

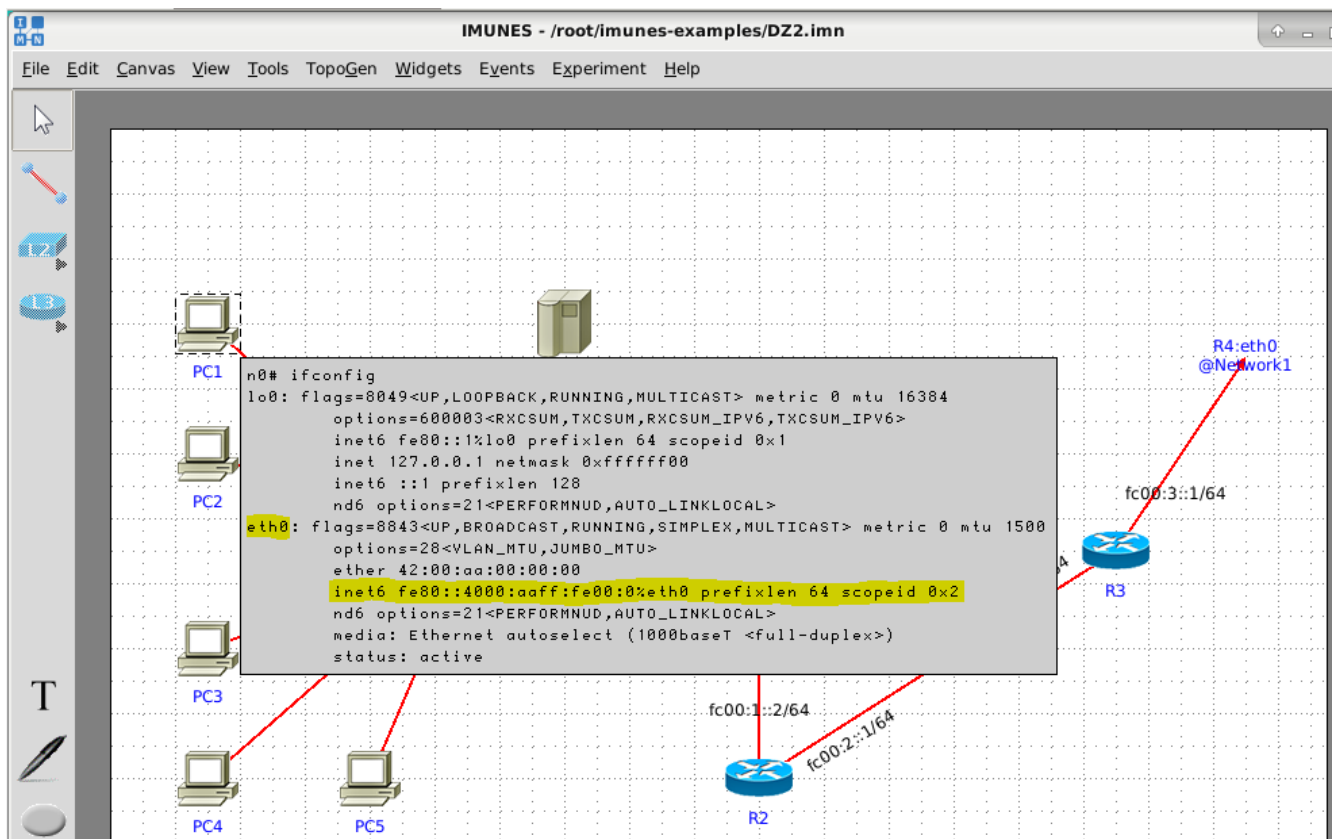
KOMUNIKACIJSKI PROTOKOLI

2. DOMAĆA ZADAĆA

1. IPv6 lokalna adresa na poveznici

Postupak kojim se iz MAC adrese formira lokalna adresa na poveznici za sučelje računala PC1 je sljedeći^[1] (MAC adresa sučelja (eth0) na PC1 je 42:00:aa:00:00:00):

- između prva 3 i posljedna 3 okteta (odnosno u sredinu) MAC adrese dodajemo ff:fe – 42:00:aa:ff:fe:00:00:00
- prebacimo dobivenu adresu u IPv6 notaciju – 4200:aaff:fe00:0000
- prvi oktet pretvoriti iz hekadekadske u binarnu bazu i invertirati 7. bit, odnosno bit s indeksom 6 – $42_{(16)} = 01000010_{(2)}$, invertiran 7. bit – 01000000
- dobiveni broj u binarnoj bazi prebaciti natrag u heksadekadsku bazu – $01000000_{(2)} = 40_{(16)}$ i sad imamo 4000:aaff:fe00:0000
- dodati *link* – *local* prefiks fe80::/64; dobivena IPv6 lokalna adresa na poveznici je **fe80::4000:aaff:fe00:0000/64**



Slika 1 Link - local IPv6 adresa sučelja eth0 na PC1

Istim postupkom dobiju se IPv6 lokalne adrese na poveznici za sva računala:

PC2: **fe80::4000:aaff:fe00:0001/64**

PC3: **fe80::4000:aaff:fe00:0002/64**

PC4: **fe80::4000:aaff:fe00:0003/64**

PC5: **fe80::4000:aaff:fe00:0017/64**

U IMUNES-u su te adrese dodijeljene automatski pokretanjem simulacije (za PC1 vidljivo na Slika 1). Služe za komunikaciju čvorova na istoj poveznici (znači da usmjeritelj ne prosljeđuje pakete s adresom *link-local* van poveznice) i potrebne su za otkrivanje susjednih čvorova (*Neighbour Discovery*).

2. Samostalna autokonfiguracija IPv6 adrese

Postupkom samostalne autokonfiguracije čvor stvara *link-local* i globalnu adresu i provodi provjeru jedinstvenosti tih adresa na poveznici. Ako se detektira duplicirana adresa, autokonfiguracija se prekida i prelazi se na ručnu konfiguraciju. Sve poruke koje se izmjenjuju šalju se protokolom ICMPv6.

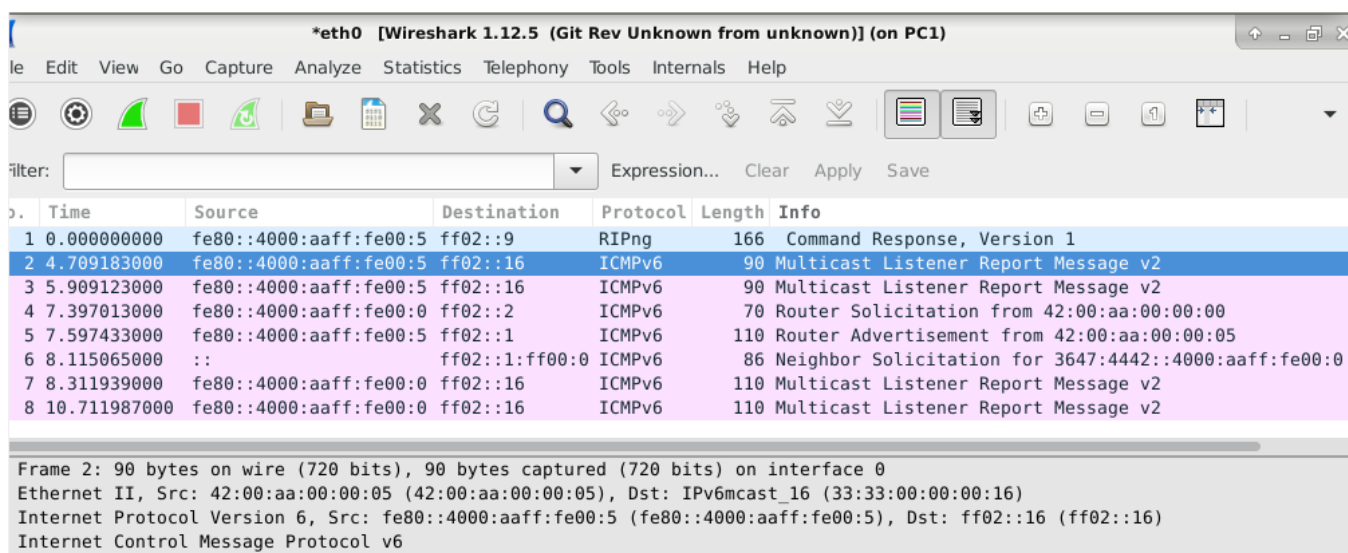
Za samostalnu autokonfiguraciju jednog od računala u mreži (PC1 do PC5) potrebne su dvije naredbe:

- **rtadvd eth0**^[2]
- **rtsol -dDF eth0**^[3]

Snimljeni promet u Wiresharku tokom izvođenja tih naredbi prikazan je na Slika 2.

