ta namen formira IP paket

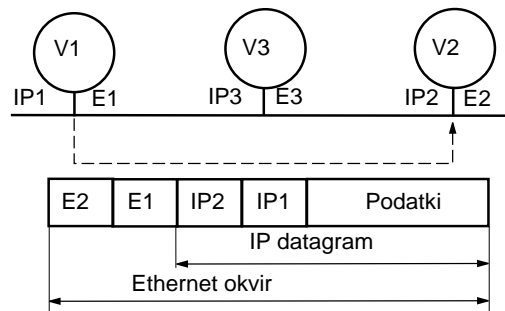
s koristno vsebino in doda glavo paketa, v katero vpiše tudi oba (izvirni, ponorni) IP naslova, nato preda paket podatkovno linijskemu sloju. Linijski sloj formira okvir s koristno informacijo (to je v tem primeru IP paket) in doda svojo glavo. V okvir vpiše tudi oba Ethernet naslova, svojega, ki ga seveda pozna, in ponornega, ki pa ga v splošnem ne pozna. Tu pride na vrsto ARP. Vozlišče formira ARP poizvedovalni okvir, namesto ponornega naslova pa vanj vpiše splošni naslov (naslovi vsa vozlišča). Poizvedovalni okvir z znanim IP naslovom se širi po omrežju in poizveduje po pripadajočem Ethernet naslovu, dokler se iskano vozlišče ne odzove z okvirjem, ki nosi njen Ethernet naslov. Poizvedovalno vozlišče sedaj lahko pošlje okvir (v katerem je IP paket) ponornemu vozlišču. Z obratovanjem si vsako vozlišče posodablja tabelo ARP, tako da ponovno poizvedovanje ni potrebno.

Poizvedovalni okvir se svobodno širi preko mostov in stikal, kot da jih sploh ne bi bilo. Delovanje ARP v istem omrežju (en sam Ethernet segment ali več segmentov povezanih z mostovi) povzema naslednje zaporedje dogodkov:

- Vozlišče V1 z mrežnim (IP) naslovom IP1 in Ethernet naslovom E1 pošilja paket vozlišču V2 z IP naslovom IP2 in Ethernet naslovom E2. Zato formira IP paket z naslovom ponora IP2, naslovom izvora IP1 in ga preda linijskemu sloju.
- Vozlišče V1 (IP1,E1) ne pozna Ethernet naslova (E2) vozlišča V2, (IP2, EXX). Zato pošlje ARP poizvedovalni okvir na splošni naslov: lastnik IP naslova IP2 prosim pošlji svoj Ethernet naslov.
- Vozlišče V2 v odgovor pošlje svoj Ethernet naslov in prenos paketa lahko steče.
- Vozlišče V1 pošlje IP paket v Ethernet okvirju z naslovom ponora E2. Pomembno: oba naslova, (IP2, E2) sta naslova (mrežni in linijski) ponornega vozlišča.

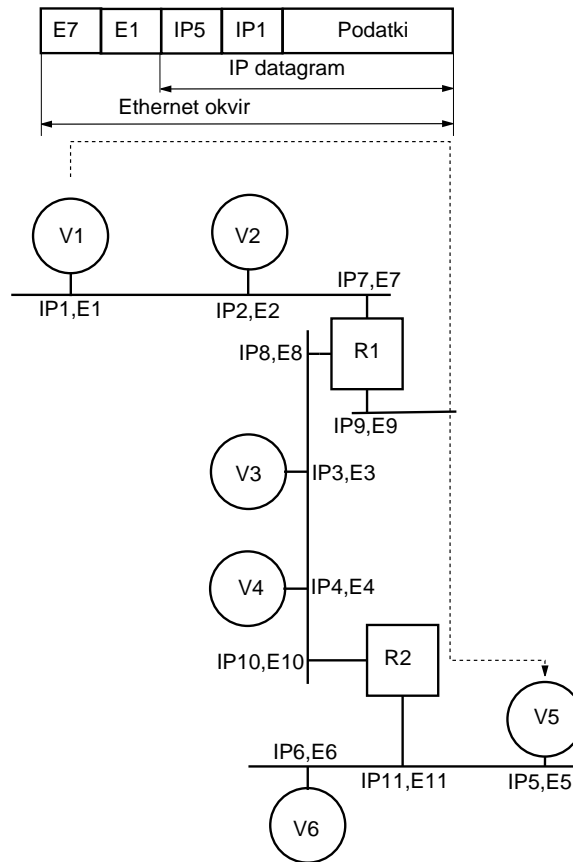
Delovanje ARP v omrežju z usmerjevalnikom je drugačno; v načelu usmerjevalniki obnovijo poizvedbo na danem priključku:

- Vozlišče V1 z IP naslovom IP1 in Ethernet naslovom E1 pošilja paket vozlišču V5 z IP naslovom IP5. Zato formira IP paket in ga preda linijskemu sloju.



