

FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA

# Tuneliranje u IP protokolu

---

Prva domaća zadaća iz  
Komunikacijskih protokola

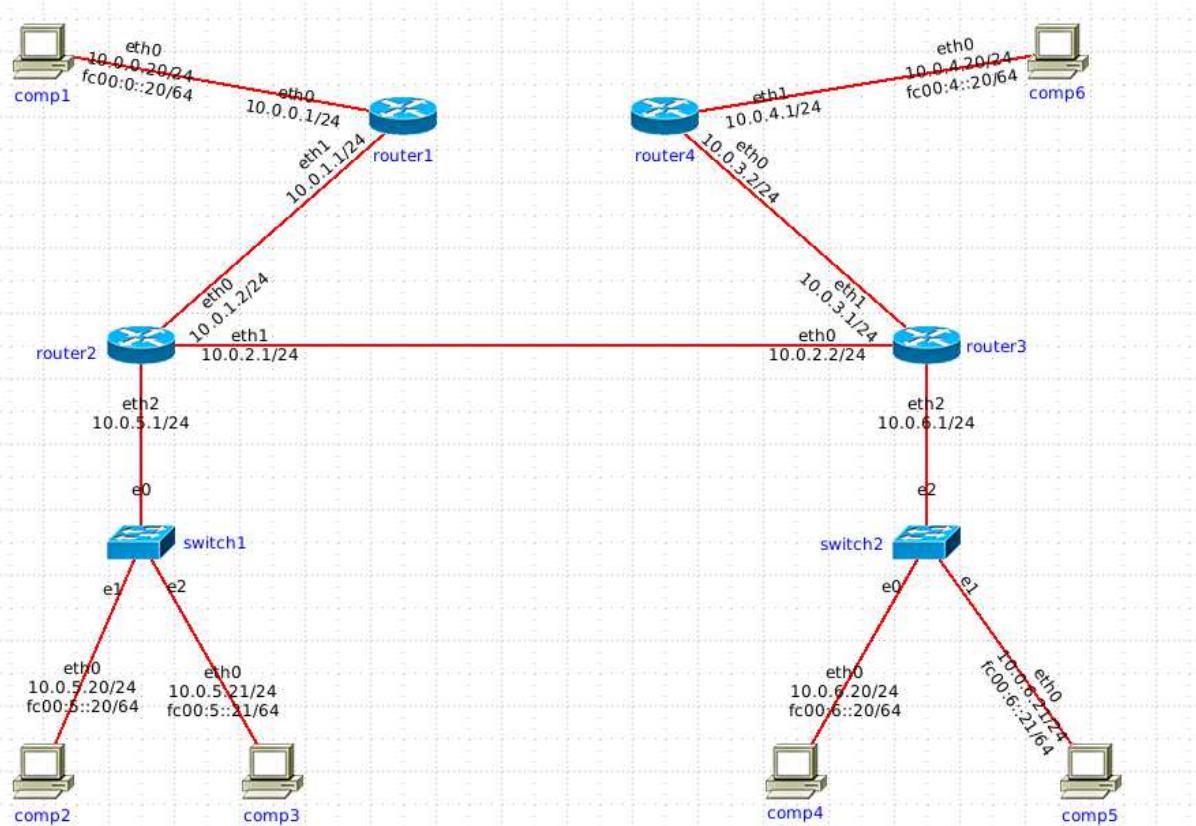
G-bear, 0036123456

12/10/2012

## 1. Scenarij – Host-to-Host tuneliranje (IPv6-paketi preko IPv4-mreže)

U prvom scenariju dva računala s dvostrukim IP-složajem se nalaze u IPv4-podmrežama i trebaju komunicirati kroz IPv4 mrežu. Potrebno je uspostaviti tunel za prijenos IPv6-paketa između ta dva krajnja računala kroz IPv4 mrežu i razmijeniti podatke.

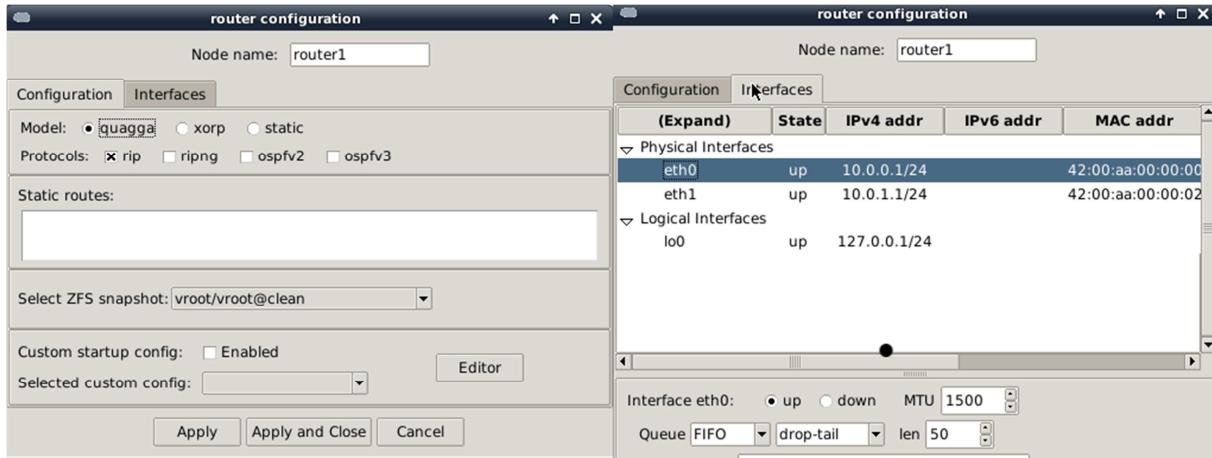
Prvo treba nacrtati mrežu koristeći IMUNES i sa svih routera koji se nalaze u IPv4 mreži obrisati karakteristike IPv6 mreže. Slika 1 prikazuje već gotovu mrežu.



Slika 1. Mreža u prvom slučaju

Na mreži je vidljivo da krajnja računala comp1 i comp6 imaju i IPv4 i IPv6 adrese, dok usmjeritelji između njih router1, router2, router3 i router4 imaju samo IPv4 adrese.

To se postiže tako da se otvore postavke svakog od routera i tamo uredi sve što nam treba za IPv4 mrežu. U izborniku *configuration* potrebno je isključiti podršku za *ripng*, a u izborniku *Interfaces* treba obrisati sve IPv6 adrese, kao što je to vidljivo na slici 2.



Slika 2. Postavke usmjerivača

Nakon što se analogno urede svi routeri, treba pokrenuti simulaciju. To se čini tako da se u Imunosovom izborniku *Experiment* odabere *Execute*.

Sad je potrebno stvoriti tunel. To činimo pokretanjem niza naredbi u *bash* ljudscu koja se otvori tako da se desno-klikne na *comp1*, i pod padajućim izbornikom *Shell window* odabere *bash*. U ljudsku se naredbe kako je prikazano na slici 3.

```
IMUNES: comp1 (console) [root@comp1 ~]# sysctl net.link.gif.max_nesting=2
net.link.gif.max_nesting: 1 -> 2
[root@comp1 ~]# ifconfig gif create
gif0
[root@comp1 ~]# ifconfig gif0 tunnel 10.0.0.20 10.0.4.20
[root@comp1 ~]# ifconfig gif0 inet6 fc00:0::21 fc00:4::21 prefixlen 128
[root@comp1 ~]# ifconfig gif0 up
IMUNES: comp6 (console) [root@comp6 ~]# sysctl net.link.gif.max_nesting=2
net.link.gif.max_nesting: 1 -> 2
[root@comp6 ~]# ifconfig gif create
gif1
[root@comp6 ~]# ifconfig gif1 tunnel 10.0.4.20 10.0.0.20
[root@comp6 ~]# ifconfig gif1 inet6 fc00:4::21 fc00:0::21 prefixlen 128
[root@comp6 ~]# ifconfig gif1 up
```

Slika 3. Naredbe za upis

U ljudscu prvog računala *comp1* prvo se upisuje „*sysctl net.link.gif.max\_nesting=2*“ što nam omogućuje da imamo samo 2 tunela. Zatim se upisuje „*ifconfig gif create*“ s čime stvaramo sučelje *gif*, u ovom slučaju *gif0*. Nakon toga pokrećemo „*ifconfig gif0 tunnel 10.0.0.20 10.0.4.20*“ kojim govorimo koja dva računala spajamo, „*ifconfig gif0 inet6 fc00:0::21 fc00:4::21 prefixlen 128*“ kojim određujemo IPv6-adrese tunela i „*ifconfig gif0 up*“ s čime dižemo sučelje. Isti postupak radimo i na drugom računalu *comp6*, samo što tamo adrese upisujemo obrnuto i imamo *gif1* umjesto *gif0*.

Da bi provjerili da li je sve dobro prošlo, moramo provjeriti da li je sučelje stvoreno. Na slici 4 je prikazan rezultat naredbe „*ifconfig*“ nakon stvaranja sučelja *gif0* na računalu *comp1*.

```
[root@comp1 /]# ifconfig
lo0: flags=8049<UP,LOOPBACK,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 16384
    options=3<RXCSUM,TXCSUM>
    inet6 ::1 prefixlen 128
        inet6 fe80::1%lo0 prefixlen 64 scopeid 0x1
        inet 127.0.0.1 netmask 0xffffffff
        nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
eth0: flags=8843<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=28<VLAN_MTU,JUMBO_MTU>
    ether 42:00:aa:00:00:01
        inet6 fe80::4000:aaff:fe00:1%eth0 prefixlen 64 scopeid 0x2
        inet 10.0.0.20 netmask 0xffffffff broadcast 10.0.0.255
        inet6 fc00::20 prefixlen 64
        nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
        media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
        status: active
gif0: flags=8051<UP,POINTOPOINT,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 1280
    tunnel inet 10.0.0.20 --> 10.0.4.20
    inet6 fc00::21 --> fc00:4::21 prefixlen 128
    inet6 fe80::ec9d:f273:1748:9565%gif0 prefixlen 64 scopeid 0x3
    nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
    options=1<ACCEPT_REV_ETHIP_VER>
[root@comp1 /]#
```

Slika 4. ifconfig na računalu comp1

Nakon što smo se ovjerili da je sve dobro, krećemo s testiranjem. Prvi test nam je *ping*. Pingati ćemo računalo *comp6* s računala *comp1*. To činimo tako da u ljudsci na računalu *comp1* pokrenemo naredbu „*ping6 -c 5 fc00:4::21*“ kao što je to vidljivo na slici 5. Koristimo *ping6* zato što radimo s IPv6, a adresa je adresa kraja tunela od *comp6*. Korištena je i zastavica *-c* s vrijednošću 5 što znači da će *ping* poslati samo 5 paketa i nakon toga sam prestati s radom, te ispisati statistike *pinganja*.

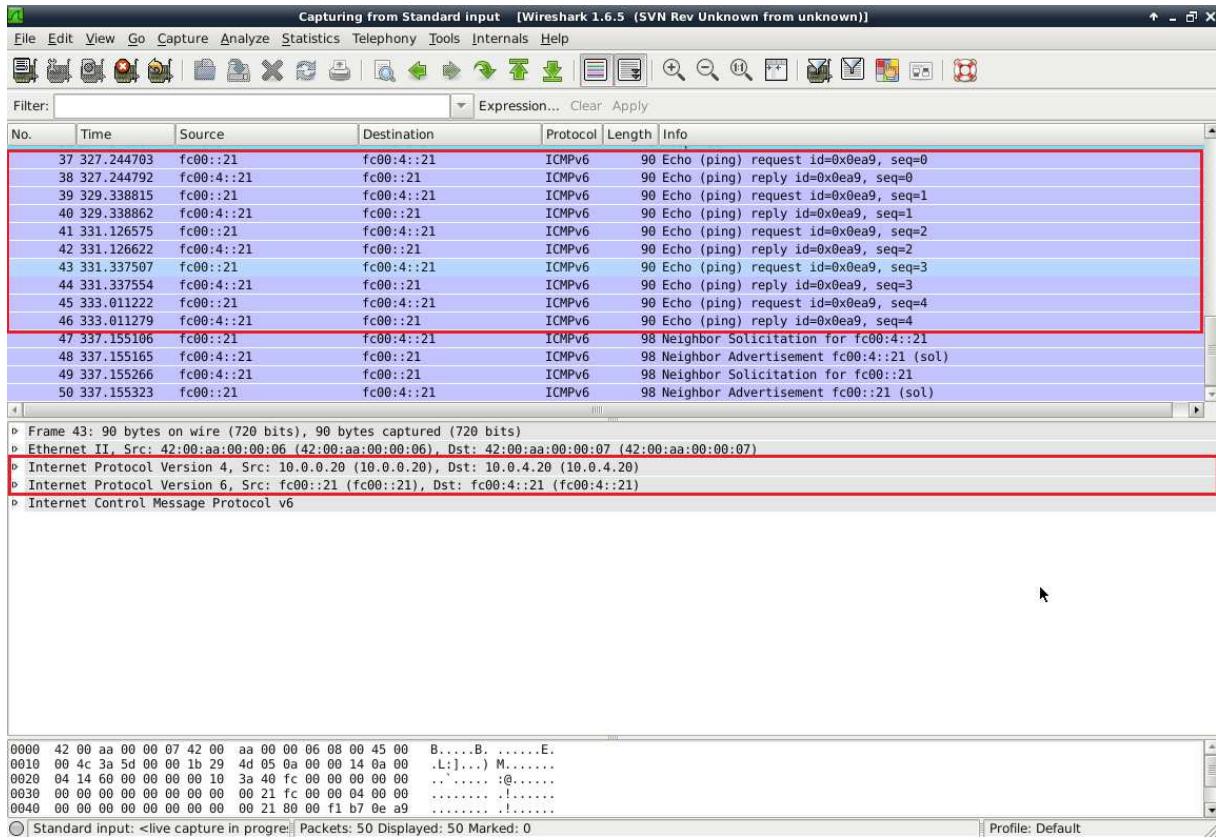
```
[root@comp1 /]# ping6 -c 5 fc00:4::21
PING6(56=40+8+8 bytes) fc00::21 --> fc00:4::21
16 bytes from fc00:4::21, icmp_seq=0 hlim=64 time=0.677 ms
16 bytes from fc00:4::21, icmp_seq=1 hlim=64 time=0.165 ms
16 bytes from fc00:4::21, icmp_seq=2 hlim=64 time=0.182 ms
16 bytes from fc00:4::21, icmp_seq=3 hlim=64 time=0.144 ms
16 bytes from fc00:4::21, icmp_seq=4 hlim=64 time=0.177 ms

--- fc00:4::21 ping6 statistics ---
5 packets transmitted, 5 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 0.144/0.269/0.677/0.204 ms
```

Slika 5. Pinganje računala comp6

Kao što se vidi, paketi su uspješno primljeni i nema gubitaka, što znači da je komunikacija bila uspješna te da stvoren tunel funkcioniра.