Prvo je potrebno na usmjeritelju R1 u bash (ili nekoj drugoj) konzoli (desni lik na R1 – Shell window – bash) pokrenuti naredbu **rtadvd eth0**. Tom naredbom usmjeritelj preko sučelja eth0 (adresa **fe80::4000:aaff:fe00:5**, *link-local* adresa usmjeritelja R1) šalje poruku *Multicast Listener Report Message v2* na višeodredišnu adresu protokola MLRM v2 ff02::16 kojom obavještava čvorove da je aktivan i da osluškuje zahtjeve. Također šalje i *Router Advertisement* poruke periodično na višeodredišnu adresu svih čvorova u doseg poveznice, ff02::1. Tom se porukom oglašava računalima, dojavljuje svoju IP adresu i druge parametre.

Zatim na nekom računalu na kojem želimo autokonfigurirati IPv6 adresu, npr. PC1, (također u konzoli) pokrenemo naredbu `rtol -dDF eth0`. Tom naredbom PC1 preko sučelja `eth0` (adresa **fe80::4000:aaff:fe00:0**, link-local adresa računala PC1) na višeodredišnu adresu svih usmjeritelja u doseg poveznice, **ff02::2**, šalje poruku *Router Solicitation* kojom zahtjeva prefiks mreže od usmjeritelja koji mu se oglasio, u ovom slučaju R1. Usmjeritelj šalje prefiks mreže **3647:4442::/64** (osim toga i vrijeme života te informacije i standardnu putanju) porukom *Router Advertisement* ponovno na višeodredišnu adresu **ff02::1** svim računalima na lokalnoj poveznici. PC1 će dobiveni mrežni prefiks dodati na *link-local* adresu umjesto prefiksa `fe80::/64`, odnosno predložiti će svoju IPv6 adresu – **3647:4442::4000:aaff:fe00:0000/64**. Zatim PC1 šalje *Neighbour Solicitation* da bi otkrio postoji li već ta adresa u mreži. Ako mu se nitko ne javi porukom *Neighbour Advertisement* znači da je ta adresa jedinstvena u mreži i samostalna autokonfiguracija je uspjela. U ovom slučaju to se i dogodilo jer još ni jedno računalo u mreži nije konfiguriralo svoju adresu pa predložena adresa nije bila zauzeta i PC1 zadržava IPv6 globalnu adresu **3647:4442::4000:aaff:fe00:0000/64**.

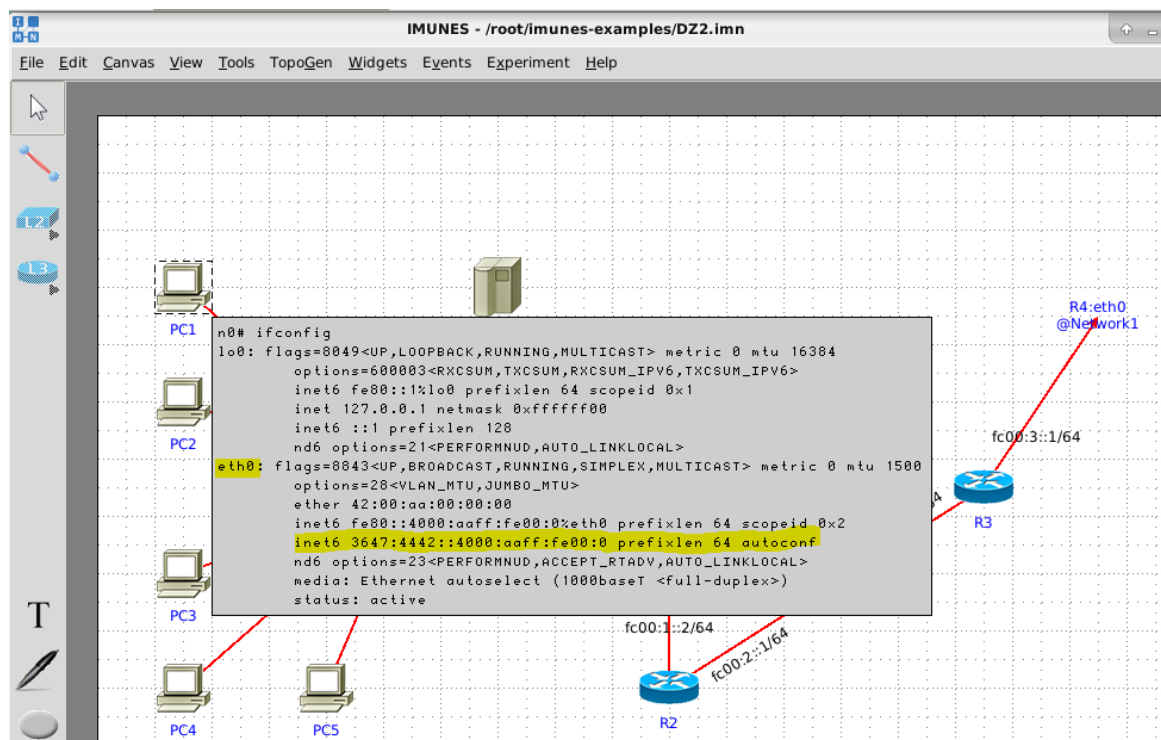


No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	fe80::4000:aaff:fe00:5	ff02::9	RIPng	166	Command Response, Version 1
2	4.709183000	fe80::4000:aaff:fe00:5	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
3	5.909123000	fe80::4000:aaff:fe00:5	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
4	7.397013000	fe80::4000:aaff:fe00:0	ff02::2	ICMPv6	70	Router Solicitation from 42:00:aa:00:00:00
5	7.597433000	fe80::4000:aaff:fe00:5	ff02::1	ICMPv6	110	Router Advertisement from 42:00:aa:00:00:05
6	8.115065000	::	ff02::1:ff00:0	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for 3647:4442::4000:aaff:fe00:0
7	8.311939000	fe80::4000:aaff:fe00:0	ff02::16	ICMPv6	110	Multicast Listener Report Message v2
8	10.711987000	fe80::4000:aaff:fe00:0	ff02::16	ICMPv6	110	Multicast Listener Report Message v2

Frame 2: 90 bytes on wire (720 bits), 90 bytes captured (720 bits) on interface 0	
Ethernet II, Src: 42:00:aa:00:00:05 (42:00:aa:00:00:05), Dst: IPv6mcast_16 (33:33:00:00:16)	
Internet Protocol Version 6, Src: fe80::4000:aaff:fe00:5 (fe80::4000:aaff:fe00:5), Dst: ff02::16 (ff02::16)	
Internet Control Message Protocol v6	

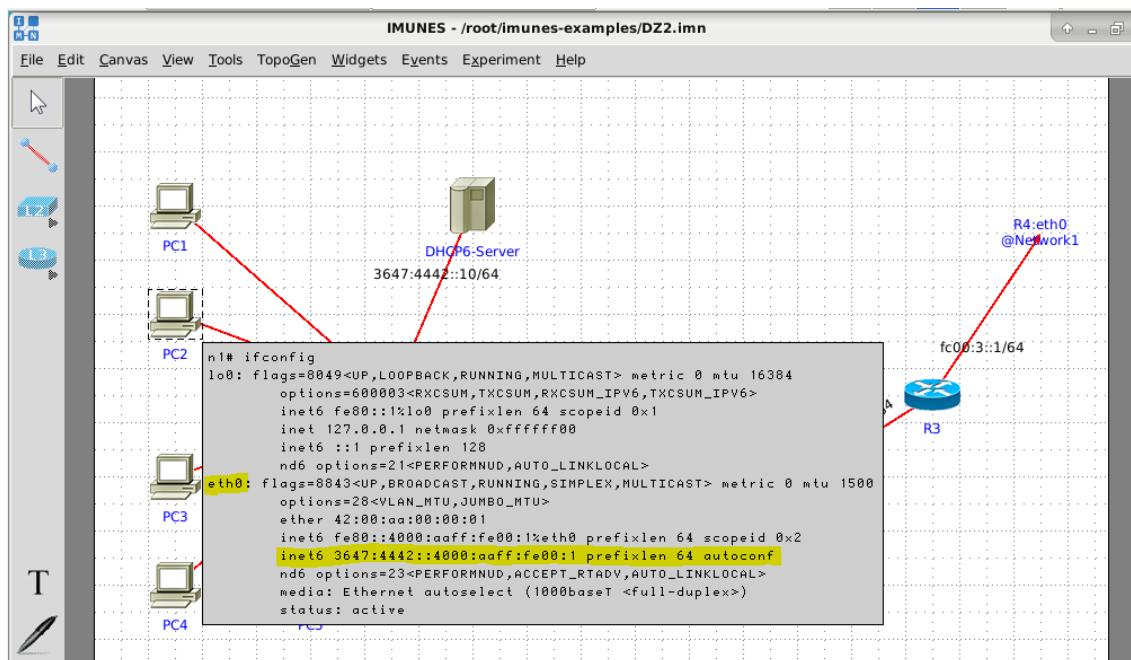
Slika 2 Wireshark promet na sučelju `eth0` PC1

Slika 3 prikazuje stanje na PC1 nakon provedene samostalne autokonfiguracije. Istaknuta je globalna IPv6 adresa konfigurirana samostalnom autokonfiguracijom (**3647:4442::4000:aaff:fe00:0001/64**).



