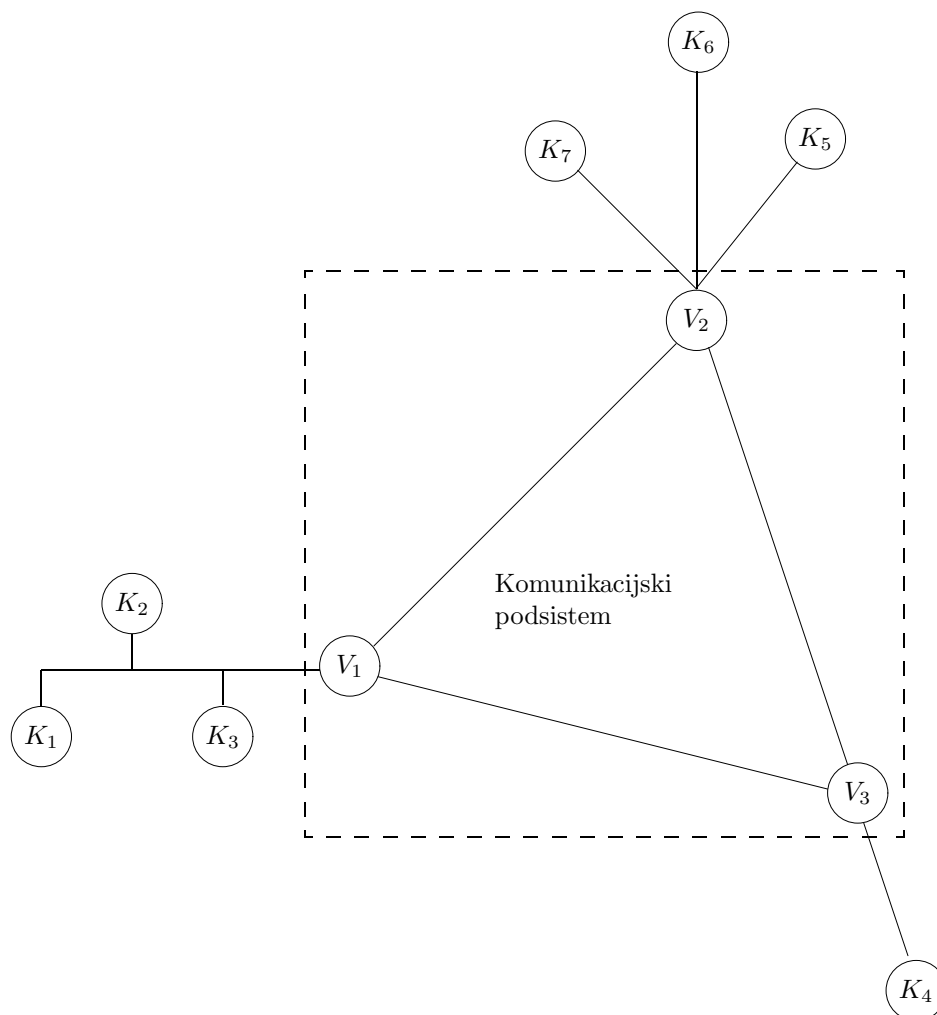


## 14 Mrežni sloj



Vmesna vozlišča ( $V_1, V_2, V_3$ ) - komunikacijski podsistem  
Končna vozlišča ( $K_1, K_2, \dots$ ).

Glavna naloga mrežnega sloja: zagotavljanje poti prenosa (povezljivost končnih vozlišč).

- Usmerjanje (kam?)
- Naslavljanje (komu?)
- Povezovanje omrežij med seboj

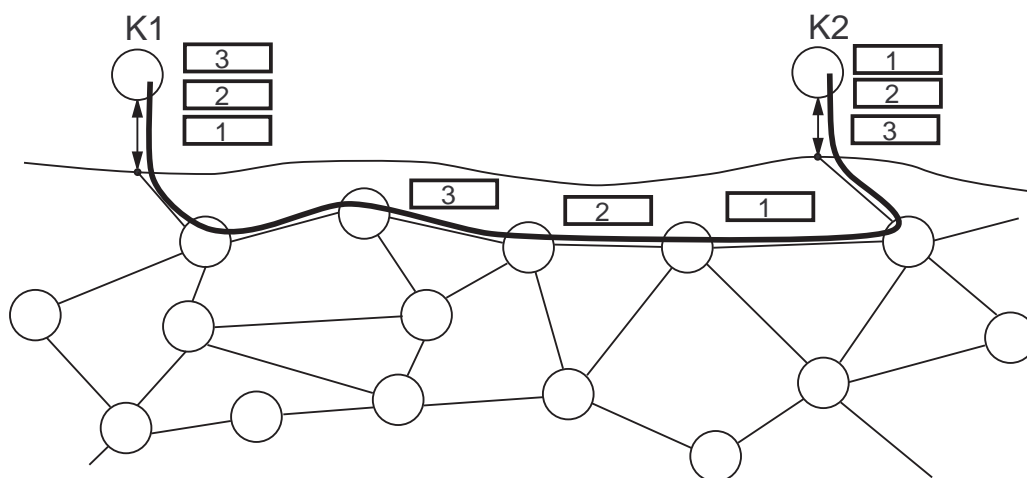
Mrežni sloj nudi na (zgornjem) vmesniku storitve (naslednjemu) višjemu sloju.

Obstajata dva osnovna tipa storitev:

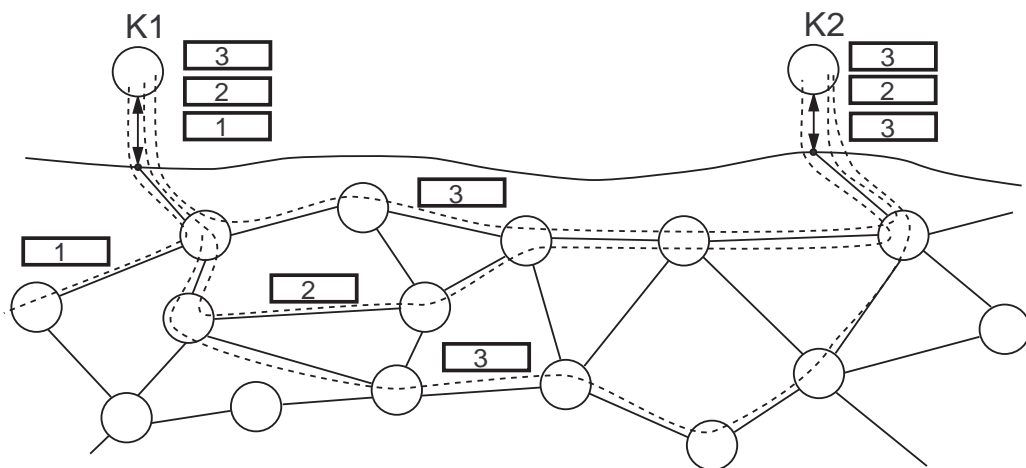
- povezane (povezavno usmerjene) (Angl. Connection-oriented Services),
- nepovezane (angl. Connectionless Services).