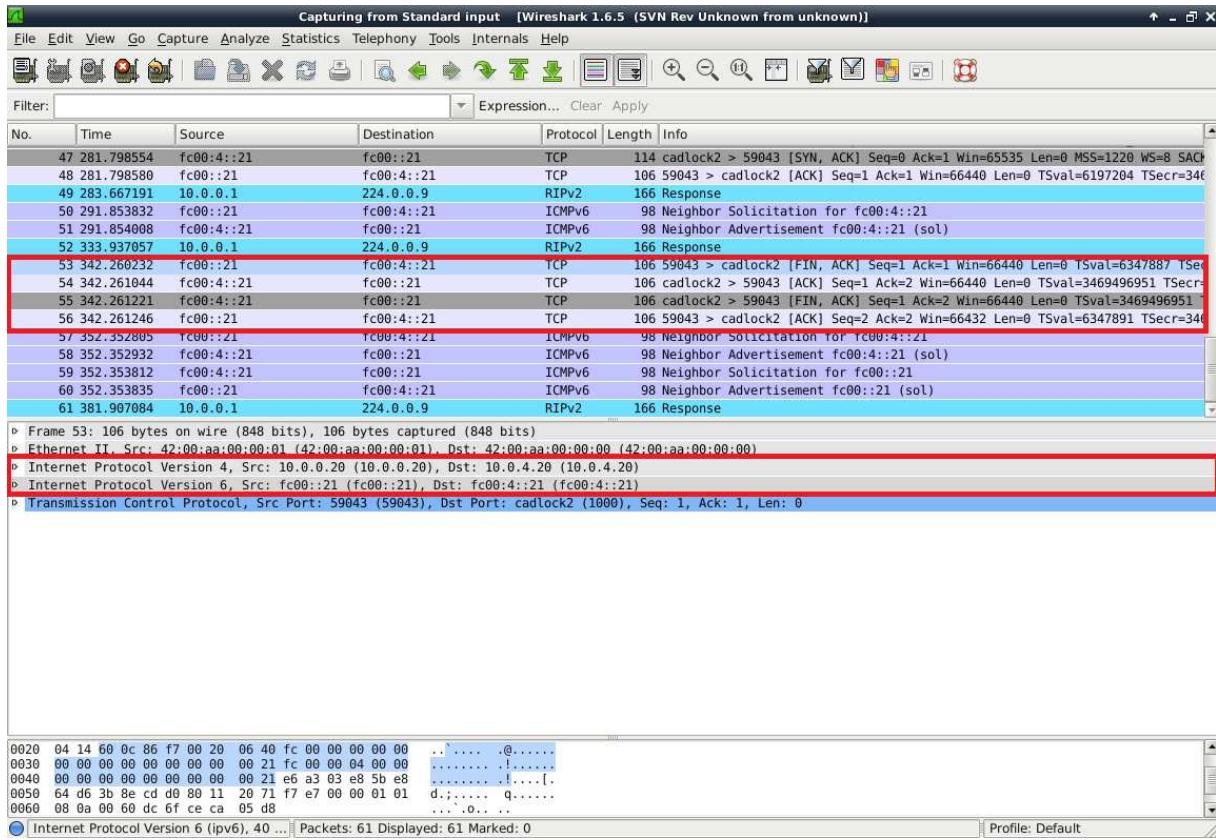
*Wireshark* se koristi za osluškivanje mreže i snimanje svih paketa koji prođu kroz njega. O ovom slučaju je pokrenut na usmjerivaču *router4*, no kako je promet kroz sve usmjerivače isti očekivan je isti rezultat i na ostalim usmjerivačima. Na slici 6 je vidljivo da na IPv6-pakete ljevi IPv4-zaglavlje što omogućuje IPv6-paketu da prođe kroz IPv4-mrežu.



Slika 6. Wireshark na usmjerivaču router4 tijekom pinganja

Crvenom bojom su gore označeni paketi slani *pingom*, dok je dolje označena enkapsulacija.

Za kraj, potrebno je analizirati promet prilikom izvršavanja naredbe *netcat*. Na računalu *comp6* izvršena je naredba „nc -l -6 5050“. Sa zastavicom -l smo naredili računalu *comp6* da osluškuje na portu 5050, a s -6 smo napomenuli da se barata s protokolom IPv6. Nakon toga se na drugom računalu napiše naredba „nc fc00:4::21 5050“ s čime smo mu naredili da šalje pakete na adresu fc00:4::21 na port 5050. Na računalu *comp1* je pokrenut Wireshark, a rezultat je vidljiv na slici 7.



Slika 7. Wireshark na računalu comp1 tijekom netcata

Gore su crvenom bojom označeni slanje i odgovor, dok je dolje označena enkapsulacija.

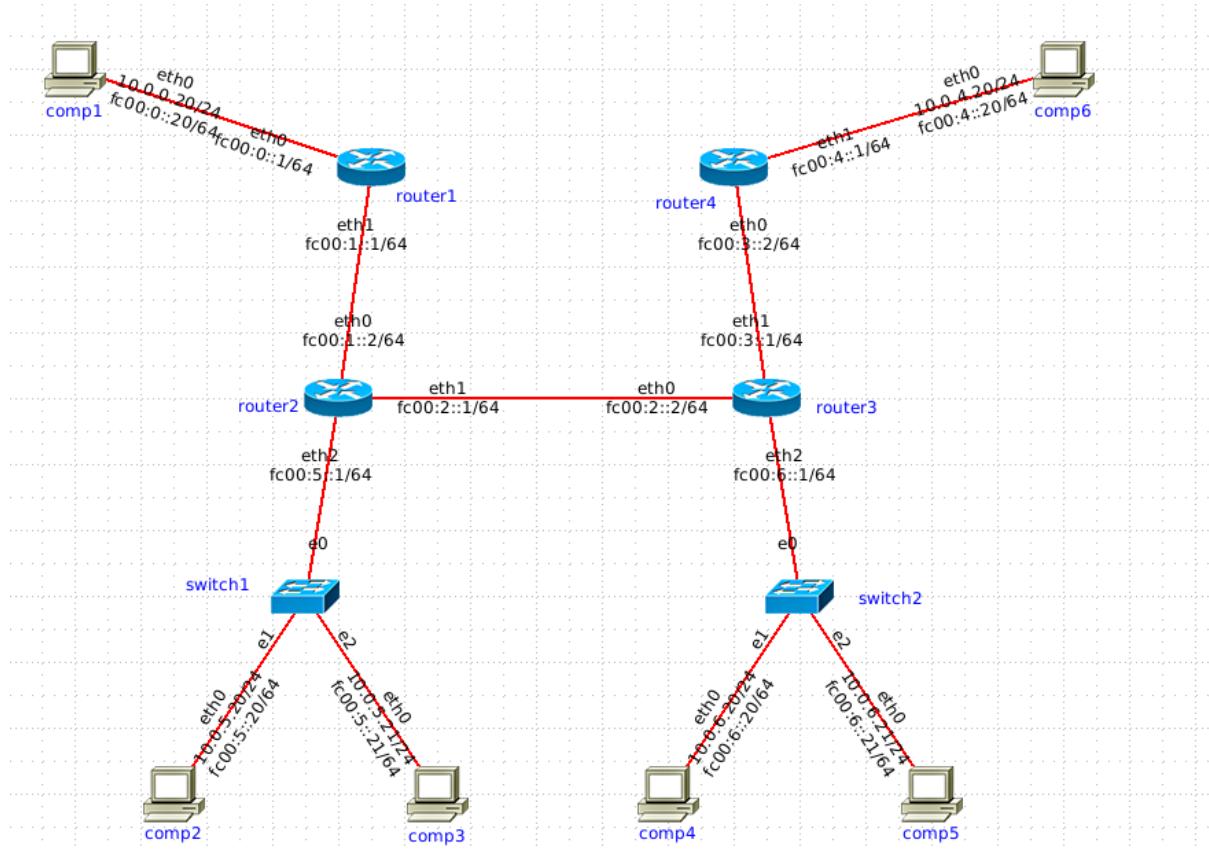
Analogno tome, na računalu comp6 je vidljiva dekapsulacija.

Ovim postupcima je vidljivo uspješno stvaranje tunela i njegovo testiranje.

## 2. Scenarij – Host-to-Host tuneliranje (IPv4-paketi preko IPv6-mreže)

U prvom scenariju dva računala s dvostrukim IP-složajem se nalaze u IPv6-podmrežama i trebaju komunicirati kroz IPv6 mrežu. Potrebno je uspostaviti tunel za prijenos IPv4-paketa između ta dva krajnja računala kroz IPv6 mrežu i razmijeniti podatke.

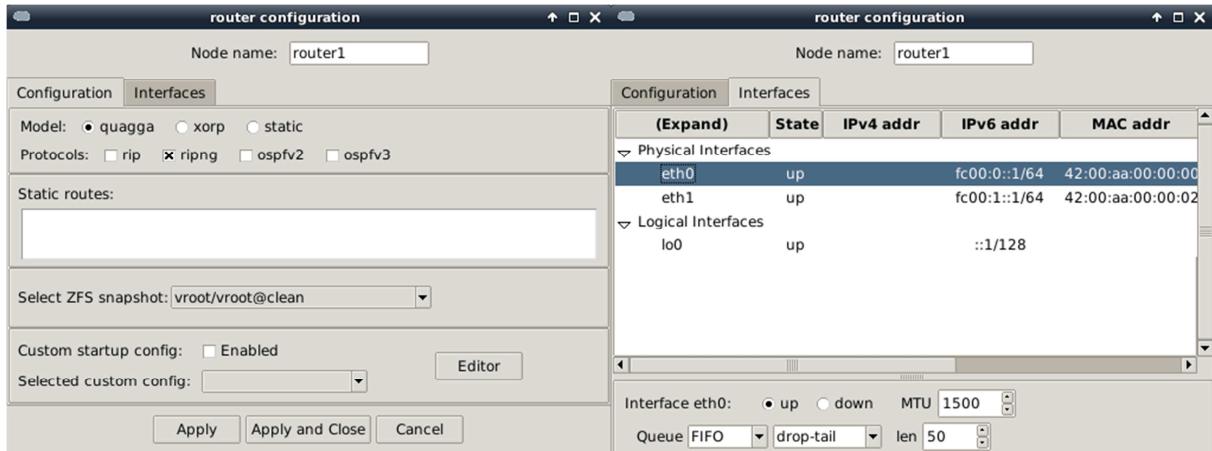
Prvo treba nacrtati mrežu koristeći IMUNES i sa svih routera koji se nalaze u IPv6 mreži obrisati karakteristike IPv4 mreže. Slika 8 prikazuje već gotovu mrežu.



Slika 8. Mreža u drugom slučaju

Na mreži je vidljivo da krajnja računala **comp1** i **comp6** imaju i IPv4 i IPv6 adrese, dok usmjeritelji između njih (**router1**, **router2**, **router3** i **router4**) imaju samo IPv6 adrese.

To se postiže tako da se otvore postavke svakog od routera i tamo uredi sve što nam treba za IPv6 mrežu. U izborniku *configuration* potrebno je isključiti podršku za *rip*, a u izborniku *Interfaces* treba obrisati sve IPv4 adrese, kao što je to vidljivo na slici 9.



Slika 9. Konfiguracija usmjerivača router1

Nakon što se analogno urede svi routeri, treba pokrenuti simulaciju. To se čini tako da se u Imunosovom izborniku *Experiment* odabere *Execute*.

Sad je potrebno stvoriti tunel. To činimo pokretanjem niza naredbi u *bash* lјusci koja se otvori tako da se desno-klikne na *comp1*, i pod padajućim izbornikom *Shell window* odabere *bash*. U lјusku se naredbe kako je prikazano na slici 10.

```
IMUNES: comp1 (console)
[root@comp1 ~]# sysctl net.link.gif.max_nesting=2
net.link.gif.max_nesting: 1 -> 2
[root@comp1 ~]# ifconfig gif create
gif0
[root@comp1 ~]# ifconfig gif0 inet6 tunnel fc00:0::20 fc00:4::20
[root@comp1 ~]# ifconfig gif0 inet 10.0.0.21 10.0.4.21 netmask 255.255.255.255
[root@comp1 ~]# ifconfig gif0 up

IMUNES: comp6 (console)
[root@comp6 ~]# sysctl net.link.gif.max_nesting=2
net.link.gif.max_nesting: 1 -> 2
[root@comp6 ~]# ifconfig gif create
gif1
[root@comp6 ~]# ifconfig gif1 inet6 tunnel fc00:4::20 fc00:0::20
[root@comp6 ~]# ifconfig gif1 inet 10.0.4.21 10.0.0.21 netmask 255.255.255.255
[root@comp6 ~]# ifconfig gif1 up
```

Slika 10. Naredbe za upis

U lјusci prvog računala *comp1* prvo se upisuje „*sysctl net.link.gif.max\_nesting=2*“ što nam omogućuje da imamo samo 2 tunela. Zatim se upisuje „*ifconfig gif create*“ s čime stvaramo sučelje *gif*, u ovom slučaju *gif0*. Nakon toga pokrećemo „*ifconfig gif0 inet6 tunnel fc00:0::20 fc00:4::20*“ kojim govorimo koja dva računala spajamo, „*ifconfig gif0 inet 10.0.0.21 10.0.4.21 netmask 255.255.255.255*“ kojim određujemo IPv4-adrese tunela i „*ifconfig gif0 up*“ s čime dižemo sučelje. Isti postupak radimo i na drugom računalu *comp6*, samo što tamo adrese upisujemo obrnuto i imamo *gif1* umjesto *gif0*.