Slika 3 Adresa PC1 nakon samostalne autokonfiguracije

Istim postupkom konfigurira se adresa računala PC2. Slika 4 prikazuje konfiguriranu IPv6 adresu.



Slika 4 Adresa PC2 nakon samostalne autokonfiguracije

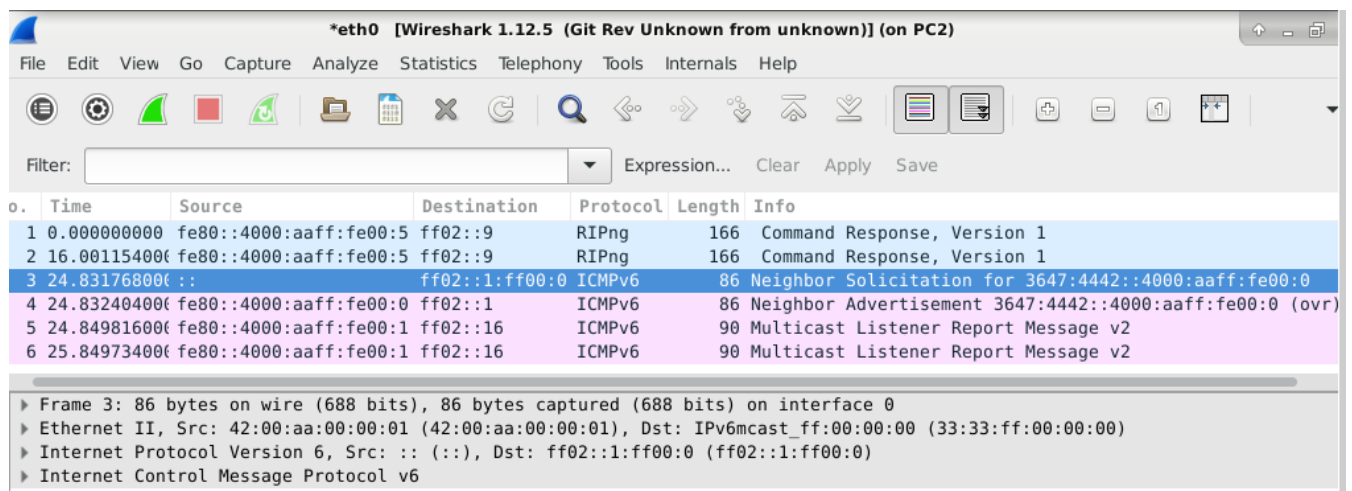
3. Detekcija duplicirane IPv6 adrese

Kako bi isprovocirali detekciju duplicirane IPv6 adrese na npr. računalu PC2, u konzoli na PC2 pokrenemo naredbu

```
ifconfig eth0 inet6 3647:4442::4000:aaff:fe00:0[4]
```

gdje je 3647:4442::4000:aaff:fe00:0 već postojeća globalna adresa sučelja eth0 na PC1, dobivena prethodnim postupkom autokonfiguracije.

Slika 5 prikazuje promet snimljen Wiresharkom.

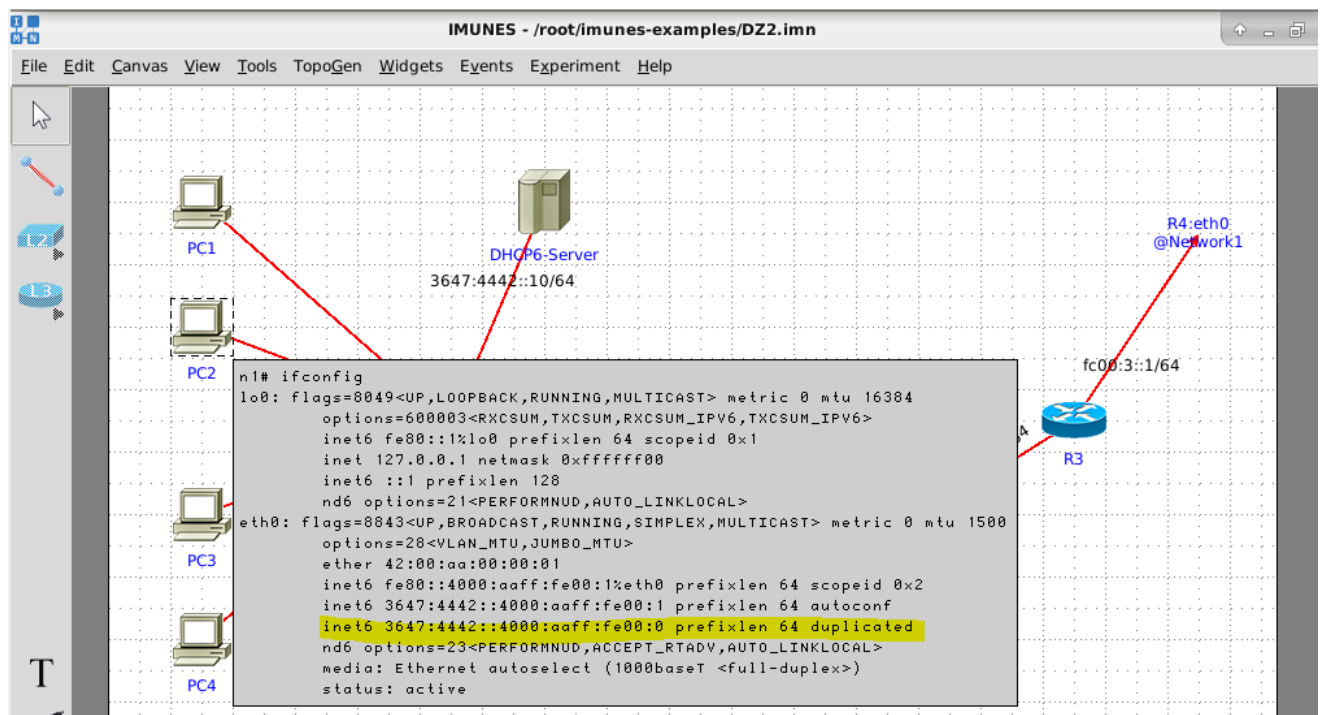


No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1	0.000000000	fe80::4000:aaff:fe00:5	ff02::9	RIPng	166	Command Response, Version 1
2	16.001154000	fe80::4000:aaff:fe00:5	ff02::9	RIPng	166	Command Response, Version 1
3	24.831768000	::	ff02::1:ff00:0	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for 3647:4442::4000:aaff:fe00:0
4	24.832404000	fe80::4000:aaff:fe00:0	ff02::1	ICMPv6	86	Neighbor Advertisement 3647:4442::4000:aaff:fe00:0 (ovr)
5	24.849816000	fe80::4000:aaff:fe00:1	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
6	25.849734000	fe80::4000:aaff:fe00:1	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2

Frame 3: 86 bytes on wire (688 bits), 86 bytes captured (688 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: 42:00:aa:00:00:01 (42:00:aa:00:00:01), Dst: IPv6mcast_ff:00:00:00 (33:33:ff:00:00:00)
Internet Protocol Version 6, Src: :: (::), Dst: ff02::1:ff00:0 (ff02::1:ff00:0)
Internet Control Message Protocol v6