Obstajata dva osnovna tipa omrežij:

- *Navidezni tokokrog* (vzpostavitev, vzdrževanje in sproščanje zveze),
- *Datagram*.

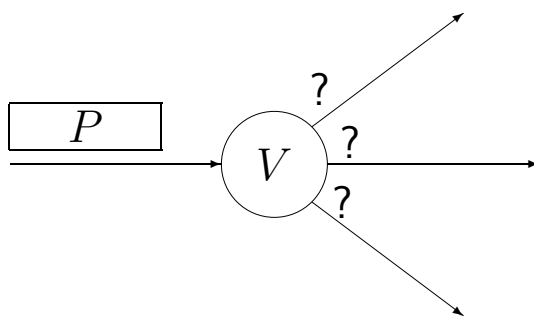


Navidezni tokokrog: zanesljiv, sekvenčen, brez podvajanja ali izgubljanja paketov.



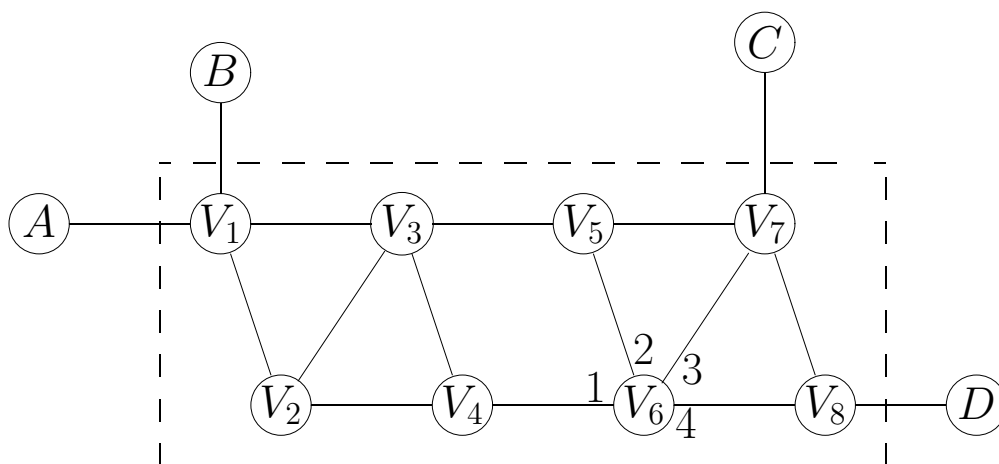
datagram: nezanesljiv, ne zagotavlja sekvenčnosti, možno je podvajanje ali izgubljanje paketov.

Osnovna naloga vmesnih vozlišč je usmerjanje paketov.



Način delovanja (usmerjanje) se v obeh tipih razlikuje.

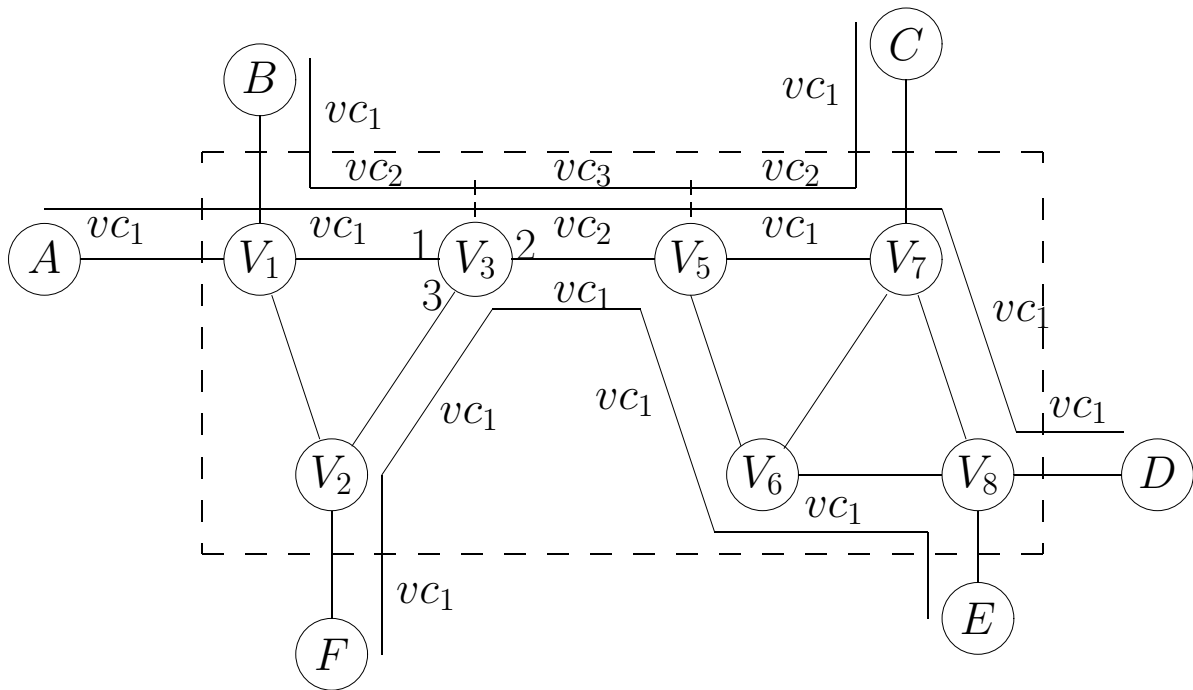
## Usmerjanje v omrežju tipa datagram



Usmerjevalna vozlišča izbirajo smer za vsak posamezen paket.

Končno vozlišče	Smer pošiljanja	Delež paketov
C	2	0.1
	3	0.2
	4	0.7
D	2	0.3
	3	0.5
	4	0.2

# Usmerjanje v omrežju navidezni tokokrog



Usmerjevalniki vzdržujejo preslikavo

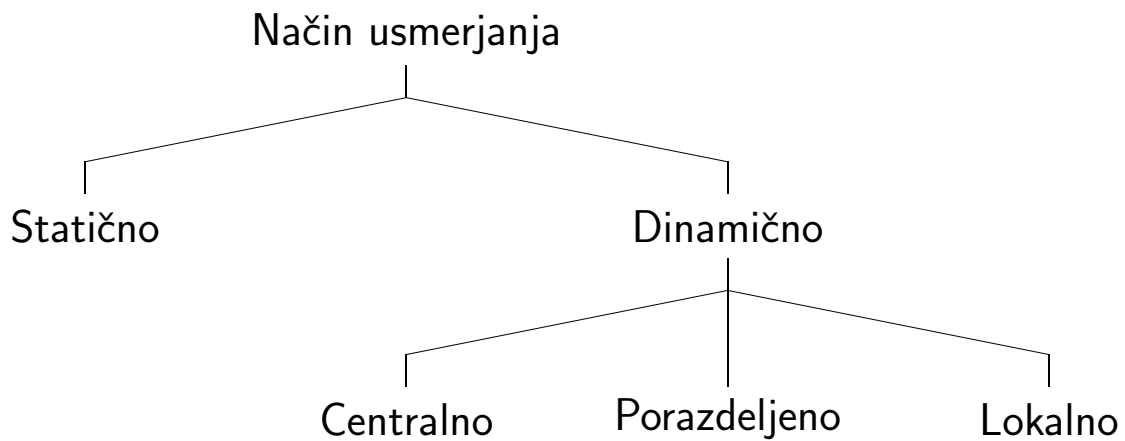
$$\text{vhod}(f,vc) \rightarrow \text{izhod}(f,vc).$$

Na isti fizični povezavi sočasno obstaja več logičnih povezav.