Slika 21: Delovanje protokola ARP v preprostem omrežju brez usmerjevalnikov.

- Vozlišče V1 ne pozna Ethernet naslova (E5)vozlišča V5. Možno je dvoje:
  - Prvi primer:
    - Vozlišče V1 iz svoje usmerjevalne tabele razbere, da vozlišče V5 ni direktno priključeno. V tabeli najde IP naslov usmerjevalnika R1 (IP7)in prosi za njegov Ethernet naslov (poizvedba ARP).
    - Usmerjevalnik vrne svoj Ethernet naslov, E7.
    - Vozlišče V1 pošlje IP paket vozlišču V5 v Ethernet okviru s ponornim Ethernet naslovom usmerjevalnika. Pomembno: IP naslov je (vedno) naslov ponornega vozlišča (IP5), Ethernet naslov pa je naslov usmerjevalnika, (IP5,E7).
  - Drugi primer:
    - Vozlišče V1 pošlje ARP poizvedovalni paket: lastnik IP naslova IP5 prosim pošlji svoj Ethernet naslov.
    - Vozlišče V5 se nahaja na drugem segmentu (podomrežju), ki ju povezuje posrednik - usmerjevalnik.
    - Posrednik (ustrezno konfiguriran) iz svoje tabele razbere, da ima vlogo posrednika.
    - Vozlišču V1 v odgovor pošlje svoj Ethernet naslov in ne Ethernet naslov ponornega vozlišča. ("Proxy ARP").



Slika 22: Delovanje protokola ARP v primeru usmerjevalnika.

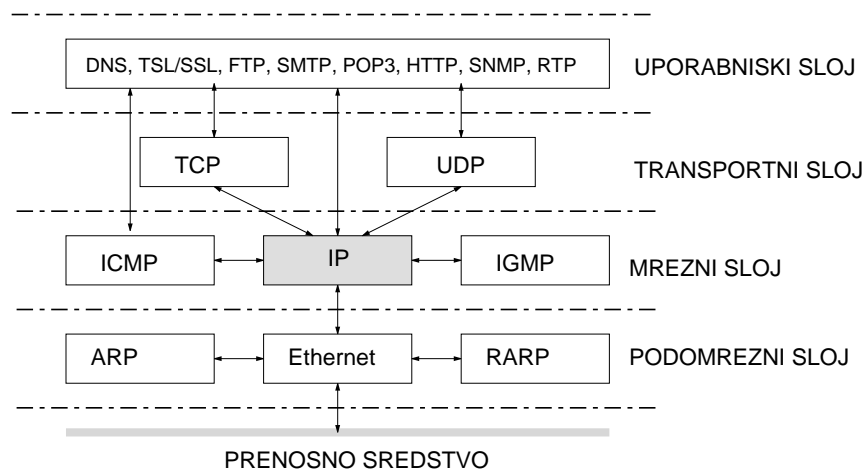
- Vozlišče V1 pošlje IP paket z naslovom ponora IP5 v Ethernet okviru s ponornim Ethernet naslovom usmerjevalnika.

### 4.3 Naslavljanje in IP

IP (Internet Protocol) protokol je za delovanje omrežja neprimerno pomembnejši od vseh ostalih protokolov. Opisan je v dokumentu RFC 791<sup>5</sup> in v

<sup>5</sup>RFC n (Request For Comment) so uradni in javno dostopni dokumenti, ki predpisujejo zgradbo in delovanje Internet omrežja, nekateri od njih postanejo Internet standardi)