Da bi provjerili da li je sve dobro prošlo, moramo provjeriti da li je sučelje stvoreno. Na slici 11 je prikazan rezultat naredbe „*ifconfig*“ nakon stvaranja sučelja *gif0* na računalu *comp1*.

```

[root@comp1 /]# ifconfig
lo0: flags=8049<UP,LOOPBACK,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 16384
    options=3<RXCSUM,TXCSUM>
    inet6 ::1 prefixlen 128
        inet6 fe80::1%lo0 prefixlen 64 scopeid 0x1
        inet 127.0.0.1 netmask 0xffffffff
        nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
eth0: flags=8843<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=28<VLAN_MTU,JUMBO_MTU>
    ether 42:00:aa:00:00:01
    inet6 fe80::4000:aaff:fe00:1%eth0 prefixlen 64 scopeid 0x2
        inet 10.0.0.20 netmask 0xffffffff broadcast 10.0.0.255
        inet6 fc00::20 prefixlen 64
        nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
        media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
        status: active
gif0: flags=8051<UP,POINTOPOINT,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 1280
    tunnel inet6 fc00::20 --> fc00::4::20
    inet 10.0.0.21 --> 10.0.4.21 netmask 0xffffffff
    inet6 fe80::ec9d:f273:1748:9565%gif0 prefixlen 64 scopeid 0x3
    nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
    options=1<ACCEPT_REV_ETHIP_VER>

```

Slika 11. ifconfig na računalu comp1

Nakon što smo se ovjerili da je sve dobro, krećemo s testiranjem. Prvi test nam je *ping*.

Pingati ćemo računalo *comp6* s računala *comp1*. To činimo tako da u lјusci na računalu *comp1* pokrenemo naredbu „*ping -c 5 10.0.4.21*“ kao što je to vidljivo na slici 12. S *pingom* adresiramo kraj tunela na računalu *comp6*. Korištena je i zastavica *-c* s vrijednošću 5 što znači da će *ping* poslati samo 5 paketa i nakon toga sam prestati s radom, te ispisati statistike *pinganja*.

```

[root@comp1 /]# ping -c 5 10.0.4.21
PING 10.0.4.21 (10.0.4.21): 56 data bytes
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=0 ttl=64 time=0.209 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=1 ttl=64 time=0.147 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=2 ttl=64 time=0.136 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=3 ttl=64 time=0.139 ms
64 bytes from 10.0.4.21: icmp_seq=4 ttl=64 time=0.149 ms

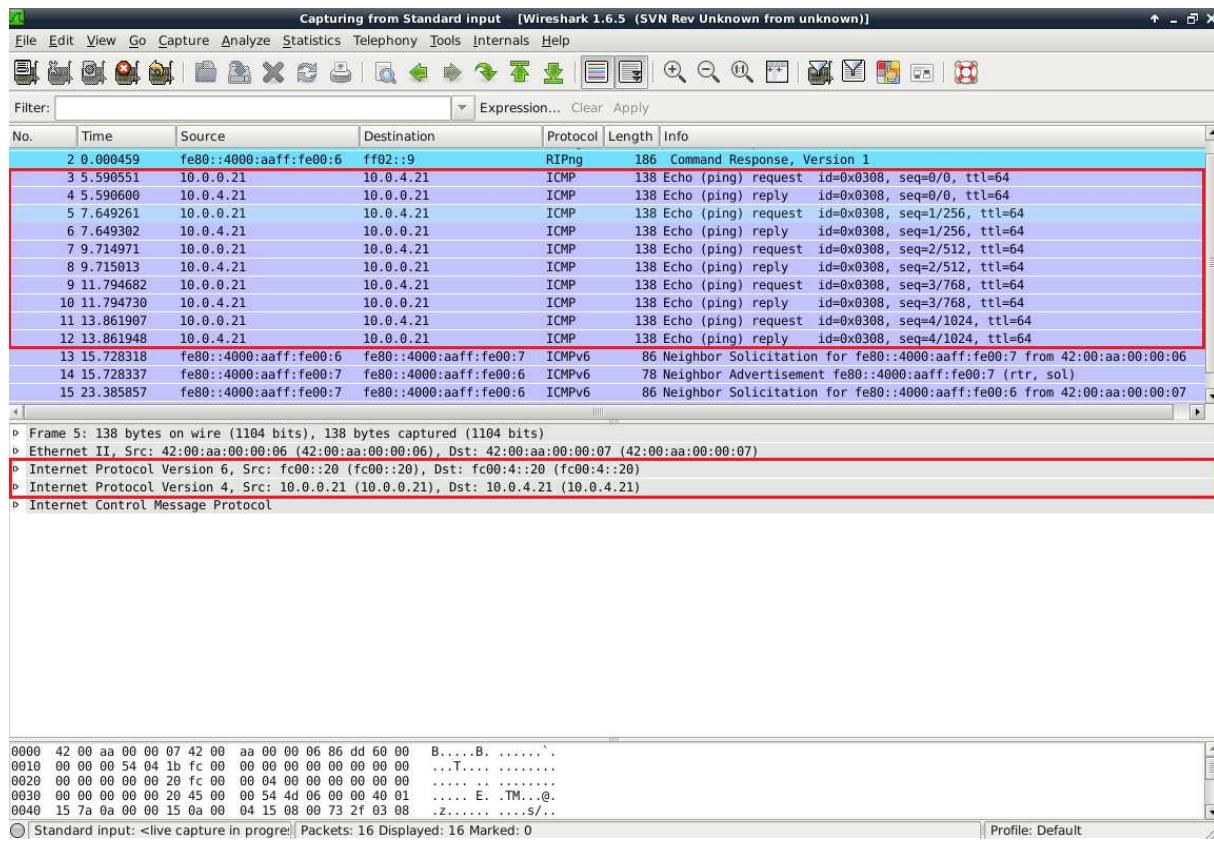
--- 10.0.4.21 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 0.136/0.156/0.209/0.027 ms

```

Slika 12. Pinganje računala comp6

Kao što se vidi, paketi su uspješno primljeni i nema gubitaka, što znači da je komunikacija bila uspješna te da stvoren tunel funkcioniра.

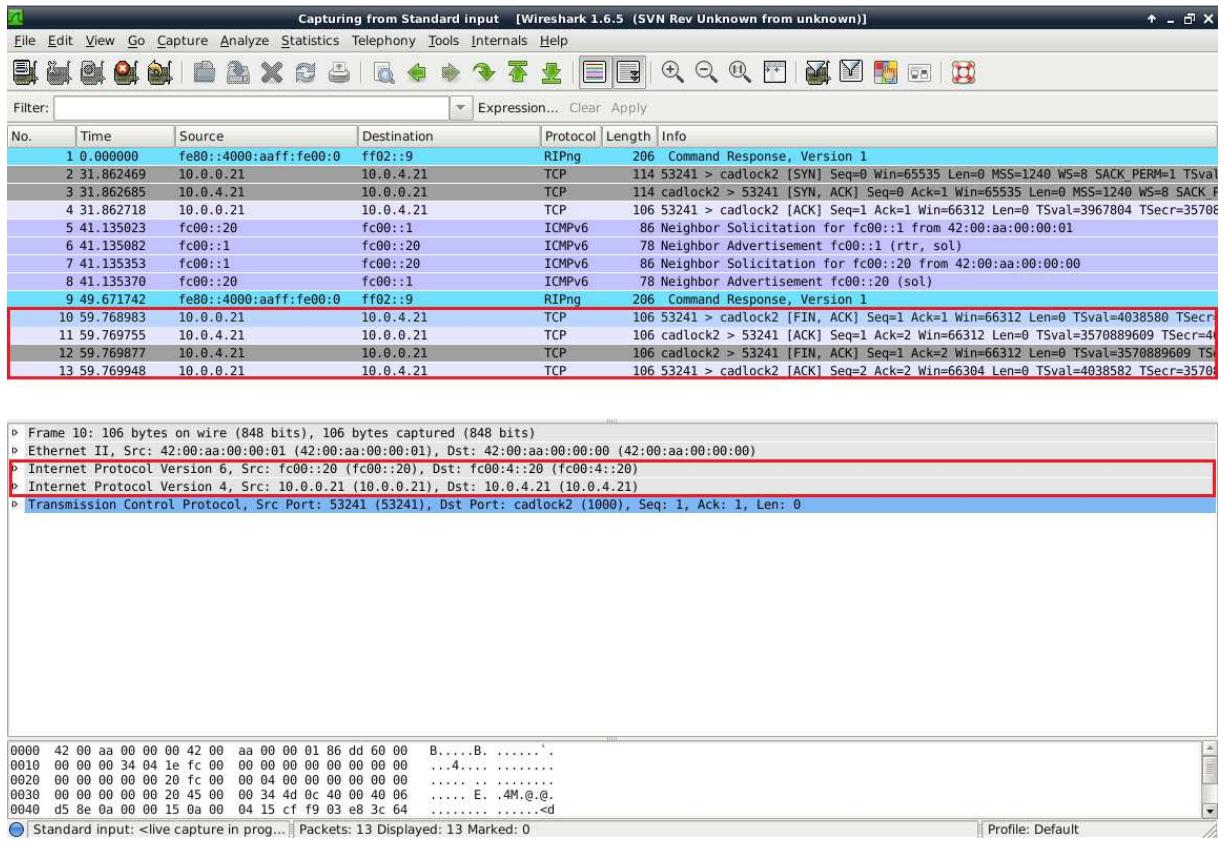
*Wireshark* se koristi za osluškivanje mreže i snimanje svih paketa koji prođu kroz njega. O ovom slučaju je pokrenut na usmjerivaču *router4*, no kako je promet kroz sve usmjerivače isti očekivan je isti rezultat i na ostalim usmjerivačima. Na slici 13 je vidljivo da na IPv4-pakete lјepi IPv6-zaglavlje što omogućuje IPv4-paketu da prođe kroz IPv6-mrežu.



Slika 13. Wireshark na usmjerivaču router4 tijekom pinganja

Crvenom bojom su gore označeni paketi slani *pingom*, dok je dolje označena enkapsulacija.

Za kraj, potrebno je analizirati promet prilikom izvršavanja naredbe *netcat*. Na računalu *comp6* izvršena je naredba „nc -l 5050“. Sa zastavicom -l smo naredili računalu *comp6* da osluškuje na portu 5050. Nakon toga se na drugom računalu napiše naredba „nc 10.0.4.21 5050“ s čime smo mu naredili da šalje pakete na adresu 10.0.4.21 na port 5050. Na računalu *comp1* je pokrenut Wireshark, a rezultat je vidljiv na slici 14.



Slika 14. Wireshark na računalu comp1 tijekom netcata

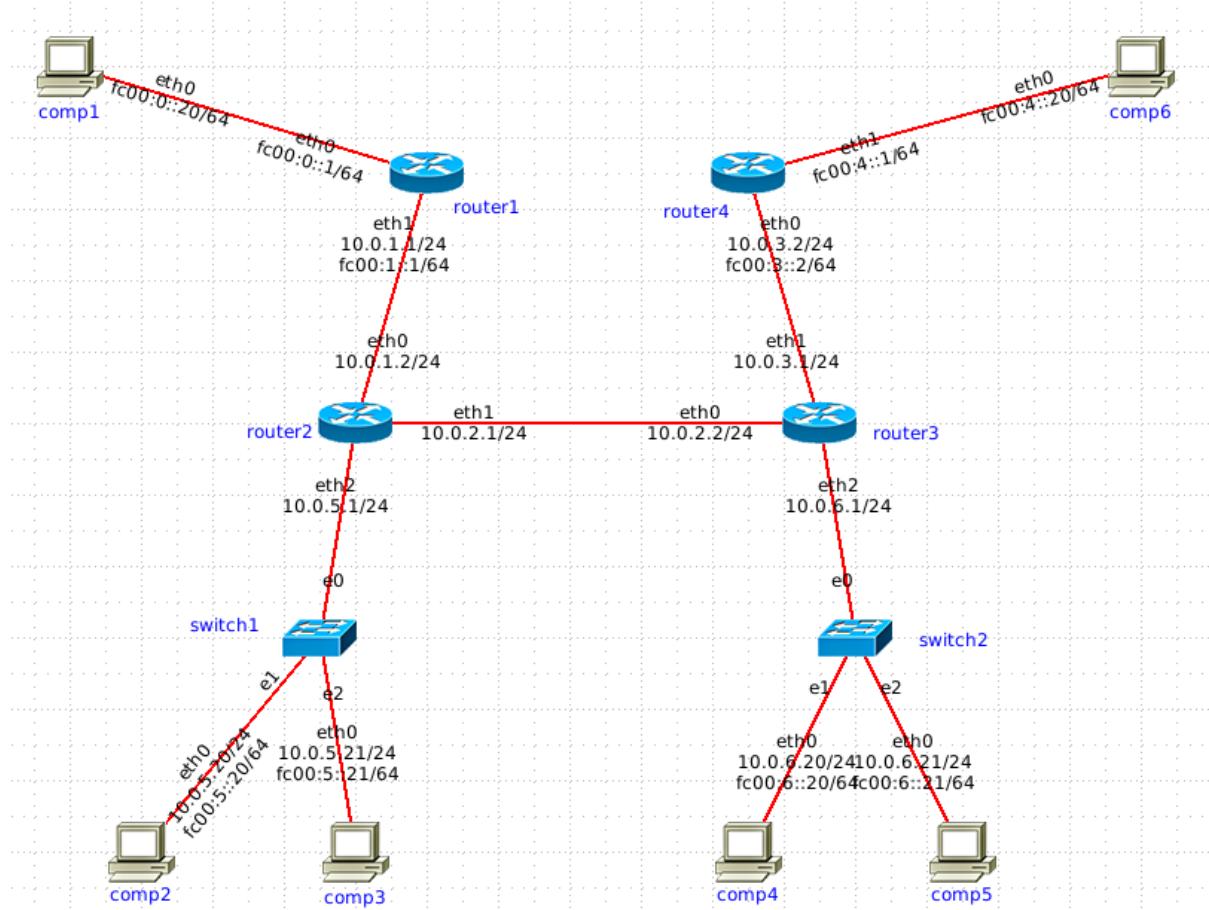
Gore su crvenom bojom označeni slanje i odgovor, dok je dolje označena enkapsulacija.  
Analogno tome, na računalu *comp6* je vidljiva dekapsulacija.