Prihod		Odhod	
smer	vc	smer	vc
1	vc1	2	vc2
1	vc2	2	vc3
3	vc1	2	vc1

## Algoritmi usmerjanja

Vprašanje: kako določiti vsebine usmerjevalnih tabel?

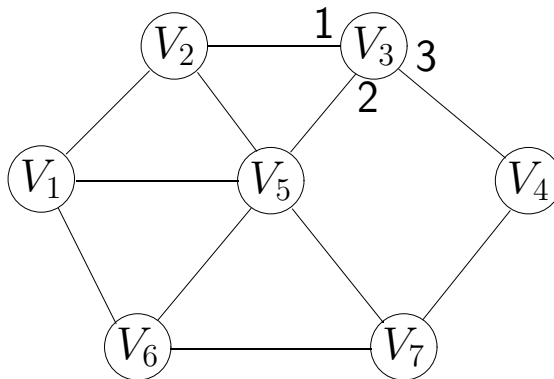


- Pravilnost
- Enostavnost
- Optimalnost
- Robustnost
- Stabilnost
- Enakovrednost

## Izolirano – lokalno usmerjanje

Vozlišča si ne izmenjujejo informacije za usmerjanje.

$V_4$	$V_1$	$N = 0$	Vsebina
-------	-------	---------	---------



Primer omrežja in usmerjanje s povratnim učenjem.

Vozlišče	Ocena smeri	Smer
$V_1$	3	2
$V_2$	0	1
$V_3$	-	-
$V_4$	0	3
$V_5$	2	1
$V_6$	3	2
$V_7$	2	3

(a)

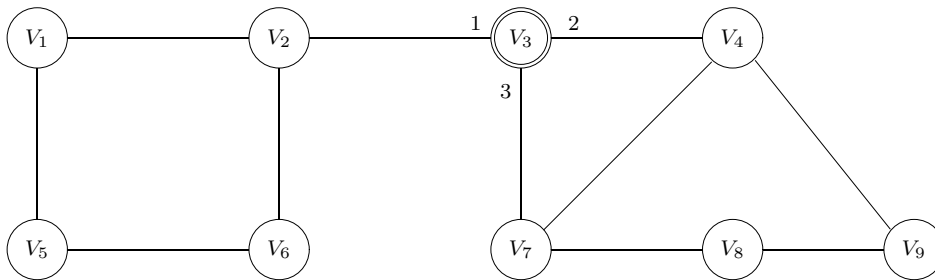
Vozlišče	Ocena smeri	Smer
$V_1$	<b>1</b>	<b>1</b>
$V_2$	0	1
$V_3$	-	-
$V_4$	0	3
$V_5$	2	1
$V_6$	3	2
$V_7$	2	3

(b)

Možen izgled usmerjevalne tabele za vozlišče  $V_3$  pred (a) in po (b) prihodu paketa iz ugodnejše smeri za  $V_1$ .

## Porazdeljeno usmerjanje

Sosednja vozlišča si izmenjujejo tabele ali del tabel.



Primer porazdeljenega usmerjanja.

$R_2$ $V_i$	$C(2, i)$	$R_4$ $V_i$	$C(4, i)$	$R_7$ $V_i$	$C(7, i)$	$R_3$ $V_i$	Prej $C(3, i)$	Smer	$R_3$ $V_i$	Po $C(3, i)$	Smer
$V_1$	15	$V_1$	30	$V_1$	40	$V_1$	65	3	$V_1$	20	1
$V_2$	0	$V_2$	15	$V_2$	20	$V_2$	5	1	$V_2$	5	1
$V_3$	5	$V_3$	10	$V_3$	15	$V_3$	0	-	$V_3$	0	-
$V_4$	15	$V_4$	0	$V_4$	15	$V_4$	10	2	$V_4$	10	2
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Del vsebine usmerjevalnih tabel sosednjih vozlišč ( $R_2, R_4, R_7$ ) in vozlišča  $V_3$  pred in po upoštevanju tabel sosednjih vozlišč.

Vozlišča razpolagajo z oceno kakovosti neposrednih povezav, na primer s pomočjo testnih paketov.

Vozlišča popravljajo svoje usmerjevalne tabele na podlagi sprejetih usmerjevalnih tabel (neposredno) sosednjih vozlišč.

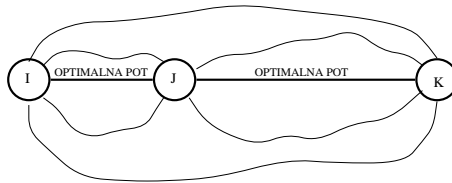


## Globalno – centralizirano usmerjanje

- Stanje omrežja se zbere v enem vozlišču (usmerjevalnem središču), ki določi vsebine usmerjevalnih tabel za vsa vozlišča in jih razpošlje ostalim vozliščem.
- Stanje omrežja se pridobi (zbere) v vsakem in vseh usmerjevalnih vozliščih, ki določijo svoje usmerjevalne tabele.

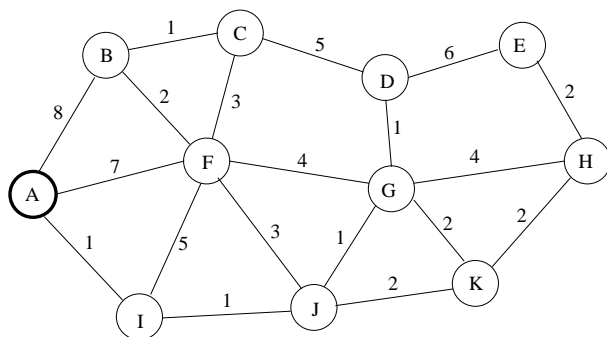
Stanje celotnega omrežja se zgradi na primer na podlagi poznavanja kakovosti neposrednih povezav:

- vsako vozlišče ugotovi kakovost povezav z neposrednimi sosedi.
- ocene pošlje vsem ostalim (znanim) usmerjevalnim vozliščem.