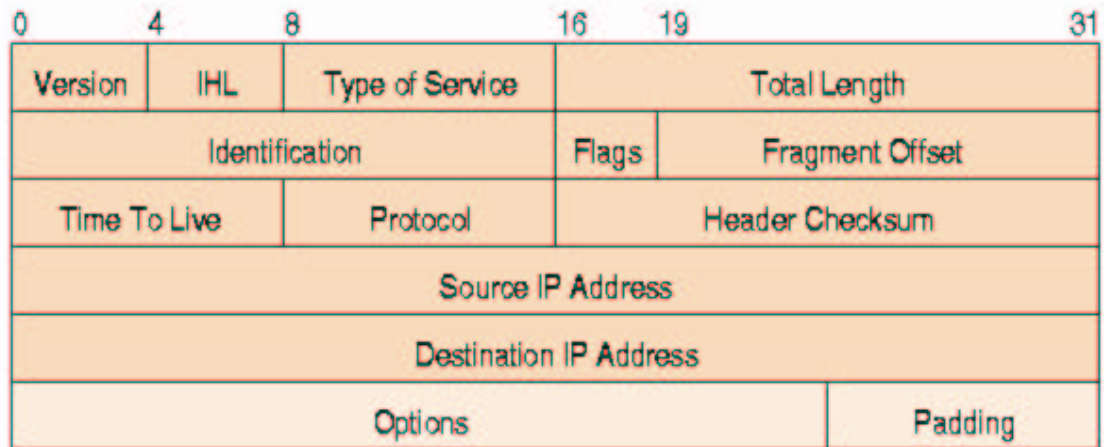


Slika 23: Protokol IP v omrežjih TCP/IP.

uporabi od leta 1981. Njegovo osrednjo vlogo v odnosu do drugih protokolov prikazuje slika 23.

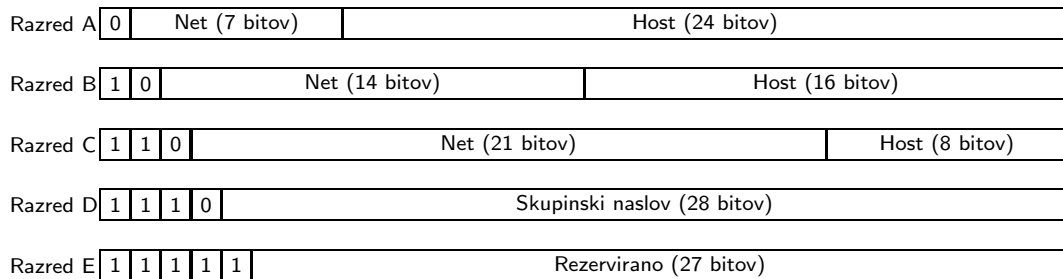
Zaenkrat dominira IP verzije 4 (IP v.4), že dolgo se pripravlja verzija 6 (IP v.6), a še ni zaživela. Veliko se da o delovanju protokola razbrati iz oblike paketa (slika 24).

- Version: verzija protokola (v uporabi IP.v4, enkrat prehod na Ip.v6)
- IHL (Internet Header Length): dolžina glave paketa (v 32 bitnih besedah), min. 5 (20 Bajtov), max. 15 (60 bajtov).
- Type of Service: določa kakovost storitve, a se redkokdaj uporablja.
- Total length: celotna dolžina paketa (datagrama) skupaj z glavo, max. 65535 bajtov.
- Identification: enoznačna oznaka (številka paketa) in vseh fragmentov, če je paket fragmentiran. Paket se namreč lahko pošlje v več krajših segmentih.
- DF (Dont't Fragment): Paket se ne sme fragmentirati.



Slika 24: Oblika IP paketa.