Slika 5 Duplicirana adresa na PC2

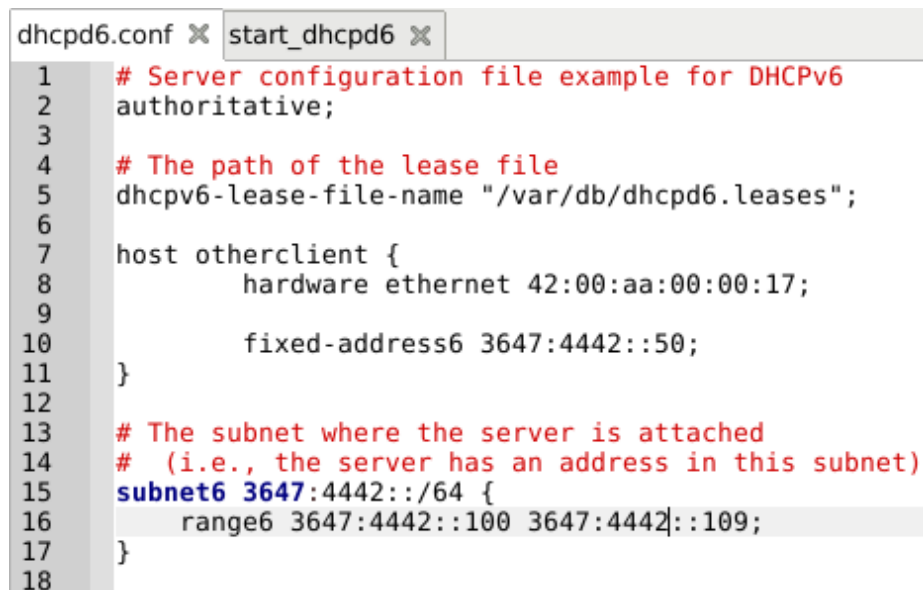
Računalo PC2 šalje na višedredišnu adresu **ff02::1:ff00:0** svim čvorovima u dosegu poveznice *Neighbour Solicitation* poruku kojom provjerava jedinstvenost adrese **3647:4442::4000:aaff:fe00:0**. Javlja mu se računalo PC1 (**fe80::4000:aaff:fe00:0**), odnosno ono šalje na višedredišnu adresu **ff02::1** poruku *Neighbour Advertisement* koja govori da PC1 ima globalnu adresu **3647:4442::4000:aaff:fe00:0**. Bez obzira na detekciju duplicirane adrese, računalu PC2 dodjeljuje se ta adresa kao dodatna (*duplicated*) globalna IPv6 adresa (Slika 6).



Slika 6 Dodijeljena dodatna globalna adresa računalu PC2

4. Konfiguracija IPv6 adrese putem protokola DHCPv6

Kod rješavanja ovog zadatka koristila sam konfiguracijsku datoteku **dhcpcd6.conf** te skripte **start_dhcpcd6** i **start_functions.sh**. Datoteku **dhcpcd6.conf** i skriptu **start_dhcpcd6** uzela sam iz primjera DHCP6+RSOL te ih prilagodila mreži DZ2.imn. Datoteka **dhcpcd6.conf**^[5] sadrži podatke za konfiguraciju računala i DHCPv6 poslužitelja, odnosno u mreži DZ2.imn DHCP6-Servera, i prikazana je na Slika 7.



```
dhcpcd6.conf x start_dhcpcd6 x
1  # Server configuration file example for DHCPv6
2  authoritative;
3
4  # The path of the lease file
5  dhcpv6-lease-file-name "/var/db/dhcpcd6.leases";
6
7  host otherclient {
8      hardware ethernet 42:00:aa:00:00:17;
9
10     fixed-address6 3647:4442::50;
11 }
12
13 # The subnet where the server is attached
14 # (i.e., the server has an address in this subnet)
15 subnet6 3647:4442::/64 {
16     range6 3647:4442::100 3647:4442::109;
17 }
18
```

Slika 7 Datoteka dhcpcd6.conf

fixed-address6 (3647:4442::50) je adresa koja će biti dodijeljena statički računalu PC5 (s MAC adresom *hardware ethernet* 42:00:aa:00:00:17), a *range6* je raspon adresa iz kojeg će adrese biti dodijeljene računalima PC3 i PC4.

Skripta **start_dhcpcd6** služi za konfiguraciju DHCPv6 poslužitelja i računala. Pod *dhcp_server* navedeno je ime DHCPv6 servera iz mreže DZ2.imn kojeg je potrebno konfigurirati, a pod *hosts* navedena su imena računala koje je potrebno konfigurirati, s tim da će računalima PC3 i PC4 biti dodijeljene IPv6 adrese iz raspona navedenog u datoteci **dhcpcd6.conf**, a računalu PC5 biti će statički dodijeljena adresa navedena u **dhcpcd6.conf**. Skripta **start_dhcpcd6** prikazana je na Slika 8.


```

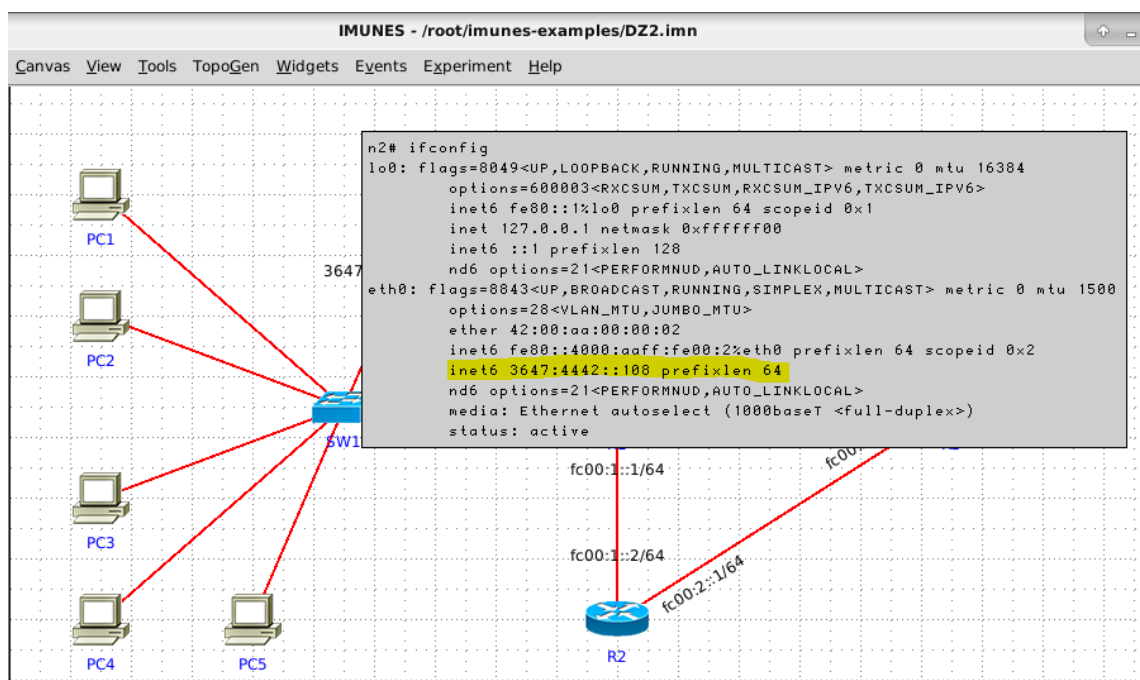
1  #!/bin/sh
2
3  . ../Desktop/start_functions.sh
4
5  dhcp_server="DHCP6-Server"
6  hosts="PC3 PC4 PC5"
7
8  if [ $# -eq 1 ]; then
9      eid=$1
10     isEidRunning $eid
11 else
12     eid=`isNodeRunning $dhcp_server`
13     if [ $? -ne 0 ]; then
14         exit 1
15     fi
16 fi
17
18 echo "Configuring server:"
19
20 himage ${dhcp_server}@${eid} mkdir -p /var/db
21 himage ${dhcp_server}@${eid} touch /var/db/dhcpd6.leases
22 himage ${dhcp_server}@${eid} killall dhcpd
23
24 if isOSfreebsd; then
25     hcp dhcpd6.conf ${dhcp_server}@${eid}:/usr/local/etc/dhcpd6.conf
26     himage ${dhcp_server}@${eid} service isc-dhcpd6 onerestart
27 else
28     hcp dhcpd6.conf ${dhcp_server}@${eid}:/etc/dhcp/dhcpd.conf
29     himage ${dhcp_server}@${eid} touch /var/lib/dhcp/dhcpd6.leases
30     himage ${dhcp_server}@${eid} dhcpd -6
31 fi
32
33 sleep 3
34 echo "Configuring clients:"
35 for pc in PC3 PC4 PC5; do
36     echo "++++++ $pc ++++++"
37     himage ${pc}@${eid} killall dhclient
38     if isOSfreebsd; then
39         pre="/usr/local/sbin/"
40     fi
41     himage ${pc}@${eid} ${pre}dhclient -6 -v eth0
42 done
43