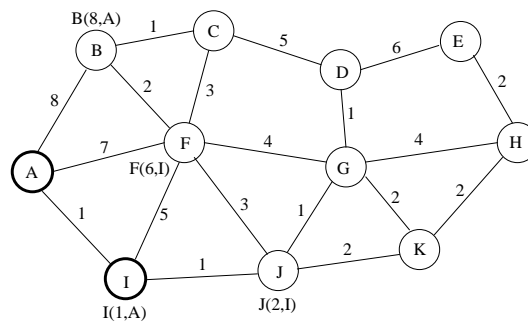
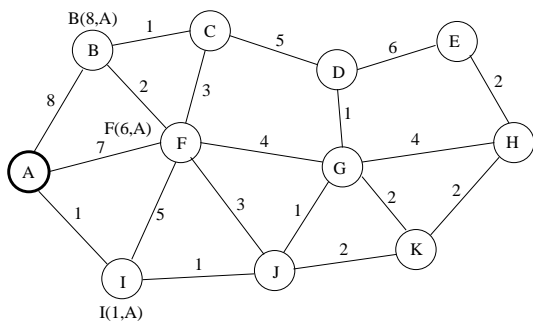


Princip optimalnosti: Če je J na optimalni poti med I in K, potem je tudi pot od J do K optimalna.

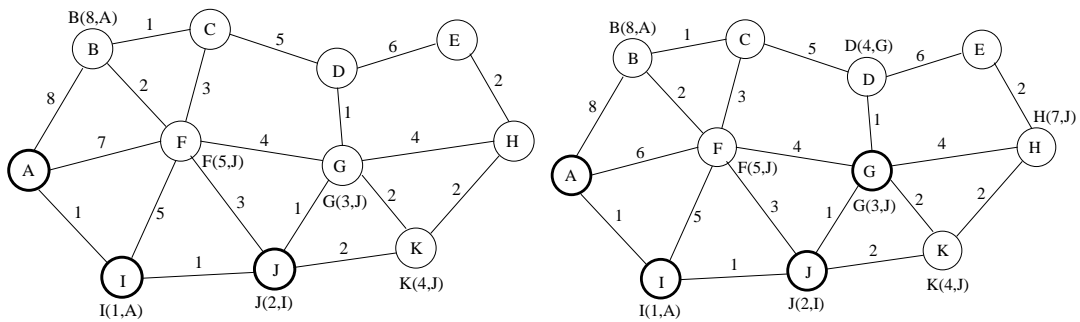
Iskanje optimalne poti od A do H.



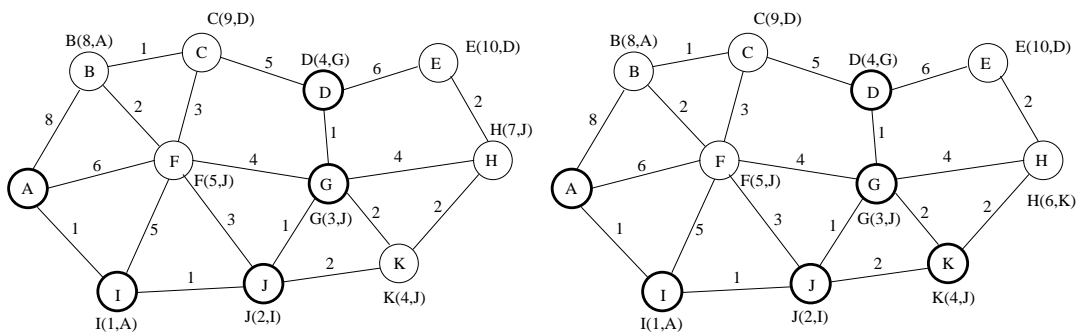
Št. Koraka	Tekoče vozlišče	Poskusne oznake	Permanentno vozlišče
1	A	B(8,A), F(6,A), I(1,A)	I(1,A)
2	I(1,A)	J(2,I), F(6,I)	J(2,I)
3	J(2,I)	K(4,J), G(3,J), F(5,I)	G(3,J)
4	G(3,J)	H(7,G), D(4,G)	D(4,G)
5	D(4,G)	E(10,D), C(9,D)	K(4,J)
6	K(4,J)	H(6,K)	F(5,J)
7	F(5,J)	C(8,F)	H(6,K)
8	H(6,K)		



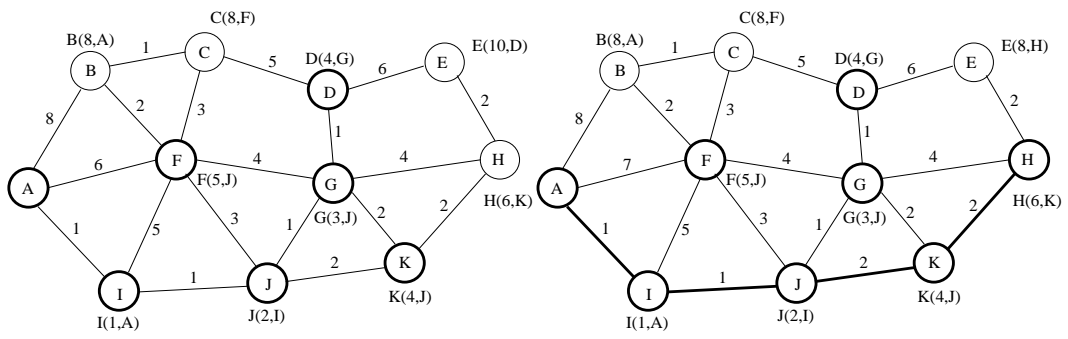
Določanje optimalne poti od A do H, koraka 1 in 2.



Določanje optimalne poti od A do H, koraka 3 in 4.



Določanje optimalne poti od A do H, koraka 5 in 6.



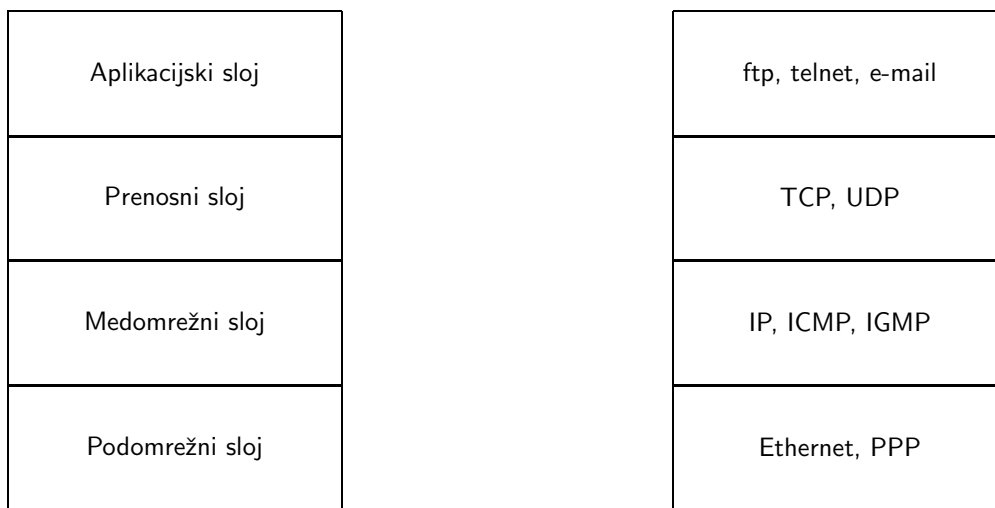
Koraka 7 in 8 ter optimalna pot od A do H.