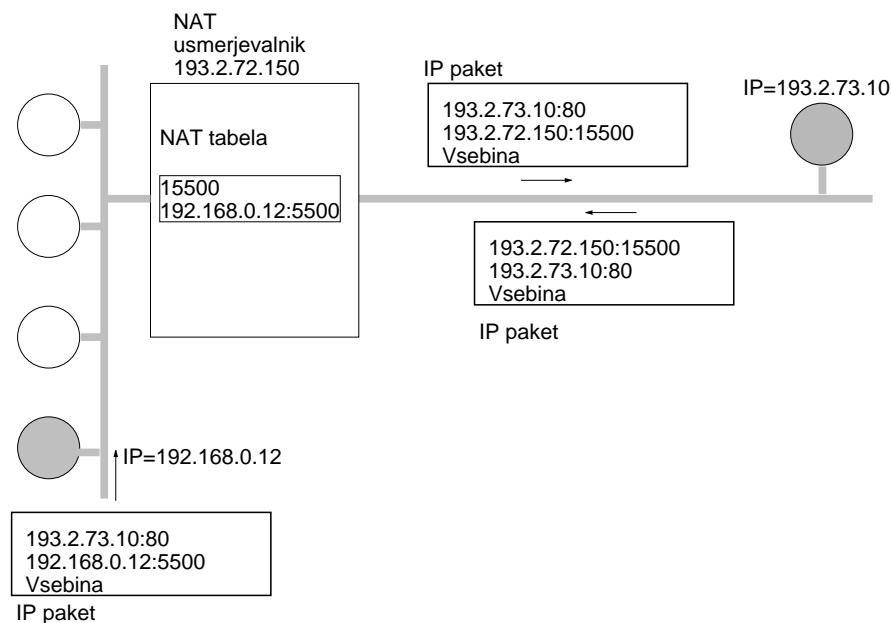
- MF (More Fragments): Kadar je paket fragmentiran, imajo vsi fragmenti razen zadnjega postavljen MF bit.
- Fragment offset: položaj fragmenta v paketu.
- Time to live: Izvorno vozlišče postavi začetno vrednost, ki se zmanjša ob vsakem prehodu skuzi vozlišče. Ko pade na nič, se paket ne pošlje naprej.
- Protocol: določa enega od protokolov (višjega) sloja (TCP, UDP, ..).
- Header Checksum: kontrolna vsota, vsota (logični ALI) 16 bitnih enot in zapis vsote v eniškem komplementu.
- Source Address, Destination Address: 32 bitna IP naslova izvornega in ponornega vozlišča.
- Options: razširitev glave za specifične potrebe. Prvi bajt po dogovoru določa tip opcije, npr. "Record Route".



Slika 25: Naslovni razredi.

Za usmerjanje sta najpomembnejši obe naslovni polji, izvorni in ponorni IP naslov. Po dogovoru zgornji naslovni biti pomenijo naslov omrežja, spodnji pa naslov vozlišča znotraj omrežja. Usmerjevalnik najprej preveri naslov omrežja in na tej osnovi opravi posredništvo, šele nato ga lahko zanima tudi naslov vozlišča samega. Kateri biti pomenijo naslov omrežja, je lahko določeno na več načinov. Klasičen način je razvrstitev naslovov na razrede, kot prikazuje slika 25. Denimo, razred C uporablja osembitni naslov vozlišča.

Razred je torej pomemben pri usmerjanju. Na podlagi razreda usmerjevalnik razbere kateri naslovni biti določajo omrežje in kateri biti določajo vozlišče v omrežju. Zaradi "varčevanja" z naslovi se delitev naslovnega prostora na razrede vse manj uporablja. Delitev IP naslova na naslov omrežja in naslov vozlišča določa naslovna maska (z naslovno masko se lahko delijo omrežja na podomrežja tudi v primeru usmerjanja na osnovi razredov). Naslovna maska sedaj določa, kateri biti v naslovu pomenijo naslov vozlišča. Ker brez upoštevanja razreda to ni več samoumevno, je k naslovu potrebno podati število bitov, ki tvorijo mrežni naslov, kot na primer 193.2.72.150/22. Ta način je tako imenovan CIDR način (Classless InterDomain Routing). Druga možnost "varčevanja" z naslovi je NAT (Network Address Translation). V tem primeru pripada vsem vozliščem v istem omrežju "navzven" en sam naslov, kar pomeni, da so vsa vozlišča navzven vidna kot eno samo vozlišče. Navznoter v "notranjem" omrežju pa ima vsako vozlišče svoj naslov; ti naslovi so vidni in veljavni samo znotraj tega omrežja, navzven pa se ne pojavijo. Razločevanje med vozlišči znotraj omrežja navzven pa je dokaj zapleteno. Rešitev, ki v pogledu slojnosti ni ravno pregledna, je uporaba številke vrat (Angl. Port Number), ki se sicer uporablja na višjem - transportnem sloju, skupaj z IP naslovom tudi za mrežno naslavljanje. Pres-



Slika 26: NAT naslavljanje.

likavo naslovov običajno opravlja usmerjevalnik, ki povezuje notranje omrežje z ostalimi omrežji in je na njem postavljen tudi požarni zid (Angl. Fire Wall). Naj bo omrežju dodeljen naslov 193.2.72.150. Naj imajo vozlišča znotraj omrežja naslove 192.168.0.1 do 192.168.0.128. Denimo, da vozlišče 192.168.0.12 pošilja paken vozlišču izven omrežja. Zato se njegov naslov pri prehodu skozi NAT usmerjevalnik preslika v omrežju dodeljeni "NAT naslov" 193.2.72.150 in problem je zaenkrat rešen. Kaj se zgodi, ko vozlišče 192.168.0.12 dobi odgovor od zunaj? Zunanje vozlišče ne pozna pravega naslova ponornega vozlišča, pozna samo naslov omrežja (NAT naslov) od katerega je prišel paket. Pravzaprav misli, da je NAT naslov pravi naslov ponornega vozlišča in zato pošlje paket na ta naslov. NAT vozlišče brez dodatne informacije ne more vedeti, kateremu notranjemu vozlišču je namenjen paket. Potrebna je dodatna informacija. Rešitev je v uporabi številke vrat (Port Number), ki se sicer uporablja na višjem (torej transportnem) sloju (slika 26).