```

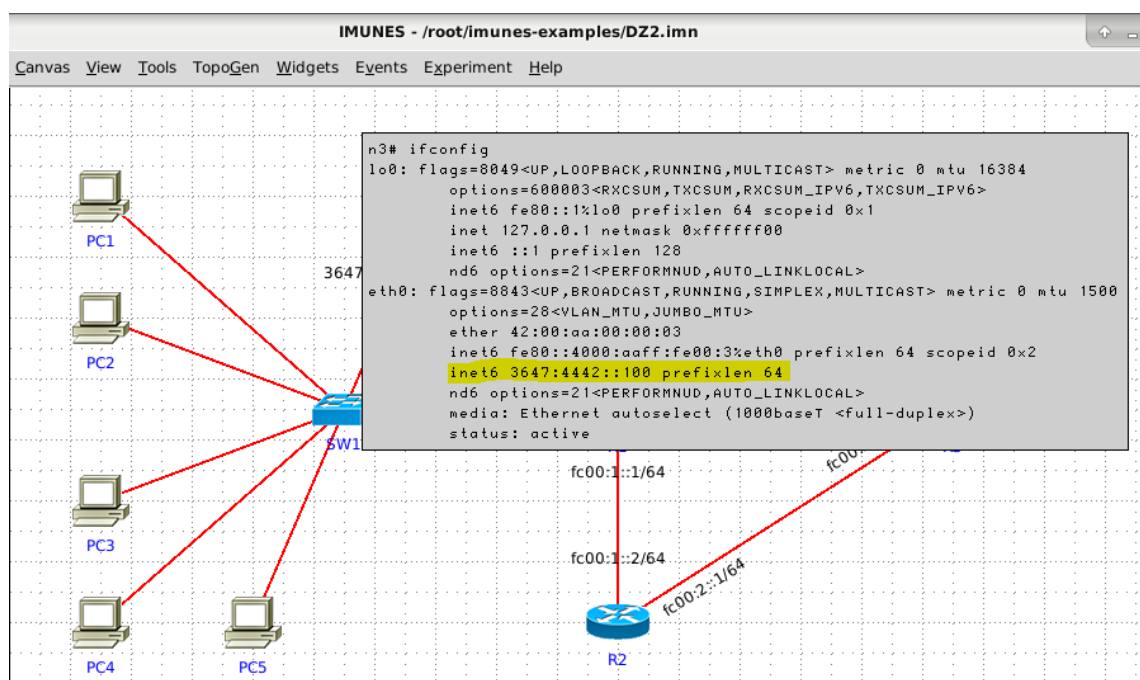
Slika 8 Skripta start_dhcpd6

Skriptu **start_functions.sh** koristimo kod pokretanja skripte **start_dhcpd6** i u njoj ne mijenjamo ništa.

U IMUNES-u u terminalu XTerm se pozicioniramo u direktorij u koji smo spremili navedene skripte i datoteku te pokrećemo skriptu **start_dhcpd6** naredbom `./start_dhcpd6`. Nakon pokretanja skripte računalima PC3, PC4 i PC5 dodijeljene su adrese prikazane na Slika 9, Slika 10 i Slika 11.

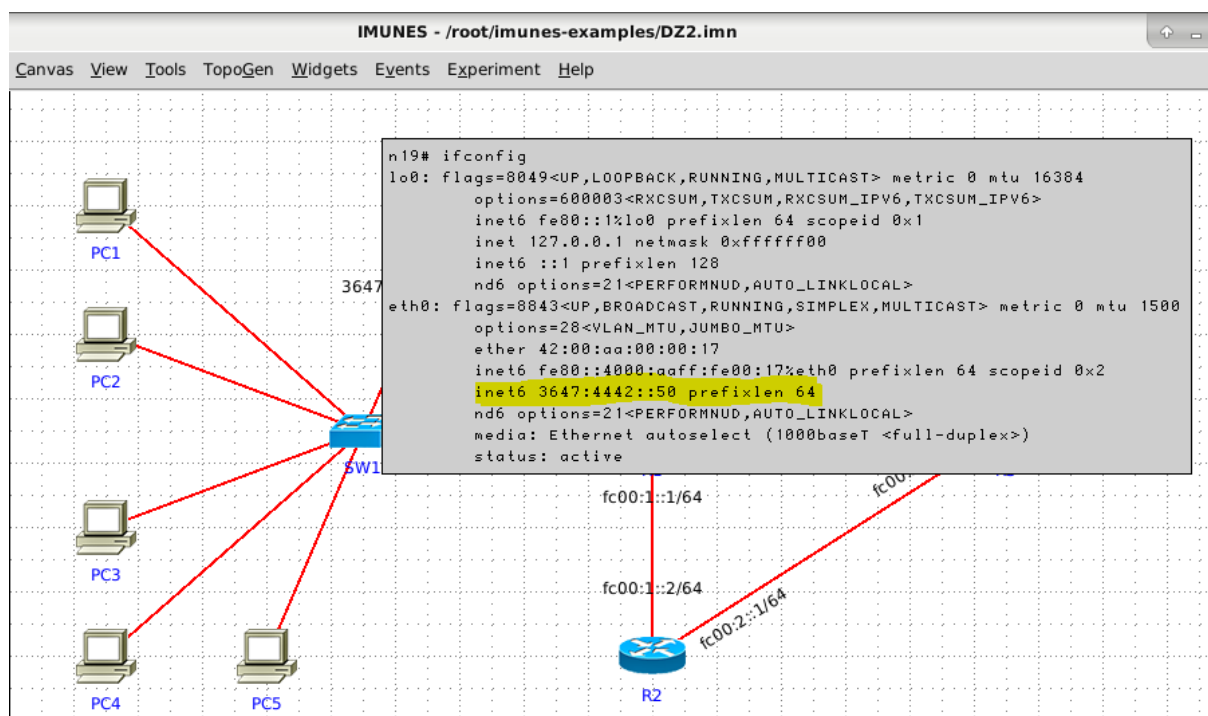


Slika 9 Adresa računala PC3



Slika 10 Adresa računala PC4

Računalu PC3 dodijeljena je adresa **3647:4442::108/64**, PC4 **3647:4442::100/64** – obje su iz raspona 3647:4442::100/64 - 3647:4442::109/64, a računalu PC5 adresa 3647:4442::50/64, kako je i određeno u datoteci **dhcpd6.conf**.



Slika 11 Adresa računala PC5

Wireshark promet snimljen tijekom postupka dodjele adrese na računalu PC3 prikazan je na Slika 12.

Wireshark pc3.pcapng [Wireshark 1.12.5 (Git Rev Unknown from unknown)] (on PC3)