## 15 Usmerjanje v omrežju Internet

### Nekaj o nastanku Interneta

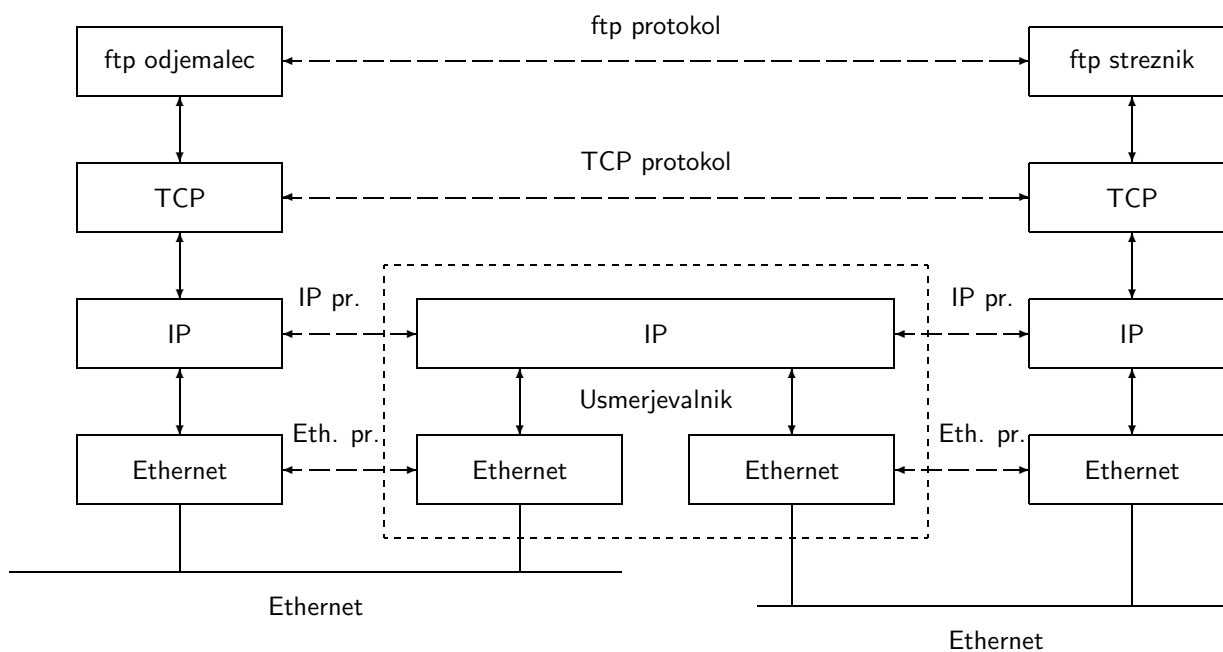
- v poznih 50-ih letih, DoD, da pobudo za razvoj vojaškega sistema za nadzor in vodenje (CC, CCC, CCCC).  
Baran (RAND Co.) predlaga paketno omrežje, vendar je bil predlog zavrjen (AT & T).
- ARPA, 1967 odločitev, da se zasnuje paketno komunikacijsko omrežje (L. Roberts) tipa datagram, ARPANET.
- Decembra 1969 začne obratovati eksperimentalno omrežje, ki je povezal: UCLA, UCSB, SRI, University of Utah.
- V naslednjih treh letih se je omrežje razraslo po ZDA, v glavnem po univerzah.
- V zgodnjih sedemdesetih: razvoj TCP/IP protokolov.
- Konec sedemdesetih let pobuda za akademsko omrežje (NSFNET).
- Zgodnja devetdeseta leta, začetek komercializacije, razvoj WWW (CERN, Tim Berners-Lee).

# Model in arhitektura omrežja Internet



RFC n (Request For Comment) so uradni dokumenti, ki predpisujejo zgradbo in delovanje omrežja.

## Primer povezave dveh Ethernet omrežij z usmerjevalnikom



## Oblika IP paketa - Datagram

0	4	8	16	19	31
Version	IHL	Type of Service	Total Length		
Identification			Flags	Fragment Offset	
Time To Live		Protocol	Header Checksum		
Source IP Address					
Destination IP Address					
Options				Padding	

- Version: verzija protokola (v uporabi IP.v4, 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
- Total length: celotna dolžina paketa (datagrama) skupaj z glavo, max. 65535 bajtov.
- Identification: enoznačna oznaka (številka paketa) in vseh fragmentov, če je paket fragmentiran.
- DF (Dont't Fragment): Paket se ne sme fragmentirati.
- 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 izvirnega in ponornega vozlišča.
- Options: razširitev glave za specifične potrebe. Prvi bajt po dogovoru določa tip opcije, npr. "Record Route".

## IP naslovi

Razred A	0	Net (7 bitov)	Host (24 bitov)
Razred B	1	0	Net (14 bitov)   Host (16 bitov)
Razred C	1	1	0   Net (21 bitov)   Host (8 bitov)
Razred D	1	1	1   0   Skupinski naslov (28 bitov)
Razred E	1	1	1   1   1   Rezervirano (27 bitov)

Razred je pomemben pri usmerjanju. Na podlagi razreda se 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.



## ARP in RARP

Vprašanje: Kam poslati IP paket z danim IP naslovom?

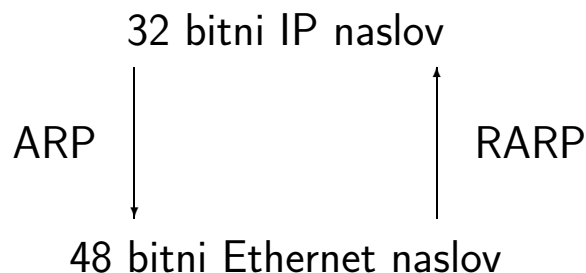
Poznati moramo priključno mesto (Ethernet naslov) vozlišča.

ARP (Address resolution protokol)

- ARP skrbi za preslikavo med mrežnimi (IP) naslovi in fizičnimi (Ethernet) naslovi.
- Z danim IP naslovom išče Ethernet naslov dotičnega vozlišča.

RARP (Reverse Address resolution protokol)

- RARP skrbi za preslikavo znanega Ethernet naslova v pripadajoči mrežni (IP) naslov.