Ovim postupcima je vidljivo uspješno stvaranje tunela i njegovo testiranje.

### 3. scenarij – Router-to-Router tuneliranje (IPv6-paketi preko IPv4-mreže)

U ovom scenariju imamo IPv6-podmreže u kojima se nalaze računala *comp1* i *comp6*. Između njih je IPv4-mreža, a na granicama su usmjerivači *router1* i *router4*. Zadatak je povezati računala *comp1* i *comp6* tako da se napravi tunel kroz IPv4-mrežu koji se rasprostire od usmjerivača *router1* do usmjerivača *router4*.

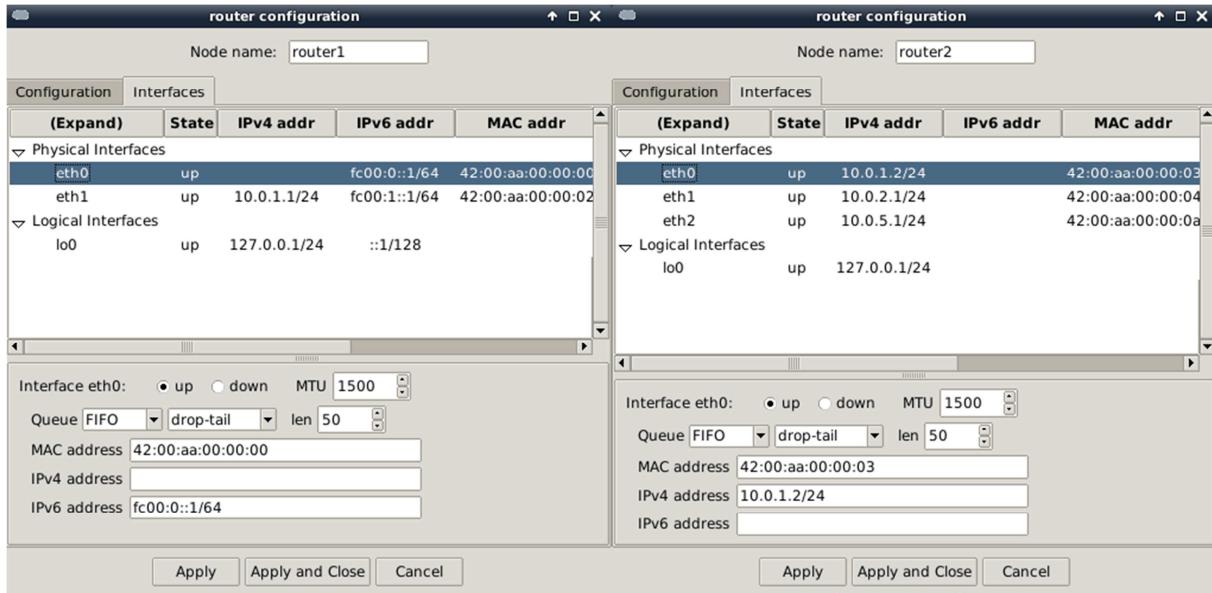
Kako to sve izgleda može se vidjeti na slici 15.



Slika 15. Mreža u trećem slučaju

Na slici se vidi da je od računala *comp1* do usmjerivača *router1* IPv6-podmreža jer i *comp1* i *eth0* posjeduju IPv6-adrese. Ista stvar je i kod računala *comp6* i sučelja *eth1* usmjerivača *router4*. Sučelja *eth1* usmjerivača *router1* i *eth0* usmjerivača *router4* posjeduju dvostruki IP složaj. Usmjerivači *router2* i *router3* posjeduju samo IPv4-adrese.

Kod usmjeritelja *router1* i *router4* potrebno je ostaviti samo IPv6-adrese na sučeljima koji gledaju prema računalima *comp1* i *comp6*. Na ostalim sučeljima treba biti dvostruki IP složaj. Na svim usmjeriteljima treba isključiti *ripng*, a na usmjerivačima *router2* i *router3* treba obrisati sve IPv6-adrese. Primjeri za obje vrste poslužitelja su na slici 16.



Slika 16. Sučelja za router1 i router2

Nakon što se sve konfigurira, treba pokrenuti simulaciju izborom *Execute* u izborniku *Experiment*.

Nakon što se pokrene simulacija, u usmjerivače *router1* i *router4* potrebno je upisati naredbe koje se vide na slici 17. Tako se stvara tunel između ta dva usmjerivača.

```
IMUNES: router1 (console)          IMUNES: router4 (console)
router1# sysctl net.link.gif.max_nesting=2
net.link.gif.max_nesting: 1 -> 2
router1# ifconfig gif create
gif0
router1# ifconfig gif0 tunnel 10.0.1.1 10.0.3.2
router1# ifconfig gif0 inet6 fc00:1::5 fc00:3::5 prefixlen 128
router1# route -n add -inet6 default fc00:3::5
add net default: gateway fc00:1::5
router1# ifconfig gif0 up

router4# sysctl net.link.gif.max_nesting=2
net.link.gif.max_nesting: 2 -> 2
router4# ifconfig gif create
gif1
router4# ifconfig gif1 tunnel 10.0.3.2 10.0.1.1
router4# ifconfig gif1 inet6 fc00:3::5 fc00:1::5 prefixlen 128
router4# route -n add -inet6 default fc00:1::5
add net default: gateway fc00:1::5
router4# ifconfig gif1 up
```

Slika 17. Naredbe za slaganje tunela

U lјusci prvog usmjerivača *router1* prvo se upisuje „*sysctl net.link.gif.max\_nesting=2*“ što nam omogućuje da imamo samo 2 tunela. Zatim se upisuje „*ifconfig gif create*“ s čime stvaramo sučelje *gif*, u ovom slučaju *gif0*. Nakon toga pokrećemo „*ifconfig gif0 tunnel 10.0.1.1 10.0.3.2*“ kojim govorimo koja dva routera spajamo, „*ifconfig gif0 inet6 fc00:1::5 fc00:3::5 prefixlen 128*“ kojim određujemo IPv6-adrese tunela, naredbu „*route -n add -inet6 default fc00:3::5*“ s kojom dodajemo defaultni put u tablicu i „*ifconfig gif0 up*“ s čime dižemo sučelje. Isti postupak radimo i na drugom računalu *comp6*, samo što tamo adrese upisujemo obrnuto i imamo *gif1* umjesto *gif0*.

Nakon što se sve uspješno unese, tunel je stvoren i spreman za testiranje. S *ifconfigom* provjerimo da li je sve napravljeno kako treba. Rezultat je prikazan na slici 18.

```

IMUNES: router1 (console)
router1# ifconfig
lo0: flags=8049<UP,LOOPBACK,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 16384
    options=3<RXCSUM,TXCSUM>
    inet6 ::1 prefixlen 128
        inet6 fe80::1%lo0 prefixlen 64 scopeid 0x1
        inet 127.0.0.1 netmask 0xffffffff
        nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
eth0: flags=8843<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=28<VLAN_MTU,JUMBO_MTU>
    ether 42:00:aa:00:00:00
        inet6 fe80::4000:aaff:fe00:0%eth0 prefixlen 64 scopeid 0x2
        inet6 fc00::1 prefixlen 64
        nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
        media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
        status: active
eth1: flags=8843<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=28<VLAN_MTU,JUMBO_MTU>
    ether 42:00:aa:00:00:02
        inet6 fe80::4000:aaff:fe00:2%eth1 prefixlen 64 scopeid 0x3
        inet 10.0.1.1 netmask 0xffffffff broadcast 10.0.1.255
        inet6 fc00:1::1 prefixlen 64
        nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
        media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
        status: active
gif0: flags=8051<UP,POINTOPOINT,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 1280
    tunnel inet 10.0.1.1 --> 10.0.3.2
    inet6 fc00:1::5 --> fc00:3::5 prefixlen 128
    inet6 fe80::f82d:7f6c:2ab2:2a22%gif0 prefixlen 64 scopeid 0x4
    nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
    options=1<ACCEPT_REV_ETHIP_VER>

```

Slika 18. ifconfig na usmjerivaču router1

Prvo *pingamo* računalo *comp6* sa računalom *comp1*. To činimo tako da u Ijusci na računalu *comp1* pokrenemo naredbu „*ping6 -c 5 fc00:4::20*“ kao što je to vidljivo na slici 19. Koristimo *ping6* zato što radimo s IPv6, a adresa je adresa računala *comp6*. Ovo je različito od scenarija 1 jer smo tamo koristili adresu tunela, a ovdje koristimo adresu računala. Korištena je i zastavica *-c* s vrijednošću 5 što znači da će *ping* poslati samo 5 paketa i nakon toga sam prestati s radom, te ispisati statistike *pinganja*. Postupak i rješenje se vidi na slici 19.

```

IMUNES: comp1 (console)
[root@comp1 /]# ping6 -c 5 fc00:4::20
PING6(56=40+8+8 bytes) fc00::20 --> fc00:4::20
16 bytes from fc00:4::20, icmp_seq=0 hlim=62 time=0.693 ms
16 bytes from fc00:4::20, icmp_seq=1 hlim=62 time=0.173 ms
16 bytes from fc00:4::20, icmp_seq=2 hlim=62 time=0.169 ms
16 bytes from fc00:4::20, icmp_seq=3 hlim=62 time=0.168 ms
16 bytes from fc00:4::20, icmp_seq=4 hlim=62 time=0.173 ms

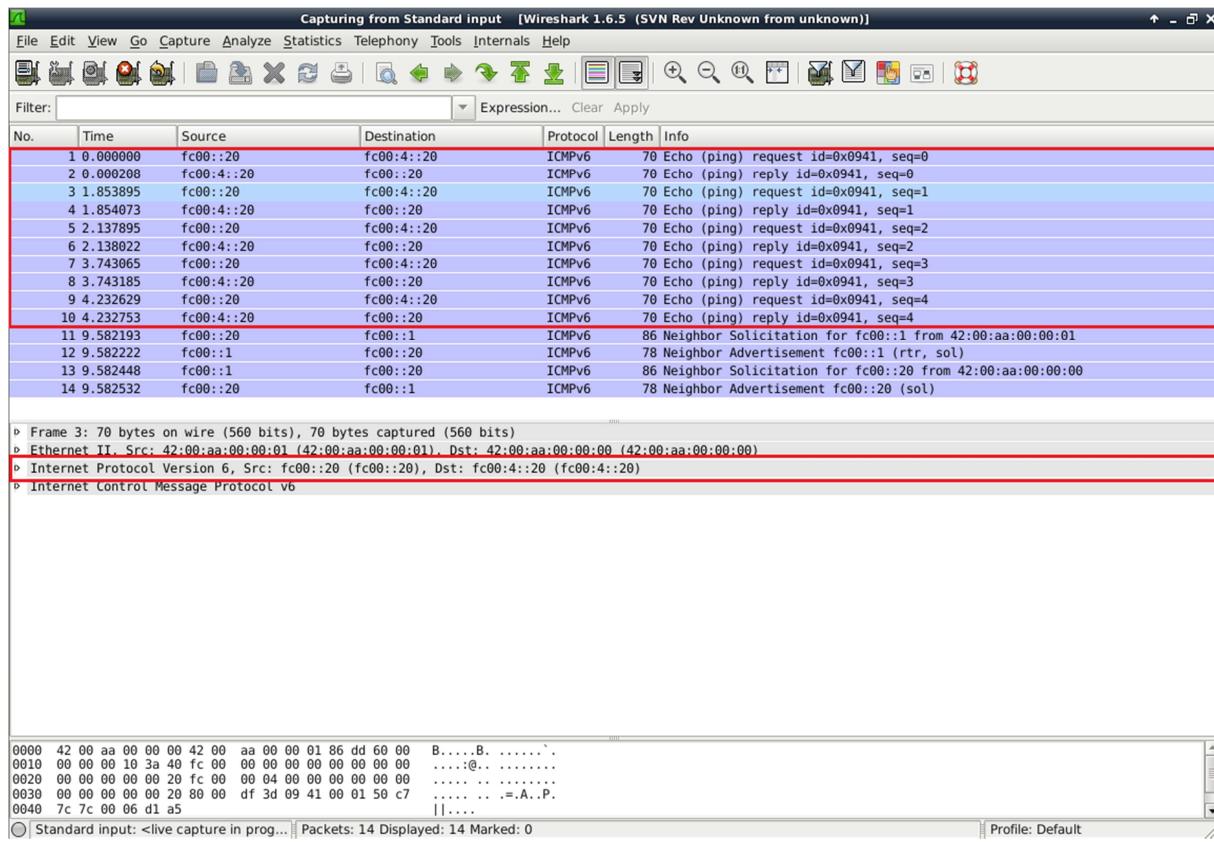
--- fc00:4::20 ping6 statistics ---
5 packets transmitted, 5 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/std-dev = 0.168/0.275/0.693/0.209 ms
[root@comp1 /]#