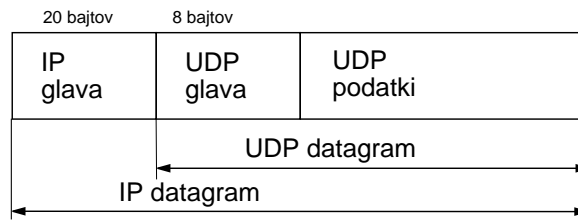
Preslikava poteka takole:

- Notranje vozlišče pošilja zunanjemu vozlišču.
- Naj bo izvorna številka vrat SS = 5500, izvorni IP naslov pa IPS = 192.168.0.12.
- Naj bo zunanje ponorno vozlišče IPD=193.2.73.10 in ponorna številka vrat SD = 80 (to so dejansko standardna vrata za web strežnik).
- NAT usmerjevalnik naredi naslednje: IPS preslika v NAT naslov, ki je 193.2.72.150, številko vrat SS = 5500 pa v novo številko vrat, na primer 15500. Prvotnen naslov in prvoto številko vrat vpiše v svojo NAT tabelo in nova številka vrat (15500) je indeks v to tabelo.
- NAT usmerjevalnik pošlje paket z naslovom 193.2.72.150 in vrati 15500.
- Ko NAT usmerjevalnik dobi odgovor od zunanjega vozlišča 193.2.73.10 (torej na svoj naslov) in na vrata 15500, uporabi sprejeto številko vrat za indeks (kazalec) v tabelo NAT, ter nadomesti naslov in vrata z vsebino v tabeli.
- Nazadnje NAT usmerjevalnik pošlje paket v notranje omrežje. Paket sprejme pravo notranje vozlišče.

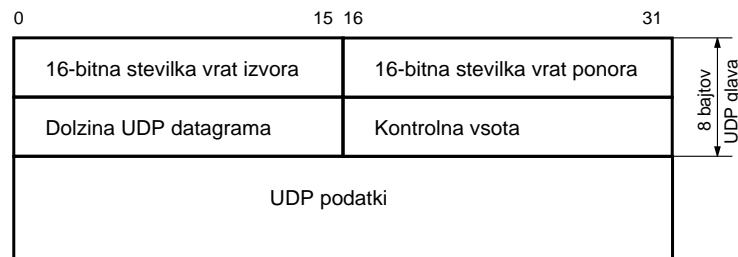
Zadnja možnost varčevanja z naslovi je dinamično (začasno) dodeljevanje mrežnih naslovov iz zaloge naslovov (DHCP - Dynamic Host Configuration Protocol). Vozlišču se dodeli naslov takrat, ko postane aktivno, sicer pa je naslov prost in na voljo za dodelitev drugim vozliščem.

## 5 TCP in UDP

Internet ima na prenosnem sloju dva protokola, TCP in UDP (glej sliko 23). UDP (User Datagram Protokol) je nepovezavnega tipa, tako kot IP. TCP (Transmission Control Protocol) je povezavnega tipa in kot tak zagotavlja povezavne storitve, sekvenčni prenos brez podvajanja ali izgubljanja. Tega UDP ne zagotavlja. UDP se uporablja za hitrejši prenos kratkih podatkovnih enot brez vzpostavitve zveze. Podatki uporabnika se prenašajo v enem (samem) IP paketu, ki je sicer lahko fragmentiran, a to ni zaželeno. UDP paket imenovan segment (vsebina, ki pride s sloja aplikacija plus glava)



Slika 27: UDP v IP paketu.

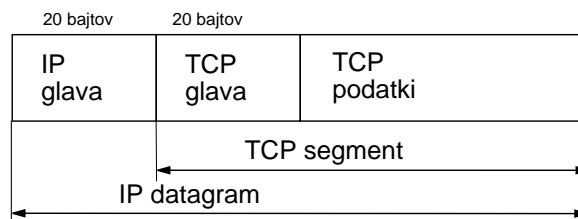


Slika 28: UDP glava.