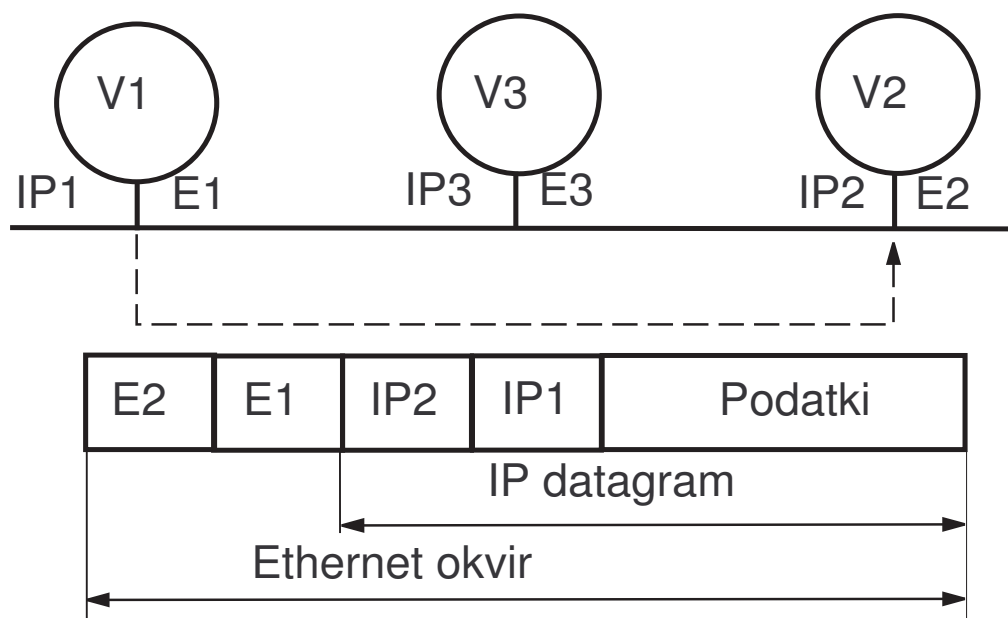


Delovanje ARP v istem omrežju (en sam Ethernet segment ali več segmentov povezanih z mostovi):

- 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.

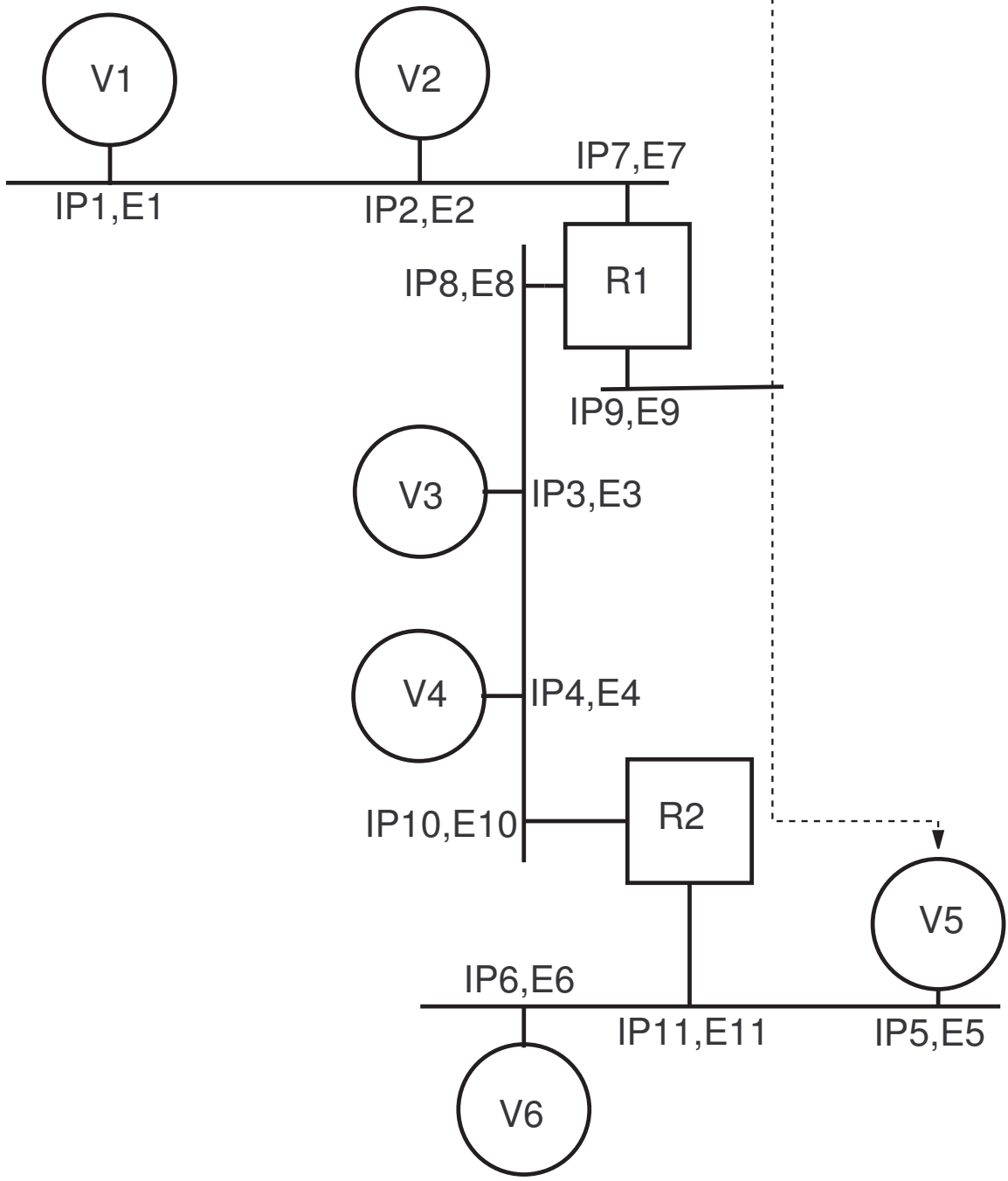
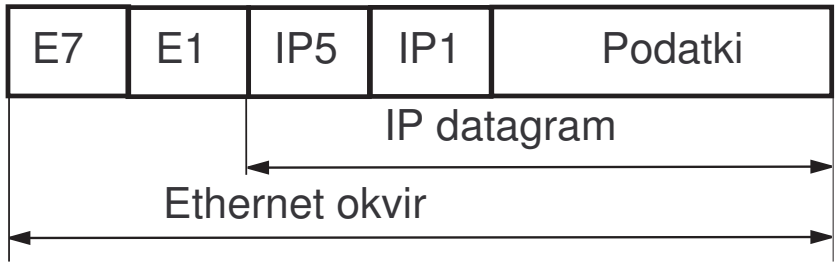
- Vozlišče V1 (IP1,E1) ne pozna Ethernet naslova (E2) vozlišča V2, (IP2, ??). Zato pošlje ARP poizvedovalni okvir na splošni naslov: lastnik IP naslova IP2 prosim pošlji svoj Ethernet naslov.
- Vozlišče V2 v odgovor pošlje svoj Ethernet naslov in prenos paketa lahko steče.
- Vozlišče V1 pošlje IP paket 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:

- 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.
- Vozlišče V1 ne pozna Ethernet naslova (E5)vozlišča V5. Možno je dvoje:

- a):
  - 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).
  