```

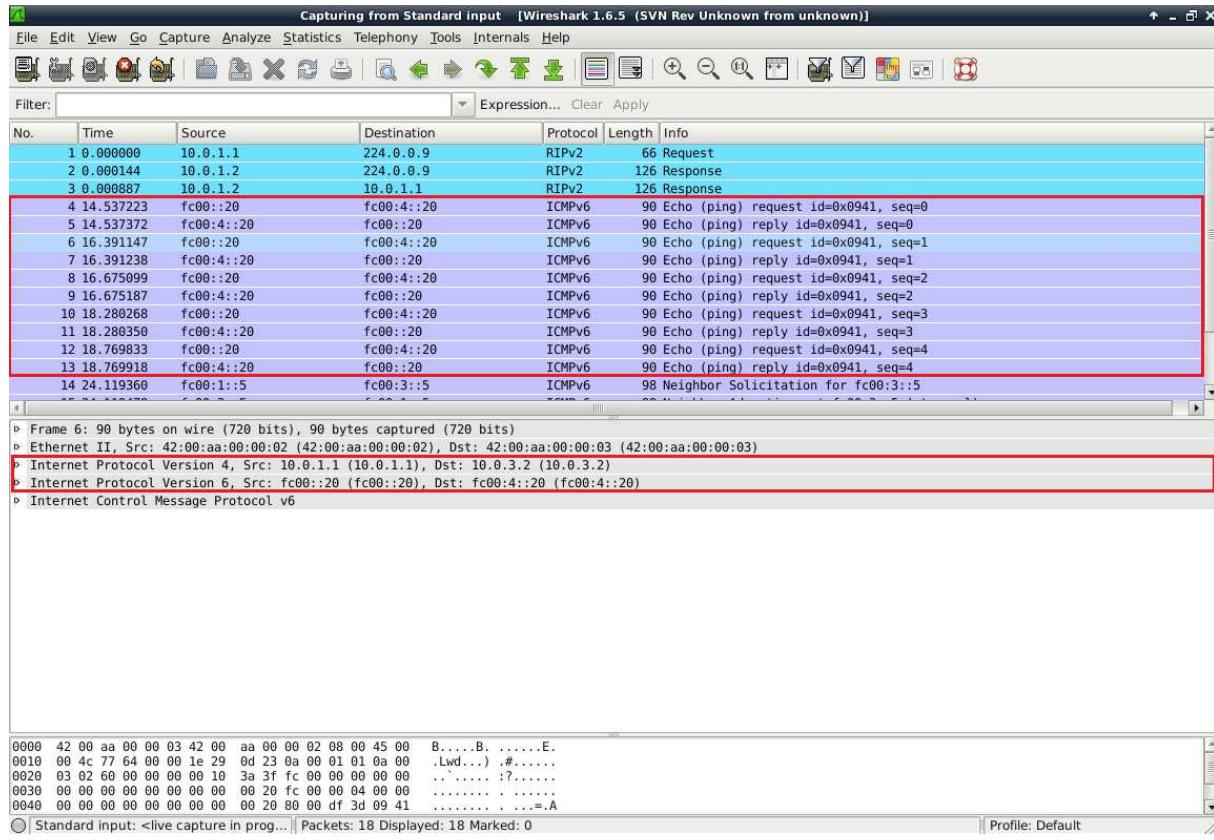
Slika 19. Pinganje računala comp6

Kao što se vidi, paketi su uspješno primljeni i nema gubitaka, što znači da je komunikacija bila uspješna te da stvoren tunel funkcioniра.

U Wiresharku se pratilo *pinganje* na oba sučelja usmjerivača *routera1* i *routera4*.

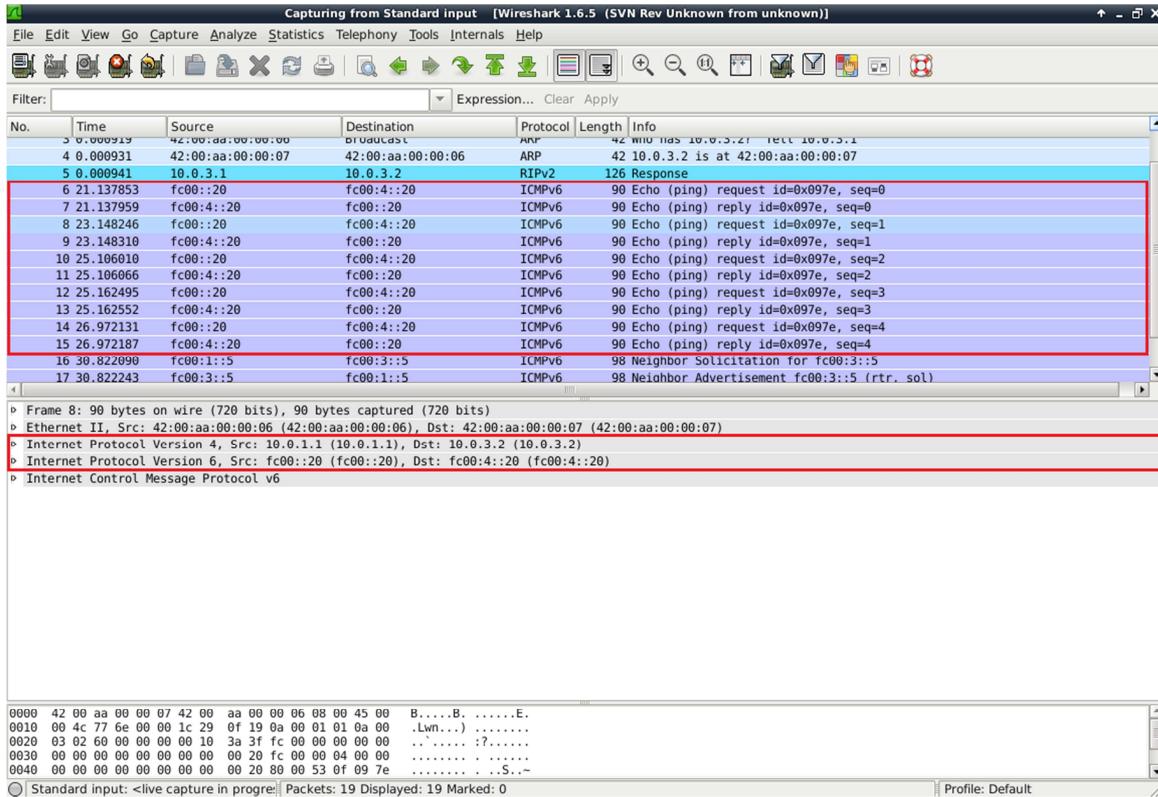


Slika 20. Pinganje na sučelju eth0 usmjerivača router1

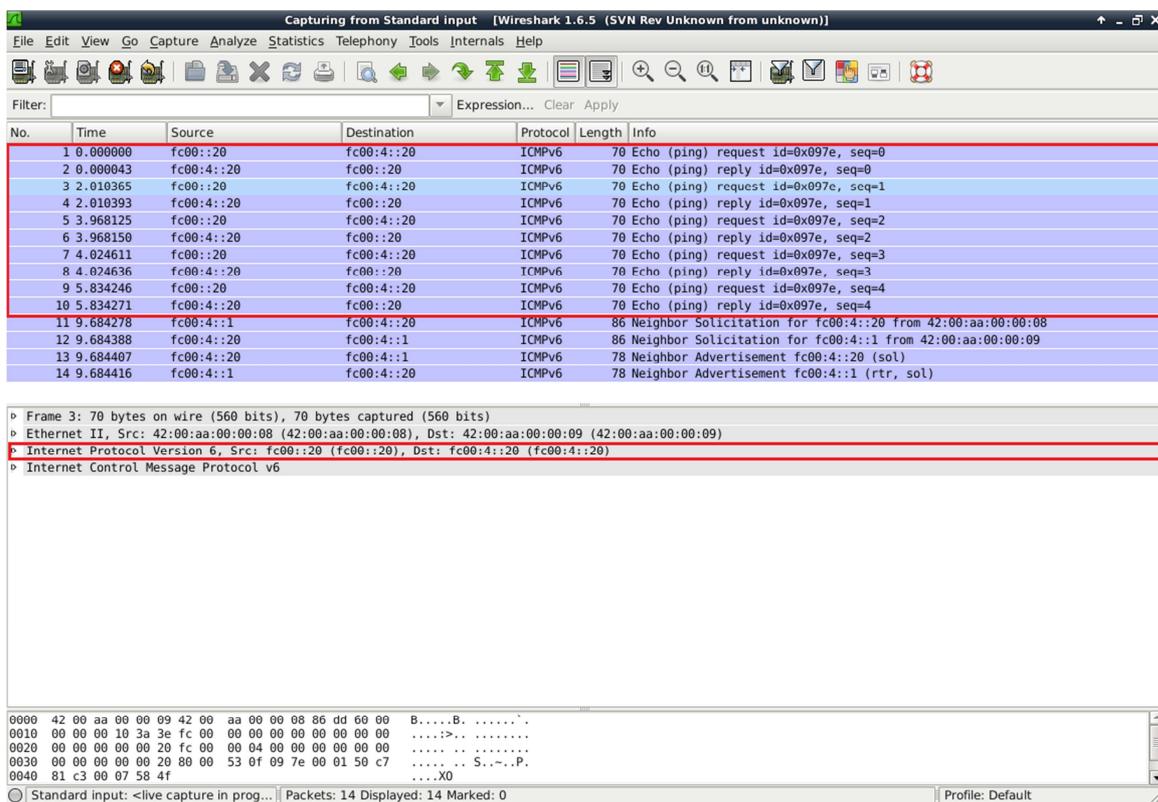


Slika 21. Pinganje na sučelju eth1 usmjerivača router1

Na slici 20 vidi se dolazak IPv6-paketa na sučelje *eth0* usmjerivača *router1*, dok se na slici 21 vidi odlazak paketa sa IPv4 i IPv6 zaglavljima sa sučelja *eth1* usmjerivača *router1*. Iz priloženog se vidi da se na usmjerivaču *router1* obavila enkapsulacija.



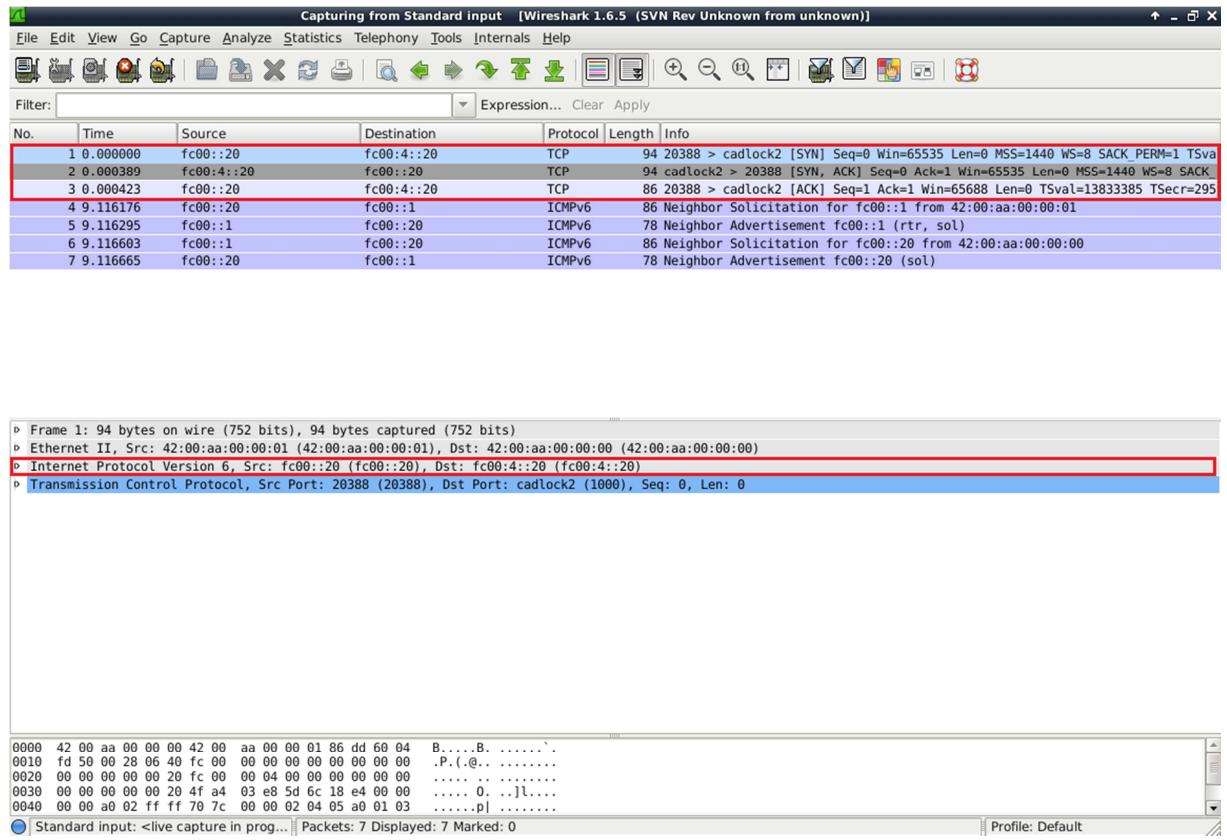
Slika 22. Pinganje na sučelju eth0 usmjerivača router4