File Edit View Go Capture Analyze Statistics Telephony Tools Internals Help

Filter: Expression... Clear Apply Save

Source	Destination	Protocol	Length	Info
fe80::4000:aaff:fe00:3	ff02::1	ICMPv6	100	Command Response, version 1
fe80::4000:aaff:fe00:5	ff02::9	RIPng	166	Command Response, Version 1
fe80::4000:aaff:fe00:4	ff02::16	ICMPv6	110	Multicast Listener Report Message v2
fe80::4000:aaff:fe00:4	ff02::16	ICMPv6	110	Multicast Listener Report Message v2
fe80::4000:aaff:fe00:2	ff02::1:2	DHCPv6	106	Solicit XID: 0xec302f CID: 000100011e0986b14200aa000002
fe80::4000:aaff:fe00:4	ff02::1:ff00:2	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for fe80::4000:aaff:fe00:2 from 42:00:aa
fe80::4000:aaff:fe00:2	fe80::4000:aaff:fe00:4	ICMPv6	86	Neighbor Advertisement fe80::4000:aaff:fe00:2 (sol, ovr) is at
fe80::4000:aaff:fe00:4	fe80::4000:aaff:fe00:2	DHCPv6	146	Advertise XID: 0xec302f IAA: 3647:4442::108 CID: 000100011e098
fe80::4000:aaff:fe00:2	ff02::1:2	DHCPv6	152	Request XID: 0xa674b9 CID: 000100011e0986b14200aa000002 IAA: 3
fe80::4000:aaff:fe00:4	fe80::4000:aaff:fe00:2	DHCPv6	146	Reply XID: 0xa674b9 IAA: 3647:4442::108 CID: 000100011e0986b14
::	ff02::1:ff00:108	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for 3647:4442::108
fe80::4000:aaff:fe00:2	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
fe80::4000:aaff:fe00:3	ff02::1:2	DHCPv6	106	Solicit XID: 0x55a986 CID: 000100011e0986b34200aa000003
fe80::4000:aaff:fe00:4	ff02::1:ff00:3	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for fe80::4000:aaff:fe00:3 from 42:00:aa
fe80::4000:aaff:fe00:2	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
fe80::4000:aaff:fe00:3	ff02::1:2	DHCPv6	152	Request XID: 0xf91d0a CID: 000100011e0986b34200aa000003 IAA: 3
::	ff02::1:ff00:109	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for 3647:4442::109
fe80::4000:aaff:fe00:3	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
fe80::4000:aaff:fe00:1	ff02::1:2	DHCPv6	106	Solicit XID: 0x144e6 CID: 000100011e0986b54200aa000017
fe80::4000:aaff:fe00:4	ff02::1:ff00:17	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for fe80::4000:aaff:fe00:17 from 42:00:aa
fe80::4000:aaff:fe00:2	fe80::4000:aaff:fe00:4	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for fe80::4000:aaff:fe00:4 from 42:00:aa
fe80::4000:aaff:fe00:4	fe80::4000:aaff:fe00:2	ICMPv6	78	Neighbor Advertisement fe80::4000:aaff:fe00:4 (sol)
fe80::4000:aaff:fe00:1	ff02::1:2	DHCPv6	152	Request XID: 0xab3f8b CID: 000100011e0986b54200aa000017 IAA: 3
::	ff02::1:ff00:50	ICMPv6	86	Neighbor Solicitation for 3647:4442::50
fe80::4000:aaff:fe00:1	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
fe80::4000:aaff:fe00:3	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2
fe80::4000:aaff:fe00:1	ff02::16	ICMPv6	90	Multicast Listener Report Message v2

Slika 12 Wireshark promet na sučelju eth0 računala PC3

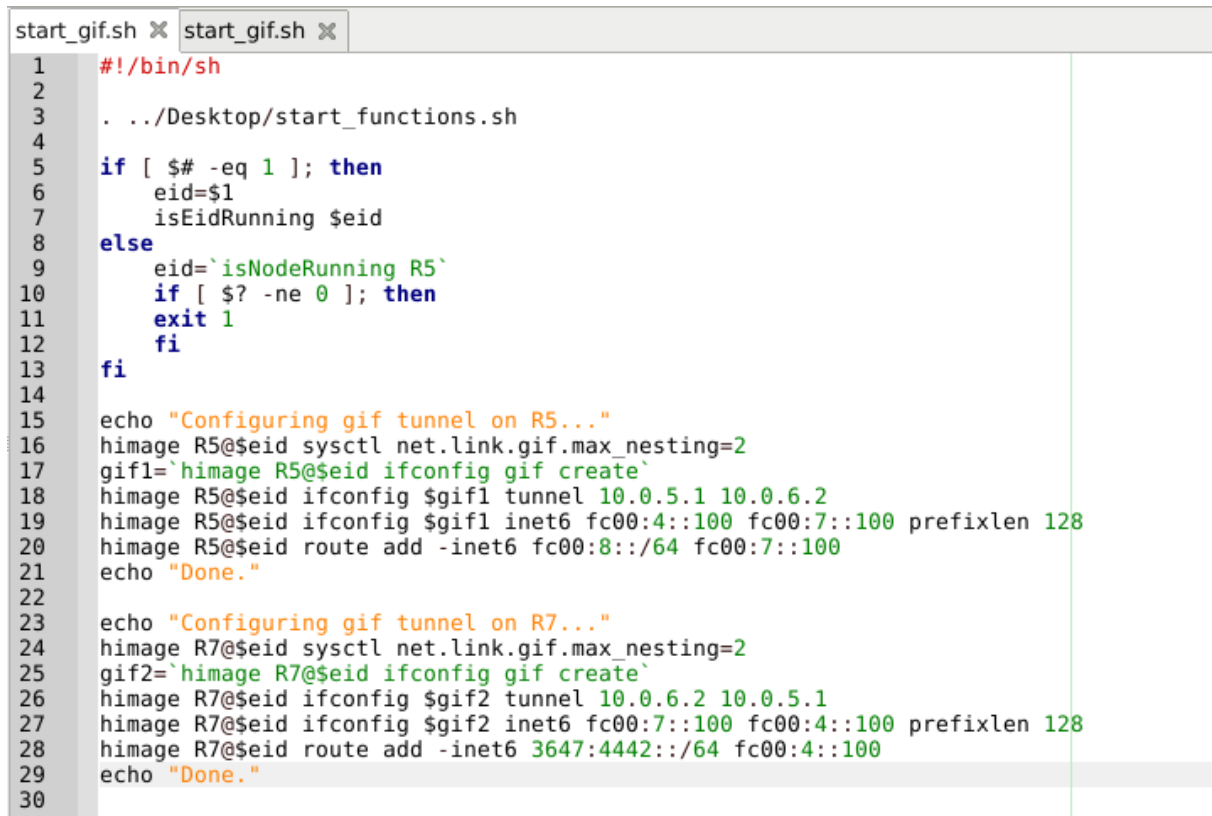
Izmijenjuju se poruke:

- DHCPv6 Solicit koju šalje računalo PC3 sa svoje *link-local* adrese **fe80::4000:aaff:fe00:2** na višeodredišnu adresu **ff02::1:2** i tom porukom traži DHCPv6 poslužitelja za konfiguraciju IPv6 adrese (u poruci šalje CID – *client ID*)
- Neighbour Solicitation koju šalje DHCPv6 poslužitelj (DHCP6-Server) sa svoje *link-local* adrese **fe80::4000:aaff:fe00:4** na višeodredišnu adresu **ff02::1:ff00:2** svim čvorovima u doseg u poveznice kako bi provjerio koje računalo ima adresu s koje mu je poslana *Solicit* poruka
- Neighbour Advertisement šalje računalo PC3 kao odgovor na Neighbour Solicitation DHCP6-Servera, javlja mu da on ima tu adresu s koje mu je poslana *Solicit* poruka (izvorišna adresa *link-local* adresa PC3 **fe80::4000:aaff:fe00:2**, odredišna *link-local* DHCP6-Servera **fe80::4000:aaff:fe00:4**)
- DHCP6-Server oglašava se porukom DHCPv6 Advertise sa svoje *link-local* adrese **fe80::4000:aaff:fe00:4** na jednodredišnu adresu samo računalo PC3 (odredišna adresa **fe80::4000:aaff:fe00:2**)
- DHCPv6 Request šalje PC3 na višeodredišnu adresu **ff02::1:2** sa svojim CID i time zahtjeva podatke o mreži i IPv6 adresu
- DHCPv6 Reply kao odgovor na Request šalje DHCP6-Server (izvorišna adresa **fe80::4000:aaff:fe00:4**) računalo PC3 (odredišna adresa **fe80::4000:aaff:fe00:2**) i dodjeljuje mu adresu **3647:4442::108**
- Neighbour Solicitation šalje PC3 na višeodredišnu adresu **ff02::1:ff00:108** kao provjeru je li adresa **3647:4442::108** jedinstvena. Budući da mu se nitko ne odaziva, PC3 zadržava dodijeljenu adresu

Dakle pri ovakvoj dodijeli adresa koriste se *link-local* adrese u izmjeni poruka zato što se komunikacija odvija unutar iste podmreže. Dodjela adrese računalo PC5 teče na jednak način, samo je adresa koja će mu biti dodijeljena unaprijed određena u datoteci **dhcpcd6.conf**.