- b):
  - 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").
  - Vozlišče V1 pošlje IP paket z naslovom ponora IP5 v Ethernet okviru s ponornim Ethernet naslovom usmerjevalnika.



## Usmerjanje in IP protokol

- Usmerjavalniki (vozlišča z več priključki) in končna vozlišča (vozlišča z enim ali več priključki) vzdržujejo usmerjevalne tabele.
- Usmerjavalniki (Angl. Router, Gateway) delujejo kot posredniki paketov (sprejmejo paket na enem priključku in ga pošljejo naprej na drugem priključku).
- Končna vozlišča (angl. Host) ne posredujejo paketov, sprejemajo/oddajajo svoje pakete (pakete s svojim naslovom, skupinskim (angl. Multicast) in splošnim (angl. Broadcast) naslovom).

## Posredništvo in usmerjanje

- Posredništvo: Posredovanje paketov na podlagi usmerjevalne tabele.
- Usmerjanje: Določanje vsebine usmerjevalne tabele (statično, RIP, OSPF, BGP).

## Primer usmerjevalne tabele končnega vozlišča

```
netstat -rn
```

luz.fe.uni-lj.si, čigar IP naslov je 193.2.72.140.

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
  - poln IP naslov vozlišča
  - naslov omrežja (t.j. omrežni del IP naslova)
- Gateway:
  - 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, ... ).

## Potek posredništva:

- 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 ujemanje 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".

## UKAZ

```
route add default ags-fer.fer.uni-lj.si 1
```

doda vrstico s ciljnim naslovi (default) in ime usmerjevalnika, ki je zadolžen za usmerjanje.

To je "pravi" usmerjevalnik. Zadnja enka pomeni število vmesnih vozlišč do ciljnega (default) naslova - to pa je navedeni (vsaj razume se tako) usmerjevalnik.

Nasprotno bi ničla pomenila direkten priključek.

V pomoč sledenju paketov obstaja UNIX ukaz traceroute.

## UKAZ

```
traceroute razor.fri.uni-lj.si
```

na vozlišču

```
luz.fe.uni-lj.si
```

da naslednji rezultat:

```
traceroute to razor.fri.uni-lj.si (193.2.76.37), 30 hops max, 20 byte packets
 1 ags-fer.fer.uni-lj.si (193.2.72.65)          1 ms    1 ms    1 ms
 2 razor.fer.uni-lj.si (193.2.76.37)         2 ms    2 ms    2 ms
```



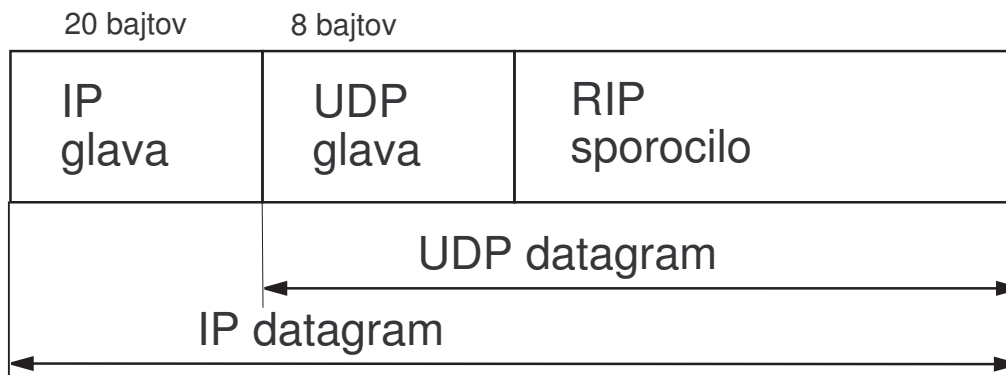
## Usmerjanje, protokoli za usmerjanje

- Internet (medmrežje) povezuje veliko število (pod)omrežij t.i. avtonomnih sistemov (angl. AS - Autonomous System).
- AS je v običajno v upravljanju enega operaterja.
  - Usmerjanje znotraj AS je avtonomno - neodvisno od usmerjanja izven AS, (IGP - Interior Gateway Protocol ali Intradomain Routing Protocol).
  - Umerjevalna protokola:  
RIP (Routing Information Protocol) in  
OSPF (Open Shortest Path First).
- Za usmerjanje med AS sistemi skrbi EGP (Exterior Gateway Protocol), t.i. Interdomain Routing Protocol, tipično BGP (Border Gateway Protocol).

## RIP (Routing Information Protocol) V1, V2

- RIP usmerjanje je porazdeljenega tipa. Usmerjevalniki si izmenjujejo usmerjevalne tabele ali dele usmerjevalnih tabel ("distance-vector protocol").
- RIP sporočila se prenašajo v UDP datagramih.
- Potemtakem se algoritem usmerjanja dogaja na nivoju aplikacije.
- RIP sporočila
  - Tip 1: Request (zahteva za pošiljanje tabele ali dela tabele).
  - Tip 2: Reply (odgovor na zahtevo - pošiljanje tabele ali dela tabele).
  - i.t.d.

- RIP zamenjuje/je zamenjal protokol OSPF.



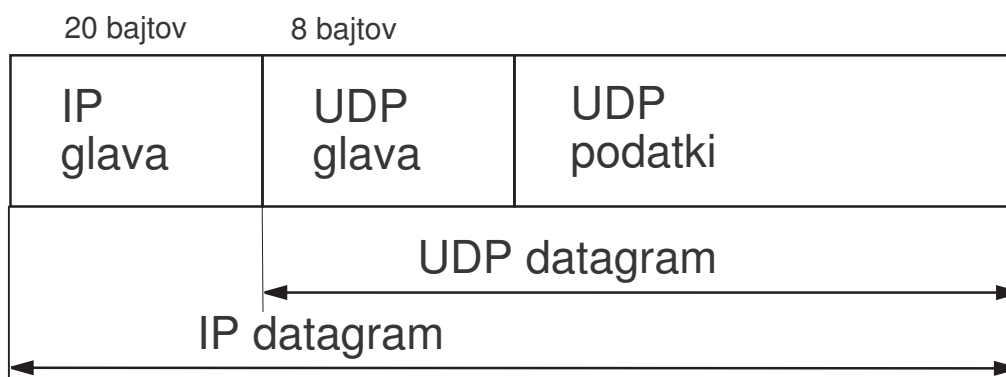
### OSPF (Open Shortest Path First)

- OSPF usmerjanje je globalnega tipa ("link-state protocol").
- 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 določi vsebino usmerjevalne tabele.
- OSPF se dogaja znotraj IP procesov.