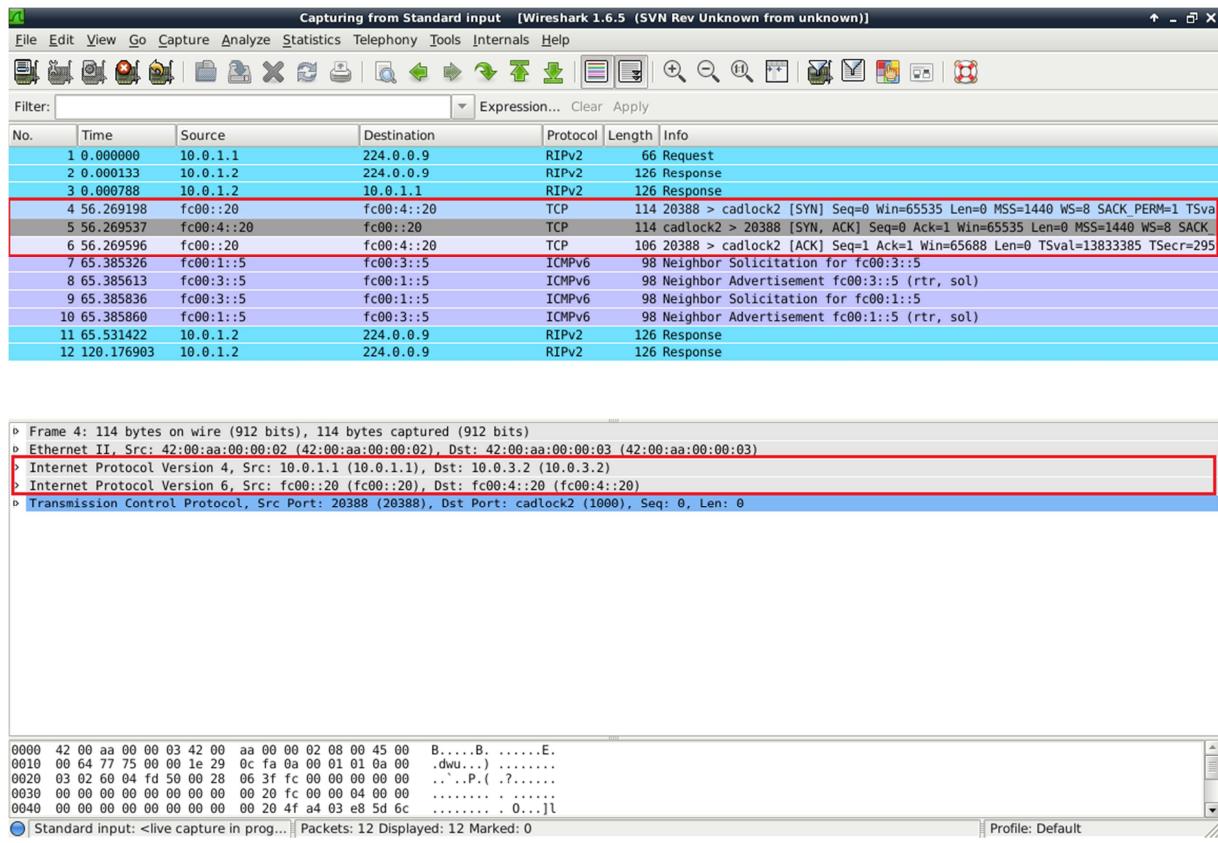
Slika 23. Pinganje na sučelju eth1 usmjerivača router4

Na slici 22 vidi se dolazak paketa sa IPv4 i IPv6 zaglavljima na sučelje *eth0* usmjerivača *router4*, dok se na slici 23 vidi odlazak IPv6-paketa sa sučelja *eth1* usmjerivača *router4*. Iz priloženog se vidi da se na usmjerivaču *router4* obavila dekapsulacija.

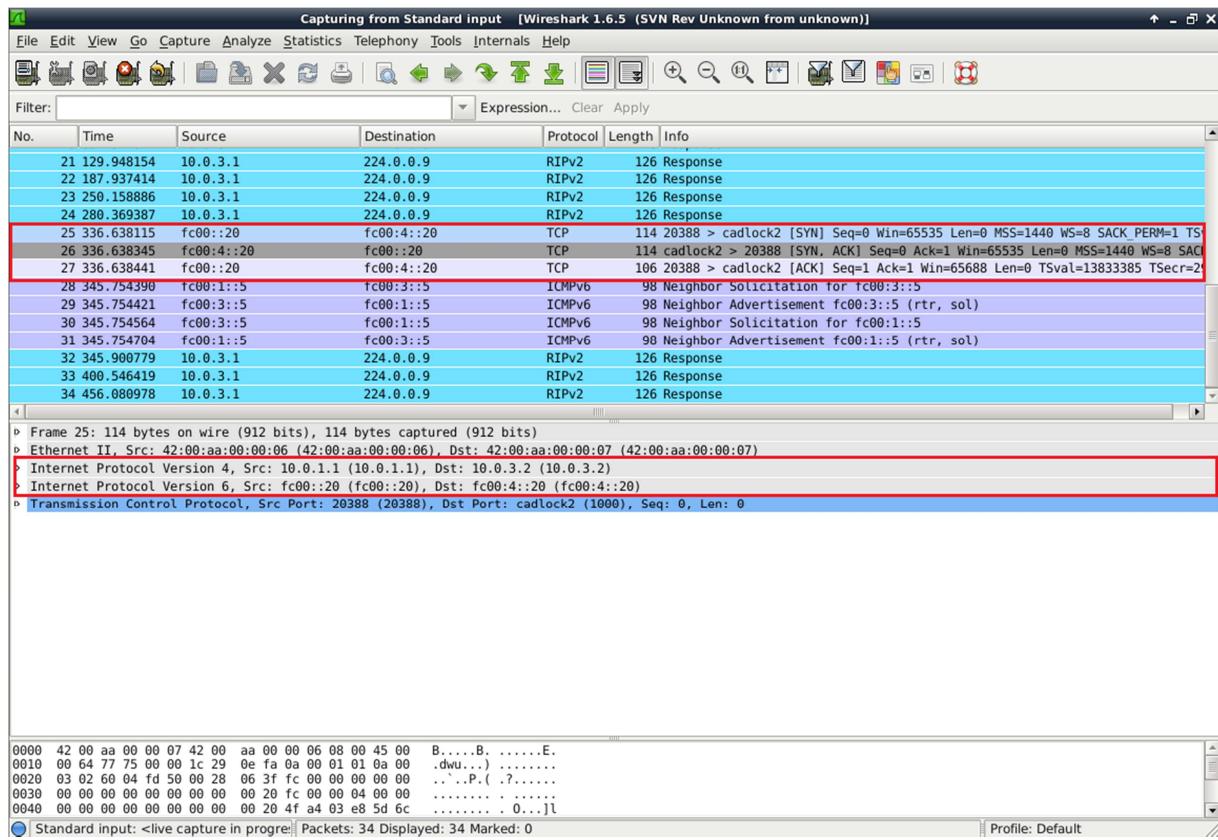
Potrebno je još analizirati promet prilikom izvršavanja naredbe *netcat*. Na računalu *comp6* izvršena je naredba „nc -l -6 5050“. Sa zastavicom -l smo naredili računalu *comp6* da osluškuje na portu 5050, a zastavica -6 označava da se radi sa IPv6-paketima. Nakon toga se na drugom računalu napiše naredba „nc fc00:4::20 5050“ s čime smo mu naredili da šalje pakete na adresu fc00:4::20 na port 5050, što je adresa računala *comp6* i port koji *comp6* osluškuje. Na oba sučelja usmjerivača *router1* i *router4* je pokrenut Wireshark, a rezultat je vidljiv na slikama 24, 25, 26 i 27.



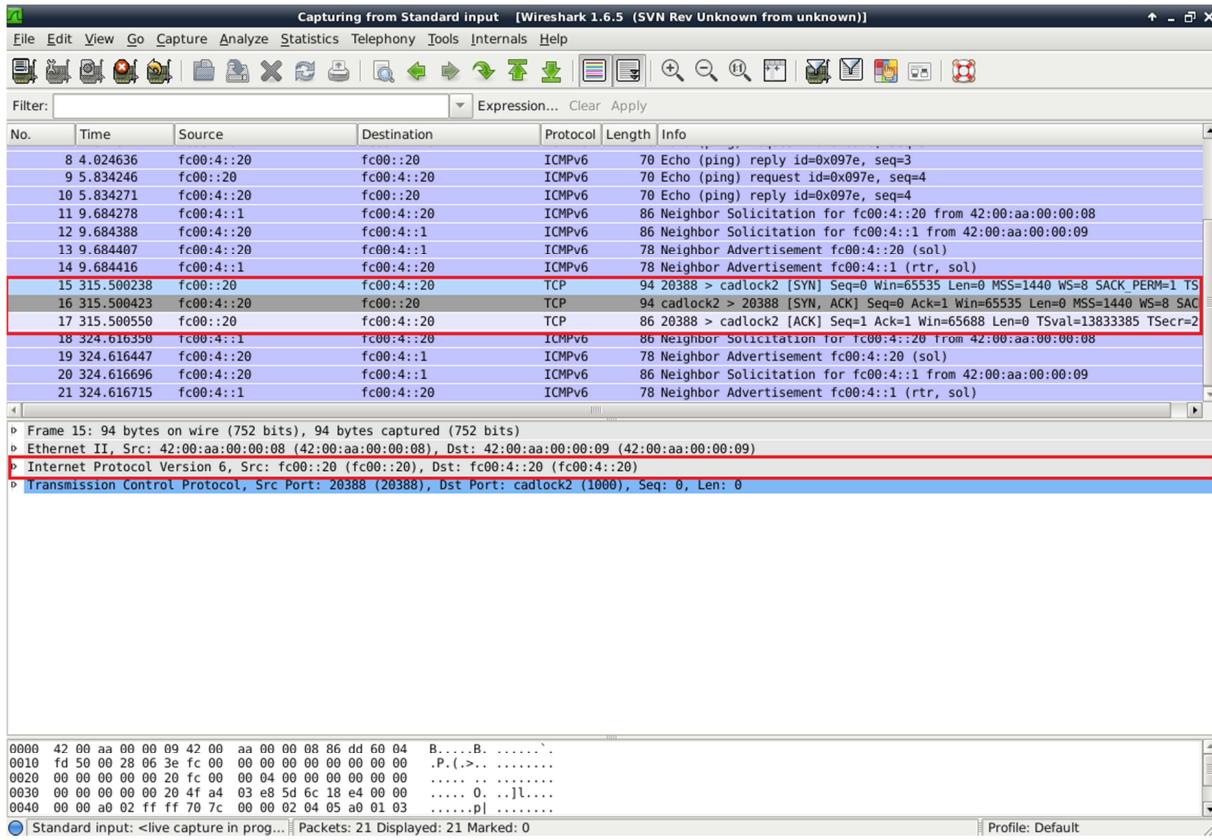
Slika 24. Wireshark na sučelju eth0 usmjerivača router1



Slika 25. Wireshark na sučelju eth1 usmjerivača router1



Slika 26. Wireshark na sučelju eth0 usmjerivača router4



Slika 27. Wireshark na sučelju eth1 usmjerivača router4

Na slici 24 vidi se da su na sučelje *eth0* usmjerivača *router1* došli IPv6-paketi, dok se na slici 25 vidi da su sa sučelja *eth1* usmjerivača *router1* otišli paketi sa IPv4 i IPv6 zaglavljima što znači da se dogodila enkapsulacija.

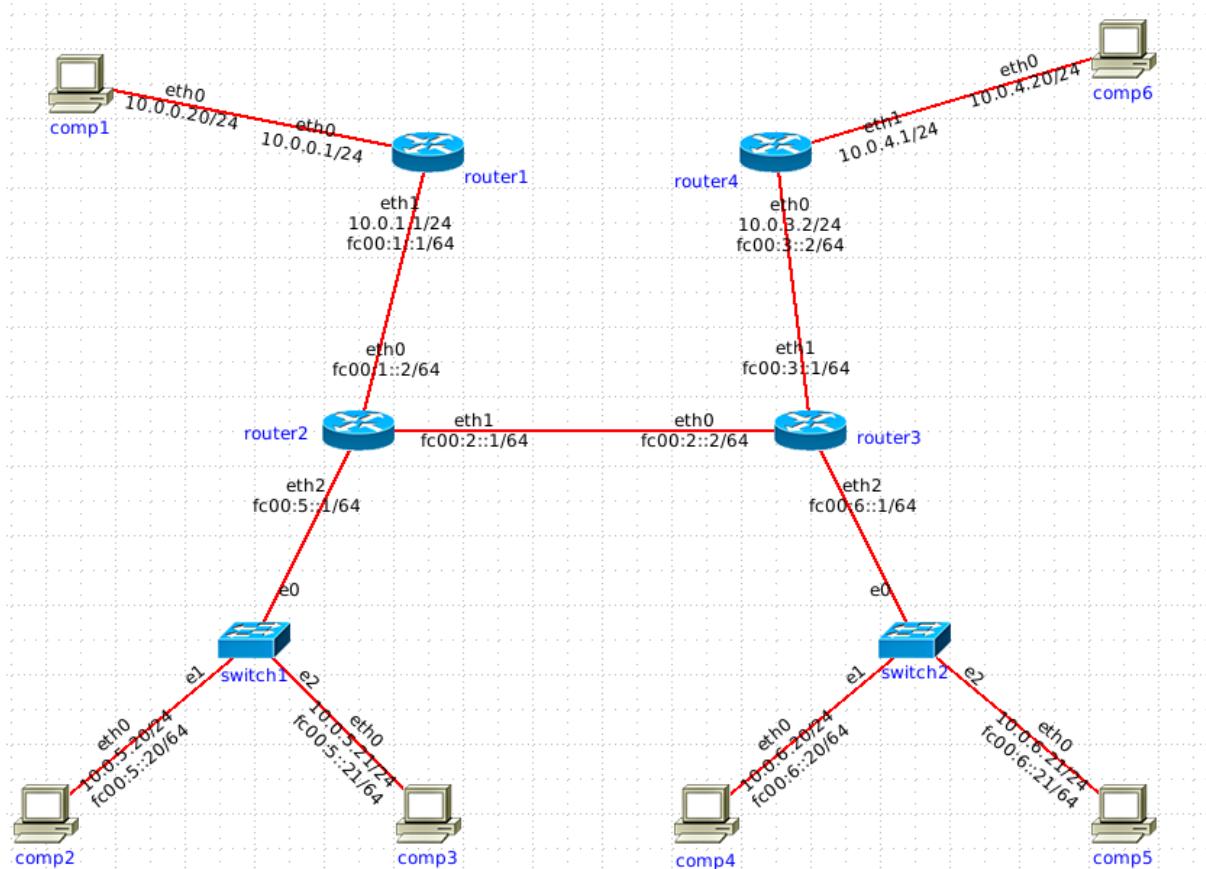
Na slici 26 se vidi da su na sučelje *eth0* usmjerivača *router4* došli paketi sa IPv4 i IPv6 zaglavljima, dok se na slici 27 vidi da su sa sučelja *eth1* usmjerivača *router4* otišli IPv6-paketi. To znači da se dogodila dekapsulacija.