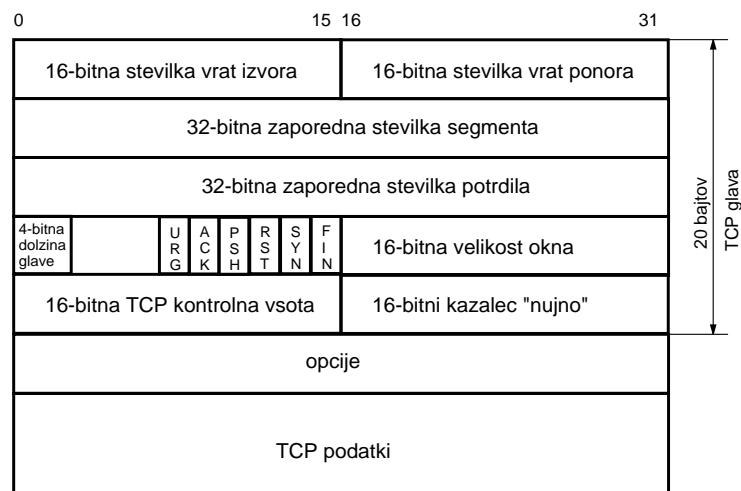
se "ovije" v IP ovojnico (predstavlja vsebino IP paketa, ki se ji doda glava), ta pa v ovojnico Ethernet ali PPP (Point to Point Protocol) okvira, ki se nazadnje odpošlje. Slika 27 prikazuje UDP "segment" v IP paketu, slika 28 pa izgled glave UDP paketa.

Glavni smisel UDP protokla na prenosnem sloju je pravzaprav ta, da doda številki izvornih in ponornih vrat in tako poskrbi, da gredo podatki k predvidenemu uporabniškemu procesu, t.j. aplikaciji. UDP ne zagotavlja, da bodo podatki tudi zares dostavljeni. V primeru, da je to potrebno, mora za to poskrbeti aplikacija sama. Protokola sloja aplikacije, ki uporabljata UDP, sta na primer DNS (Domain Name System) in RTP (Real Time Protocol).

Največ dela pri prenosu podatkov v Internetu pa mora opraviti protokol TCP. Procesi, ki komunicirajo preko protokola TCP, se priključijo na komunikacijsko vtičnico (Angl. Socket), in na ta način vzpostavijo zvezo, potem pa teče prenos v obe smeri. Komunikacijska vtičnica je navidezno priključno mesto na zgornjem vmesniku prenosnega sloja, t.i. dostopna točka storitve (Angl. Service Access Point). Tak način največ uporabljajo aplikacije tipa odjemalec/strežnik. Vtičnica je na danem vozlišču enoznačno določena s tako



Slika 29: TCP paket v IP paketu.



Slika 30: Glava TCP paketa.

imenovano številko vrat. Številka vrat skupaj z IP naslovom pa zadostuje, da se oddaljeni proces (odjemalec) poveže s strežnikom. Strežnik na znani vtičnici neprestano pričakuje zahteve odjemalcev. Če do zahteve pride, se na podlagi protokola TCP postavi komunikacijski kanal, po katerem steče prenos podatkov.

Za konec si pogledjmo še obliko TCP paketa (slika 29) znotraj IP paketa in glavo TCP paketa oziroma segmenta (30).

V glavi TCP segmenta vidimo 16-bitni številki izvornih in ponornih vrat, vsa ostala polja pa služijo protokolu za vzpostavitev, vzdrževanje in sproščanje povezave (pomen kontrolnih bitov URG: Urgent data, ACK: Acknowledgement, PSH: Push (data), RST: Reset, SYN: Synchronize (izenači zaporedni

številki), FIN: Final (segment). TCP protokol je v principu ARQ tip protokola (Automatic Repeat Request) z vračanjem na N (Go-Back-N Protocol) v primeru napake.

## Literatura

- [1] A. Tanenbaum, *Computer Networks*, 4th ed. Prentice-Hall, 2003.
- [2] W. R. Stevens, *TCP/IP Illustrated, Vol. 1*, Addison–Wesley, 1994.
- [3] F. Halsall, *Computer Networking and the Internet*, 5th ed., Addison Wesley, 2005.
- [4] J. Hecht, *Understanding Fiber Optics*, 4th ed., Prentice-Hall, 2002.
- [5] [http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page)
- [6] [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/index.htm](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/index.htm)