5. Komunikacija protokolom IPv6 preko IPv4 otoka

U rješavanju ovog zadatka poslužila sam se gotovim skriptama **start_gif** te **start_functions.sh**. Skriptu **start_gif** prilagodila sam mreži DZ2.imn i ona je prikazana na Slika 13.



```
1  #!/bin/sh
2
3  . ../Desktop/start_functions.sh
4
5  if [ $# -eq 1 ]; then
6      eid=$1
7      isEidRunning $eid
8  else
9      eid=`isNodeRunning R5`
10     if [ $? -ne 0 ]; then
11         exit 1
12     fi
13 fi
14
15 echo "Configuring gif tunnel on R5..."
16 himage R5@$eid sysctl net.link.gif.max_nesting=2
17 gif1=`himage R5@$eid ifconfig gif create`
18 himage R5@$eid ifconfig $gif1 tunnel 10.0.5.1 10.0.6.2
19 himage R5@$eid ifconfig $gif1 inet6 fc00:4::100 fc00:7::100 prefixlen 128
20 himage R5@$eid route add -inet6 fc00:8::/64 fc00:7::100
21 echo "Done."
22
23 echo "Configuring gif tunnel on R7..."
24 himage R7@$eid sysctl net.link.gif.max_nesting=2
25 gif2=`himage R7@$eid ifconfig gif create`
26 himage R7@$eid ifconfig $gif2 tunnel 10.0.6.2 10.0.5.1
27 himage R7@$eid ifconfig $gif2 inet6 fc00:7::100 fc00:4::100 prefixlen 128
28 himage R7@$eid route add -inet6 3647:4442::/64 fc00:4::100
29 echo "Done."
30
```

Slika 13 Skripta start_gif

Skripta **start_gif** služi za uspostavu tunela između usmjeritelja R5 i R7, a tunel na toj relaciji uspostavljam jer taj dio mreže podržava komunikaciju samo protokolom IPv4. Iz skripte je vidljivo da se uspostavlja tunel od sučelja **eth1** usmjeritelja R5 (IPv4 adresa **10.0.5.1**) do sučelja **eth0** usmjeritelja R7 (IPv4 adresa **10.0.6.2**) i u obratnom smjeru (naredbe **himage R5@\$eid ifconfig \$gif1 tunnel 10.0.5.1 10.0.6.2** na usmjeritelju R5 te **himage R7@\$eid ifconfig \$gif2 tunnel 10.0.6.2 10.0.5.1** na usmjeritelju R7). Tim sučeljima dodijeljene su virtualne IPv6 adrese naredbom **himage R5@\$eid ifconfig \$gif1 inet6 fc00:4::100 fc00:7::100 prefixlen 128** na usmjeritelju R5 i slično na R7. Tako je sučelju **eth1** usmjeritelja R5 dodijeljena adresa **fc00:4::100/128**, a sučelju **eth0** usmjeritelja R7 adresa **fc00:7::100/128**. U tablicu usmjeravanja usmjeritelja R5 dodaje se ruta **himage R5@\$eid route add -inet6 fc00:8::/64 fc00:7::100**, a u tablicu usmjeravanja R7 **himage R7@\$eid route add -inet6 3647:4442::/64 fc00:4::100**. To znači

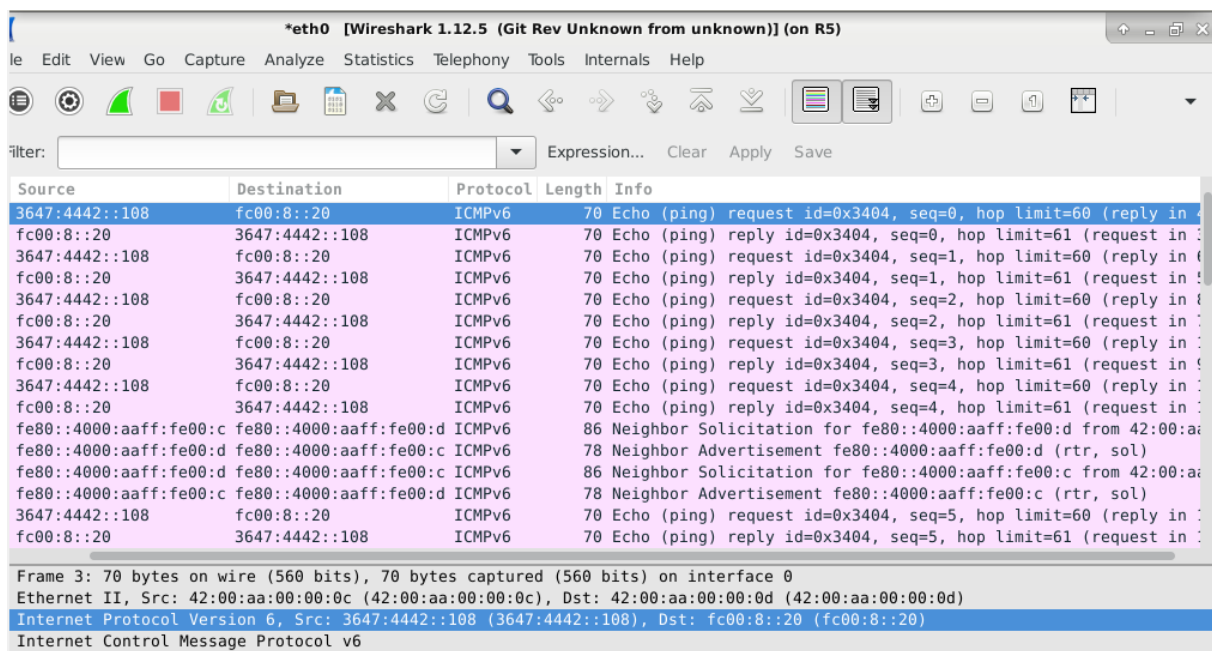
da je paketima koji dođu do usmjeritelja R5 i imaju odredišnu adresu nekog čvora iz pod mreže **fc00:8::/64**, sljedeći skok sučelje eth0 usmjeritelja R7 s virtualnom IPv6 adresom **fc00:7::100**, a paketima koji dođu do usmjeritelja R7 i imaju odredišnu adresu nekog čvora iz pod mreže **3647:4442::/64** sljedeći je skok sučelje eth1 usmjeritelja R5 s virtualnom IPv6 adresom **fc00:4::100**. Time je uspostavljen tunel između usmjeritelja R5 i R7.

Za provjeru je li zaista uspostavljen tunel na relaciji R5 – R7 pokreće se naredba **ping6 fc00:8::20** s računala PC3 (ili bilo kojeg drugog). Također je moguće i ping6 fc00:8::21. Prije toga potrebno je na svim računalima dodati u njihove tablice usmjeravanja sljedeću *defaultnu*, odnosno podrazumijevajuću rutu, kako bi oni mogli komunicirati s ostatkom mreže:

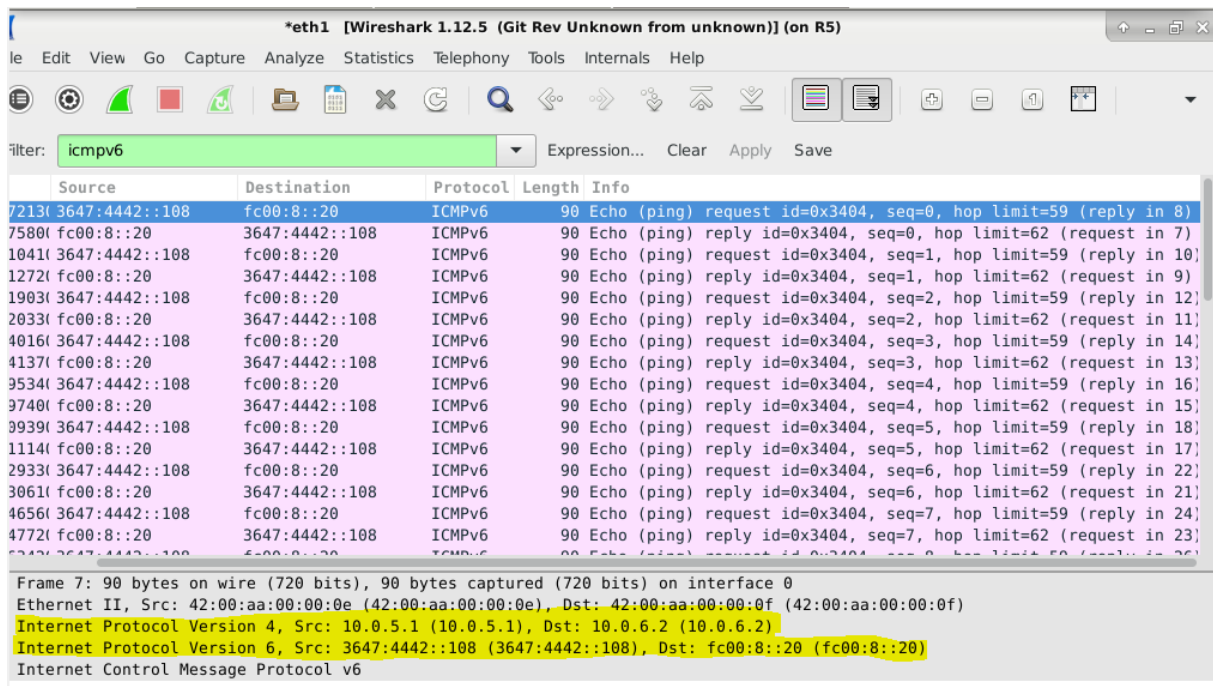
```
route add -inet6 default 3647:4442::1
```

Dakle, kada na jedno od računala dođe paket s odredišnom adresom za koju ne postoji redak u tablici usmjeravanja, sljedeći skok tog paketa je na adresu 3647:4442::1, odnosno na usmjeritelj R1.