To znači da je izrada tunela bila uspješna i da se bilo kakvi IPv6-paketi mogu poslati preko IPv4-mreže jer ih je moguće enkapsulirati prije ulaska u IPv4-mrežu i dekapsulirati prilikom napuštanja IPv4-mreže.

#### 4. scenarij – Router-to-Router tuneliranje (IPv4-paketi preko IPv6-mreže)

U ovom scenariju imamo IPv4-podmreže u kojima se nalaze računala *comp1* i *comp6*. Između njih je IPv6-mreža, a na granicama su usmjerivači *router1* i *router4*. Zadatak je povezati računala *comp1* i *comp6* tako da se napravi tunel kroz IPv6-mrežu koji se rasprostire od usmjerivača *router1* do usmjerivača *router4*.

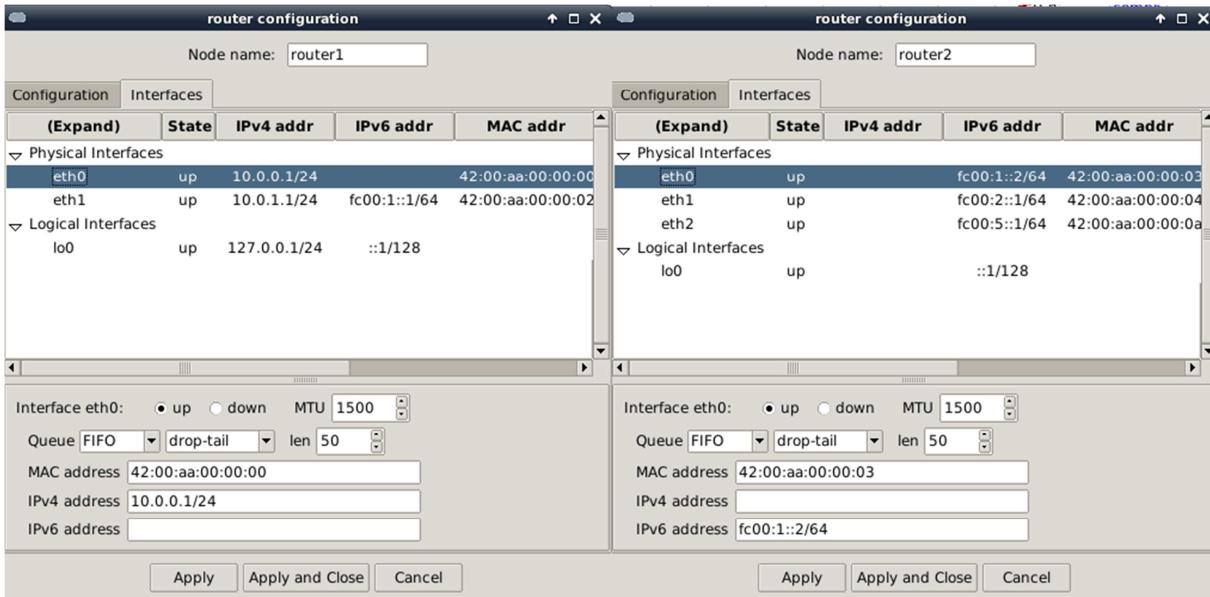
Kako to sve izgleda može se vidjeti na slici 28.



Slika 28. Mreža u četvrtom slučaju

Na slici se vidi da je od računala *comp1* do usmjerivača *router1* IPv4-podmreža jer i *comp1* i *eth0* posjeduju IPv4-adrese. Ista stvar je i kod računala *comp6* i sučelja *eth1* usmjerivača *router4*. Sučelja *eth1* usmjerivača *router1* i *eth0* usmjerivača *router4* posjeduju dvostruki IP složaj. Usmjerivači *router2* i *router3* posjeduju samo IPv6-adrese.

Kod usmjeritelja *router1* i *router4* potrebno je ostaviti samo IPv4-adrese na sučeljima koji gledaju prema računalima *comp1* i *comp6*. Na ostalim sučeljima treba biti dvostruki IP složaj. Na svim usmjeriteljima treba isključiti *ripng*, a na usmjerivačima *router2* i *router3* treba obrisati sve IPv4-adrese. Primjeri za obje vrste poslužitelja su na slici 29.



Slika 29. Sučelja za router1 i router2

Nakon što se sve konfigurira, treba pokrenuti simulaciju izborom *Execute* u izborniku *Experiment*.

Nakon što se pokrene simulacija, u usmjerivače *router1* i *router4* potrebno je upisati naredbe koje se vide na slici 30. Tako se stvara tunel između ta dva usmjerivača.

```
IMUNES: router1 (console)
router1# sysctl net.link.gif,max_nesting=2
net.link.gif,max_nesting: 1 -> 2
router1# ifconfig gif create
gif0
router1# ifconfig gif0 inet6 tunnel fc00:1::1 fc00:3::2 ifdisabled
router1# ifconfig gif0 inet 10.0.1.5 10.0.3.5 prefixlen 24
router1# route -n add -inet default 10.0.3.5
add net default; gateway 10.0.3.5
router1# ifconfig gif0 up
router1# 

IMUNES: router4 (console)
router4# sysctl net.link.gif,max_nesting=2
net.link.gif,max_nesting: 1 -> 2
router4# ifconfig gif create
gif1
router4# ifconfig gif1 inet6 tunnel fc00:3::2 fc00:1::1 ifdisabled
router4# ifconfig gif1 inet 10.0.3.5 10.0.1.5 prefixlen 24
router4# route -n add -inet default 10.0.1.5
add net default; gateway 10.0.1.5
router4# ifconfig gif1 up
router4# 
```

Slika 30. Naredbe za slaganje tunela

U lјusci prvog usmjerivača *router1* prvo se upisuju „*sysctl net.link.gif.max\_nesting=2*“ što nam omogućuje da imamo samo 2 tunela. Zatim se upisuje „*ifconfig gif create*“ s čime stvaramo sučelje *gif*, u ovom slučaju *gif0*. Nakon toga pokrećemo „*ifconfig gif0 inet6 tunnel fc00:1::1 fc00:3::2 ifdisabled*“ kojim govorimo koja dva routera spajamo (ifdisabled služi za blokiranje IPv6 na ovom sučelju), „*ifconfig gif0 inet 10.0.1.5 10.0.3.5 prefixlen 24*“ kojim određujemo IPv4-adrese tunela, naredbu „*route -n add -inet default 10.0.3.5*“ s kojom dodajemo defaultni put u tablicu i „*ifconfig gif0 up*“ s čime dižemo sučelje. Isti postupak radimo i na drugom računalu *comp6*, samo što tamo adrese upisujemo obrnuto i imamo *gif1* umjesto *gif0*.

Nakon što se sve uspješno unese, tunel je stvoren i spreman za testiranje. S *ifconfigom* provjerimo da li je sve napravljeno kako treba. Rezultat je prikazan na slici 31.

```

IMUNES: router1 (console)
router1# ifconfig
lo0: flags=8049<UP,LOOPBACK,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 16384
    options=3<RXCSUM,TXCSUM>
    inet6 ::1 prefixlen 128
        inet6 fe80::1%lo0 prefixlen 64 scopeid 0x1
        inet 127.0.0.1 netmask 0xffffffff
            nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
eth0: flags=8843<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=28<VLAN_MTU,JUMBO_MTU>
    ether 42:00:aa:00:00:00
        inet6 fe80::4000:aaff:fe00:0%eth0 prefixlen 64 scopeid 0x2
        inet 10.0.0.1 netmask 0xffffffff broadcast 10.0.0.255
            nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
        media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
        status: active
eth1: flags=8843<UP,BROADCAST,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> metric 0 mtu 1500
    options=28<VLAN_MTU,JUMBO_MTU>
    ether 42:00:aa:00:00:02
        inet6 fe80::4000:aaff:fe00:2%eth1 prefixlen 64 scopeid 0x3
        inet 10.0.1.1 netmask 0xffffffff broadcast 10.0.1.255
            nd6 options=3<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV>
        media: Ethernet autoselect (1000baseT <full-duplex>)
        status: active
gif0: flags=8051<UP,POINTOPOINT,RUNNING,MULTICAST> metric 0 mtu 1280
    tunnel
    inet6 fc00:1::1 --> fc:3::2
        inet 10.0.1.5 --> 10.0.3.5 netmask 0xff000000
            nd6 options=b<PERFORMNUD,ACCEPT_RTADV,IFDISABLED>
            options=1<ACCEPT_REV_ETHIP_VER>

```

Slika 31. ifconfig na usmjerivaču router1

Prvo *pingamo* računalo *comp6* sa računalom *comp1*. To činimo tako da u ljesci na računalu *comp1* pokrenemo naredbu „*ping6 -c 5 10.0.4.20*“ kao što je to vidljivo na slici 32. Koristimo *ping* zato što radimo s IPv4, a adresa je adresa računala *comp6*. Ovo je različito od scenarija 2 jer smo tamo koristili adresu tunela, a ovdje koristimo baš IPv4-adresu računala. Korištena je i zastavica *-c* s vrijednošću 5 što znači da će *ping* poslati samo 5 paketa i nakon toga sam prestati s radom, te ispisati statistike *pinganja*. Postupak i rješenje se vidi na slici 32.

```

IMUNES: comp1 (console)
[root@comp1 /]# ping -c 5 10.0.4.20
PING 10.0.4.20 (10.0.4.20) 56 data bytes
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_seq=0 ttl=62 time=0.158 ms
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_seq=1 ttl=62 time=0.167 ms
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_seq=2 ttl=62 time=0.155 ms
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_seq=3 ttl=62 time=0.156 ms
64 bytes from 10.0.4.20: icmp_seq=4 ttl=62 time=0.154 ms

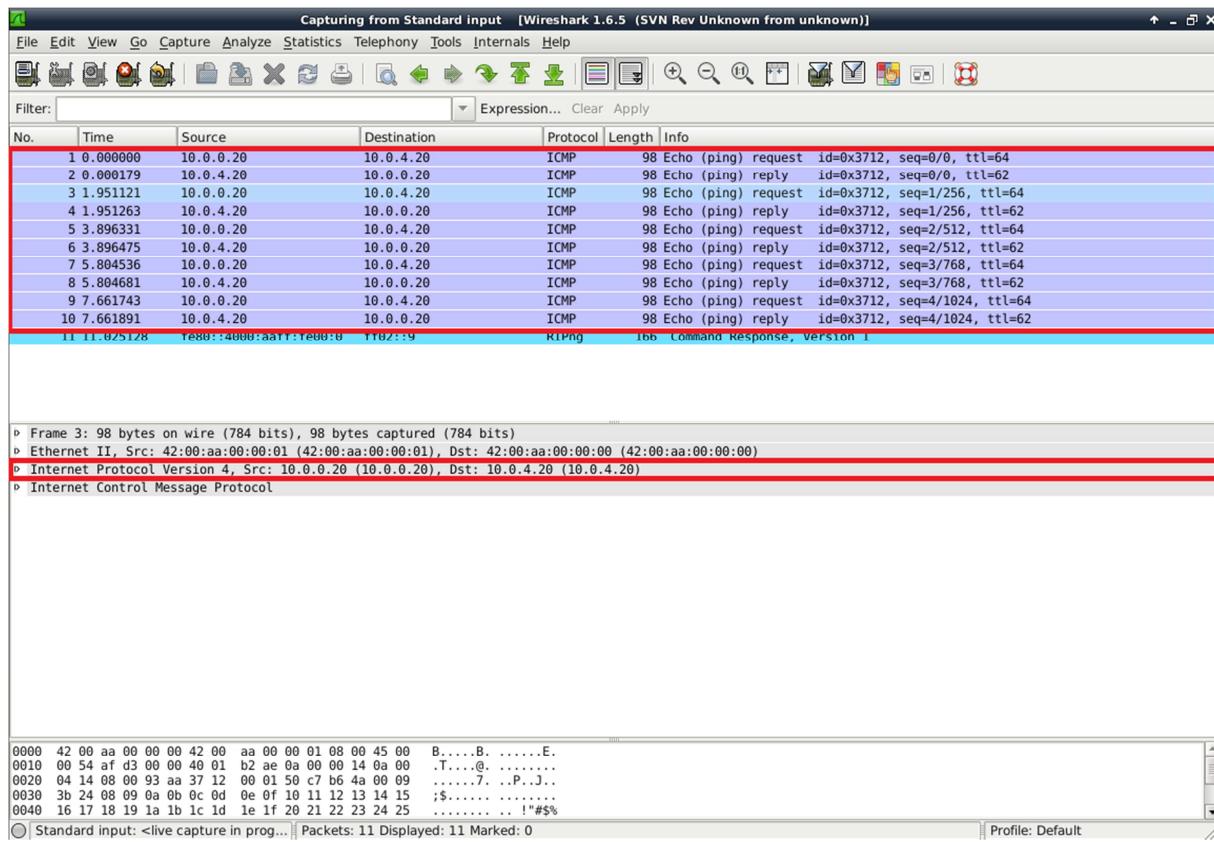
--- 10.0.4.20 ping statistics ---
5 packets transmitted, 5 packets received, 0.0% packet loss
round-trip min/avg/max/stddev = 0.154/0.158/0.167/0.005 ms