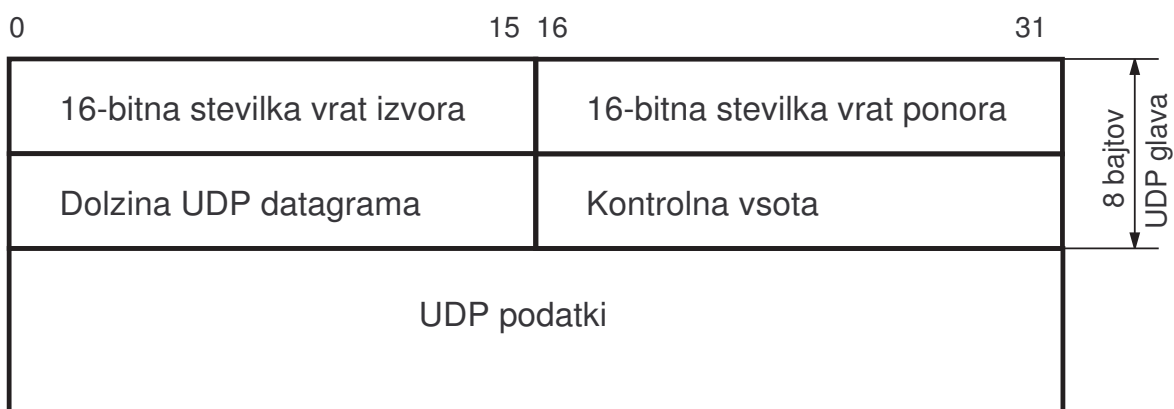
## Prenosni (transportni) sloj v omrežju Internet

- UDP (User Datagram Protocol)

- osnova nepovezanim (in nezanesljivim) storitvam,
- podatki uporabnika se prenašajo v enem (samem) datagram paketu v enem IP paketu, ki je sicer lahko fragmentiran, a to ni zaželeno.

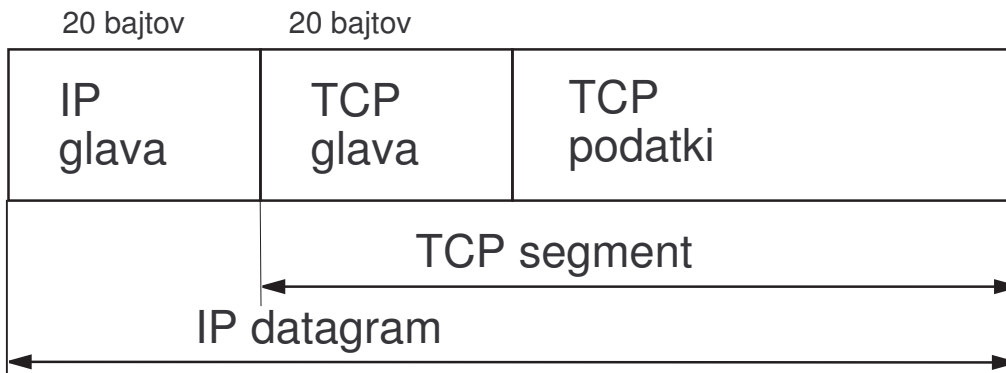


## Oblika UDP paketa - datagrama

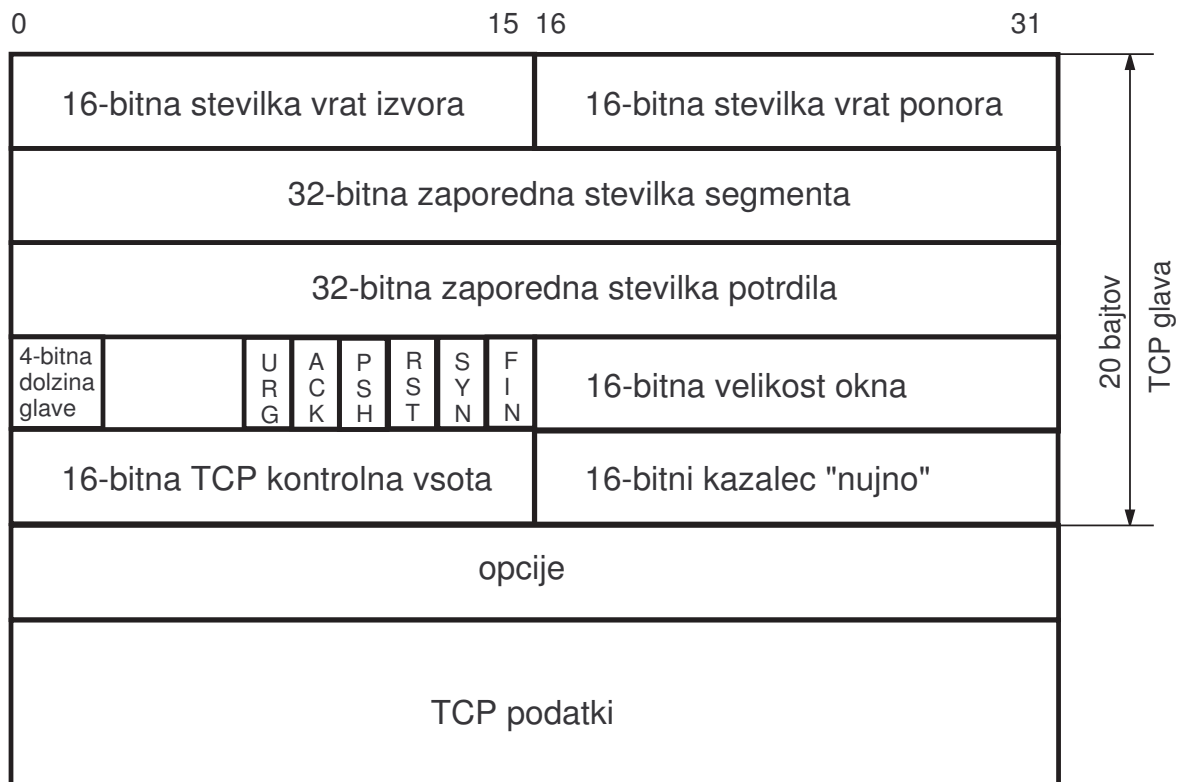


- TCP (Transmission Control Protocol)

- osnova povezanim (in zanesljivim) storitvam na podlagi omrežja tipa datagram (IP protokola),
- tipičen koncept komunikacije: odjemalec-strežnik,
- skrbi za vzpostavitev, vzdrževanje (nadzor pretoka z drsečim oknom, pozitivnim potrjevanjem in z vračanjem na N) in sproščanje zveze.



## Oblika TCP paketa - segmenta



- URG: Urgent data
- ACK: Acknowledgement
- PSH: Push (data)
- RST: Reset
- SYN: Synchronize (izenači zaporedni številki)
- FIN: Final (segment)