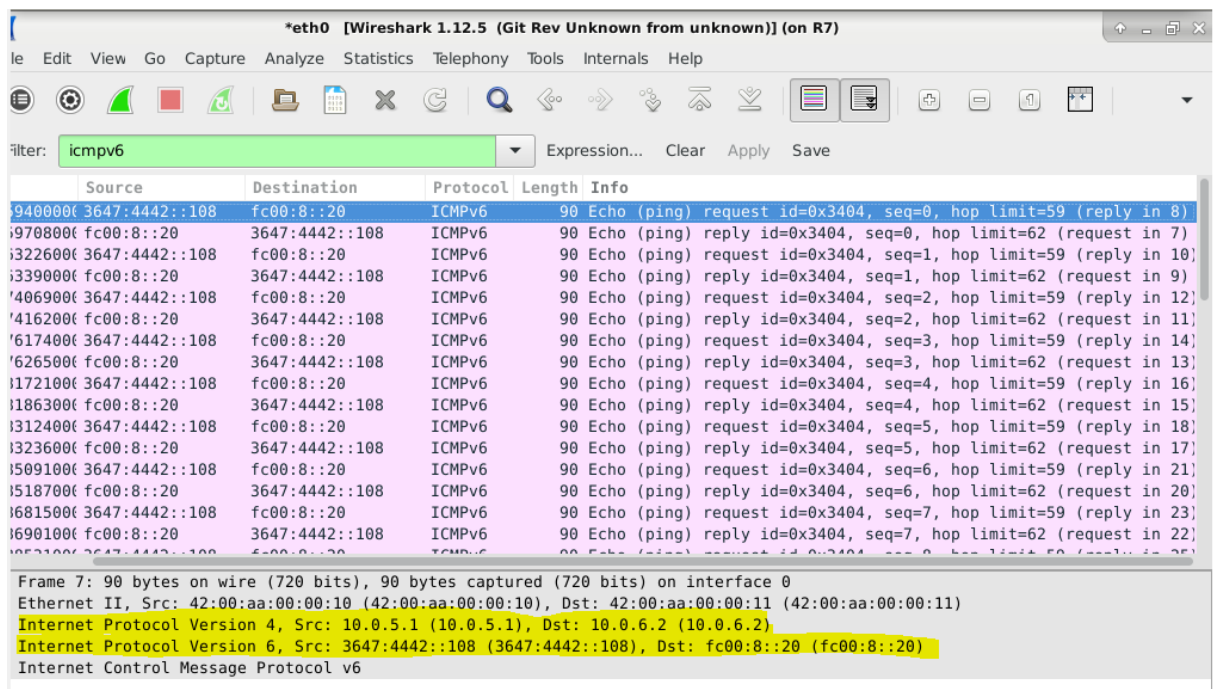
Wireshark promet snimljen na sučeljima usmjeritelja R5 i R7 tijekom izvođenja naredbe ping6 prikazan je na sljedećim slikama.



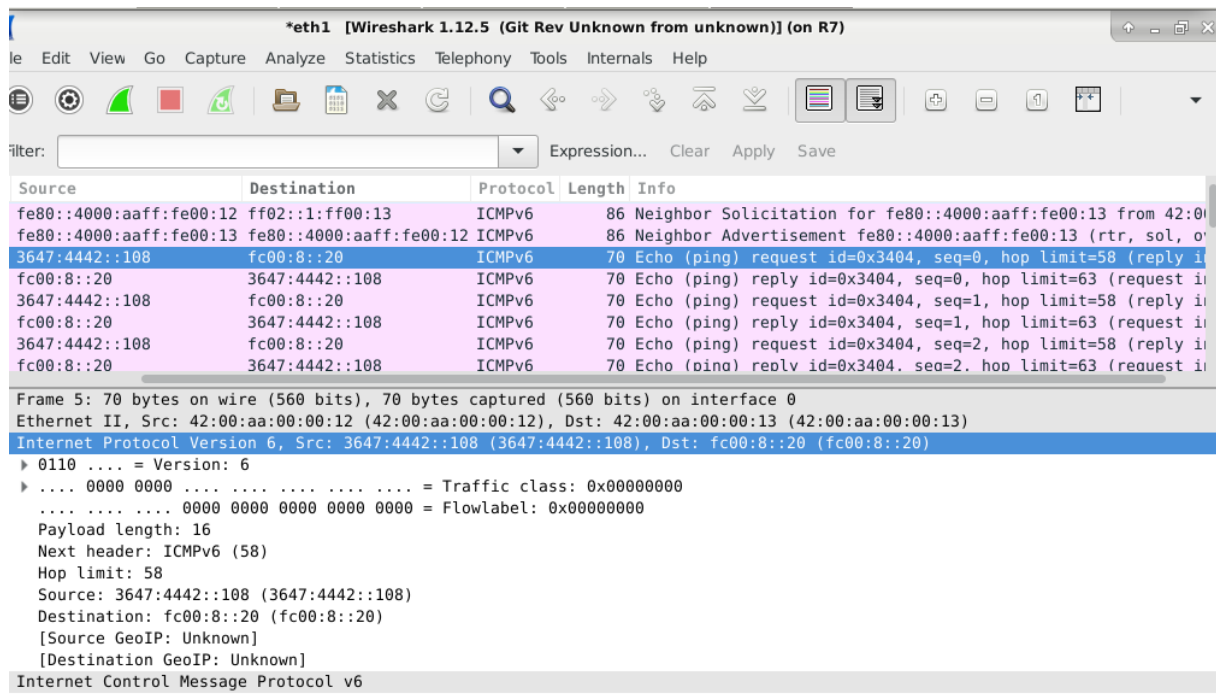
Slika 14 Wireshark promet na sučelju eth0 usmjeritelja R5



Slika 15 Wireshark promet na sučelju eth1 usmjeritelja R5



Slika 16 Wireshark promet na sučelju eth0 usmjeritelja R7



Slika 17 Wireshark promet na sučelju eth1 usmjeritelja R7

Na usmjeriteljima R5 i R7 odvija se enkapsulacija i dekapulacija paketa. Kada IPv6 *Echo request* paketi dolaze na sučelje eth0 usmjeritelja R5, ti paketi se enkapsuliraju, odnosno dodaje im se IPv4 zaglavlje (IPv6 paket se omota IPv4 zaglavljem te postaje podatak za IPv4 paket). Na Slika 15 vidljivo je da je *Echo request* na sučelju eth1 usmjeritelja R5 omotan IPv4 zaglavljem. Takav IPv4 paket prenosi se tunelom do sučelja eth0 usmjeritelja R7 gdje se dekapulira, odnosno skida mu se IPv4 zaglavlje i dalje se prenosi kao originalan IPv6 paket. Sa slike Slika 16 vidljivo je da je *Echo request* na sučelje eth0 usmjeritelja R7 došao omotan u IPv4 zaglavlje, a na sučelju eth1 usmjeritelja R7 to mu je zaglavlje skinuto.

Echo reply IPv6 paketi od računala PC6 prema računalu PC3 se enkapsuliraju na sučelju eth1 usmjeritelja R7, kroz tunel do sučelja eth1 usmjeritelja R5 se prenose kao IPv4 paketi te se na tom sučelju dekapuliraju i dalje do PC3 prenose kao originalni IPv6 paketi.

Literatura

[1] <http://www.sput.nl/internet/ipv6/ll-mac.html>

[2]

<https://www.freebsd.org/cgi/man.cgi?query=rtadvd&apropos=0&sektion=0&manpath=FreeBSD+10.2-RELEASE&arch=default&format=html>

[3]

<https://www.freebsd.org/cgi/man.cgi?query=rtsol&apropos=0&sektion=8&manpath=FreeBSD+10.2-RELEASE&arch=default&format=html>

[4]

<https://www.freebsd.org/cgi/man.cgi?query=ifconfig&apropos=0&sektion=8&manpath=FreeBSD+10.2-RELEASE&arch=default&format=html>

[5]

<http://www.qnx.com/developers/docs/660/index.jsp?topic=%2Fcom.qnx.doc.neutrino.utilities%2Ftopic%2Fd%2Fdhcpcd.conf.html>