```

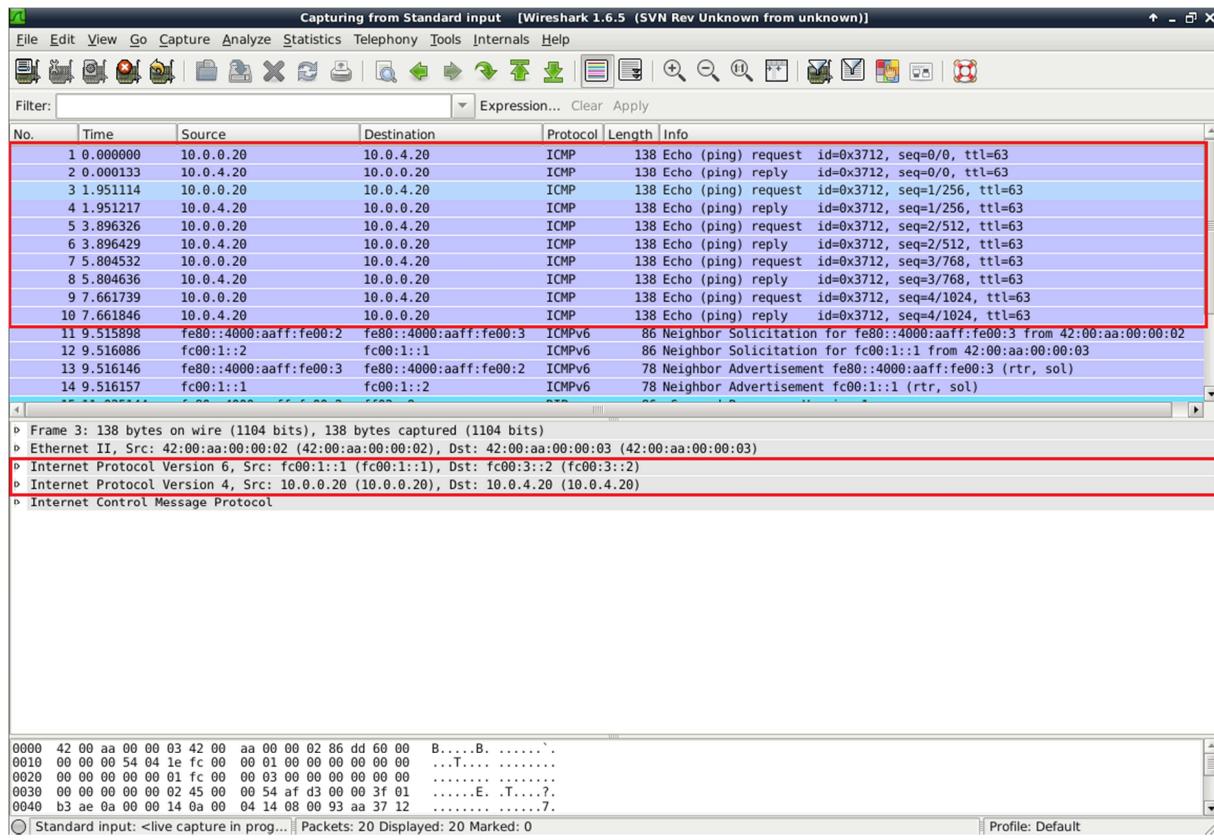
Slika 32. Pinganje računala comp6

Kao što se vidi, paketi su uspješno primljeni i nema gubitaka, što znači da je komunikacija bila uspješna te da stvoren tunel funkcioniра.

U Wiresharku se pratilo *pinganje* na oba sučelja usmjerivača *router1* i *router4*.

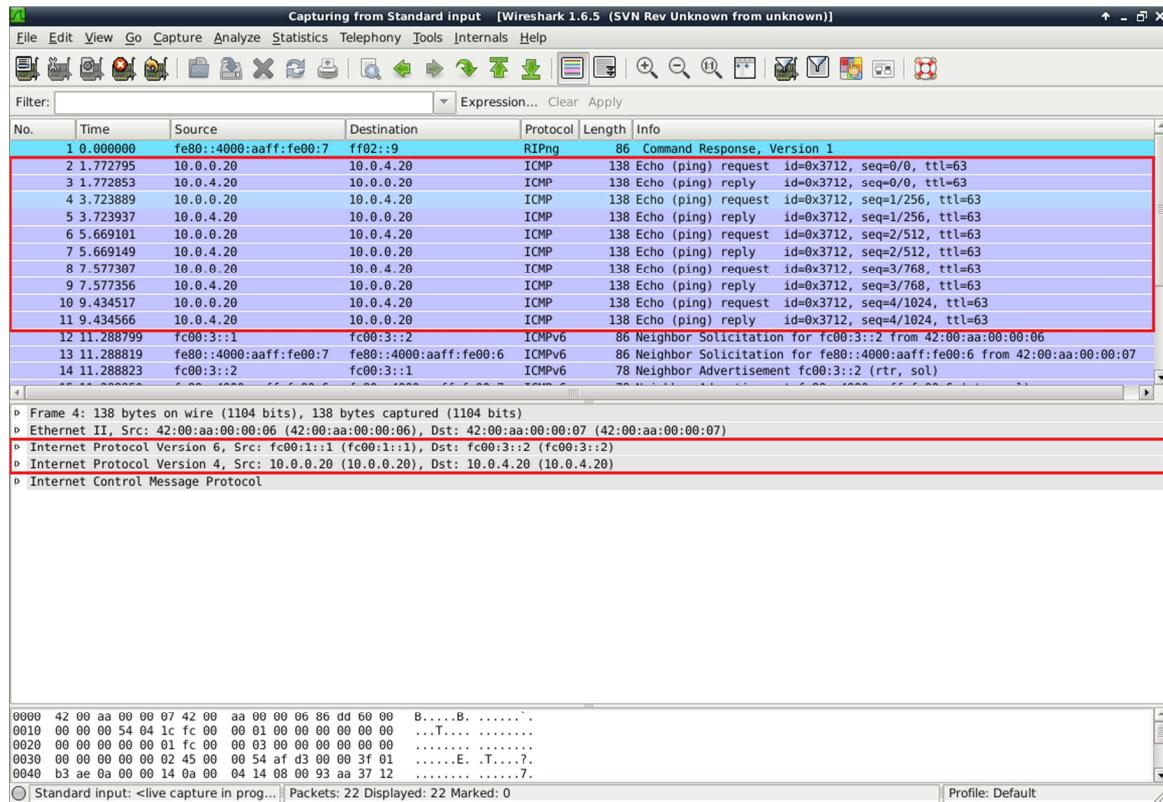


Slika 33. Pinganje na sučelju eth0 usmjerivača router1

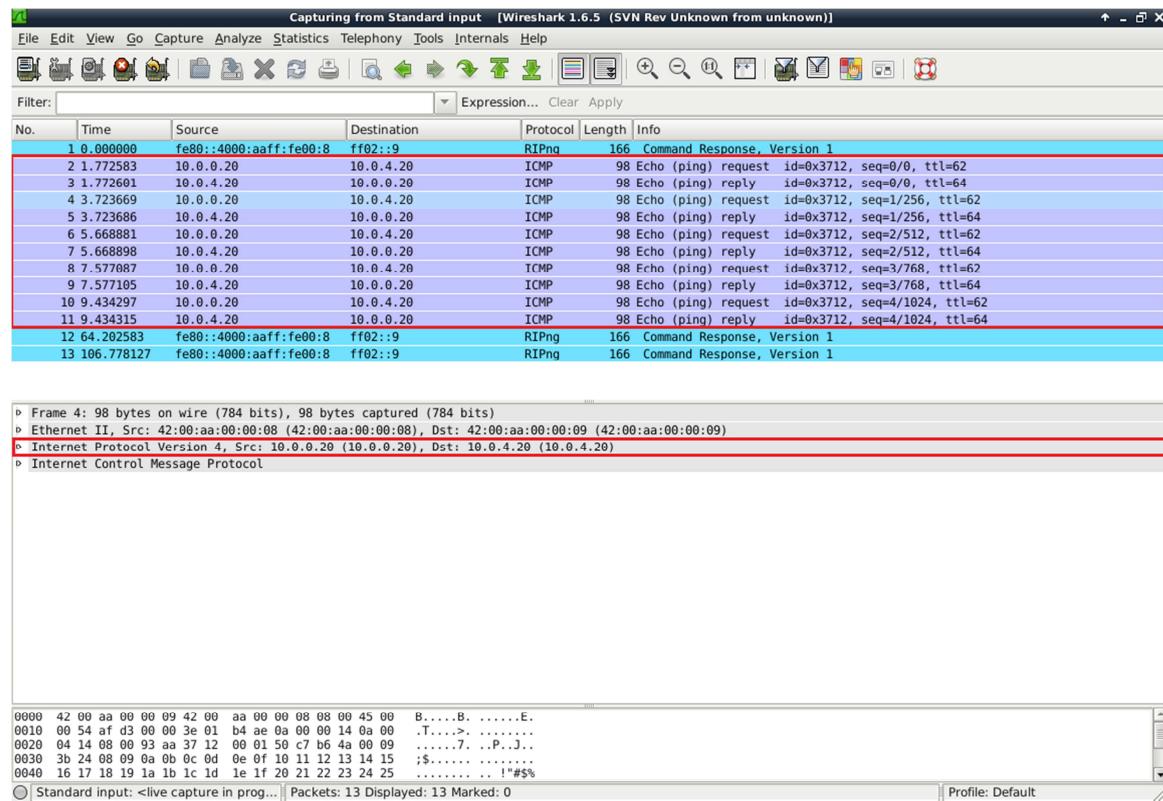


Slika 34. Pinganje na sučelju eth1 usmjerivača router1

Na slici 33 vidi se dolazak IPv4-paketa na sučelje *eth0* usmjerivača *router1*, dok se na slici 34 vidi odlazak paketa sa IPv4 i IPv6 zaglavljima sa sučelja *eth1* usmjerivača *router1*. Iz priloženog se vidi da se na usmjerivaču *router1* obavila enkapsulacija.



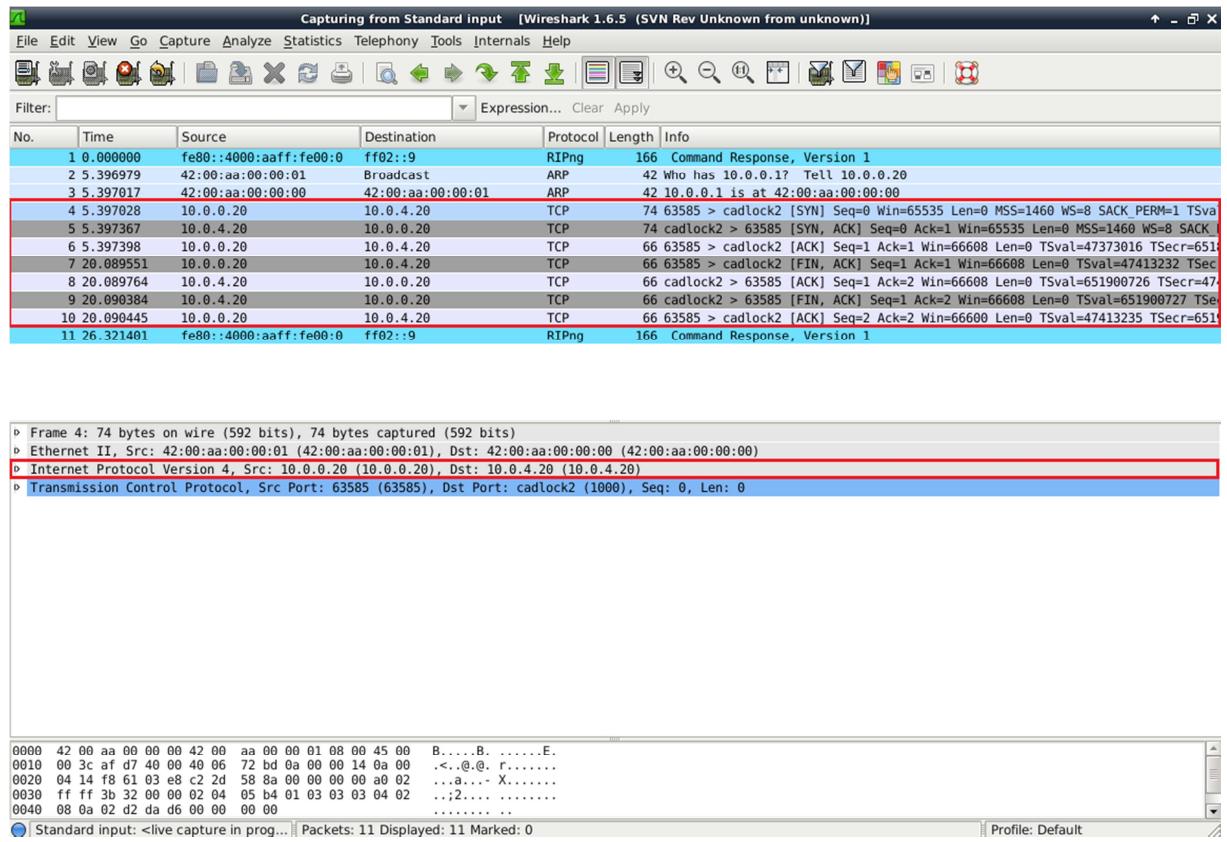
Slika 35. Pinganje na sučelju *eth0* usmjerivača *router4*



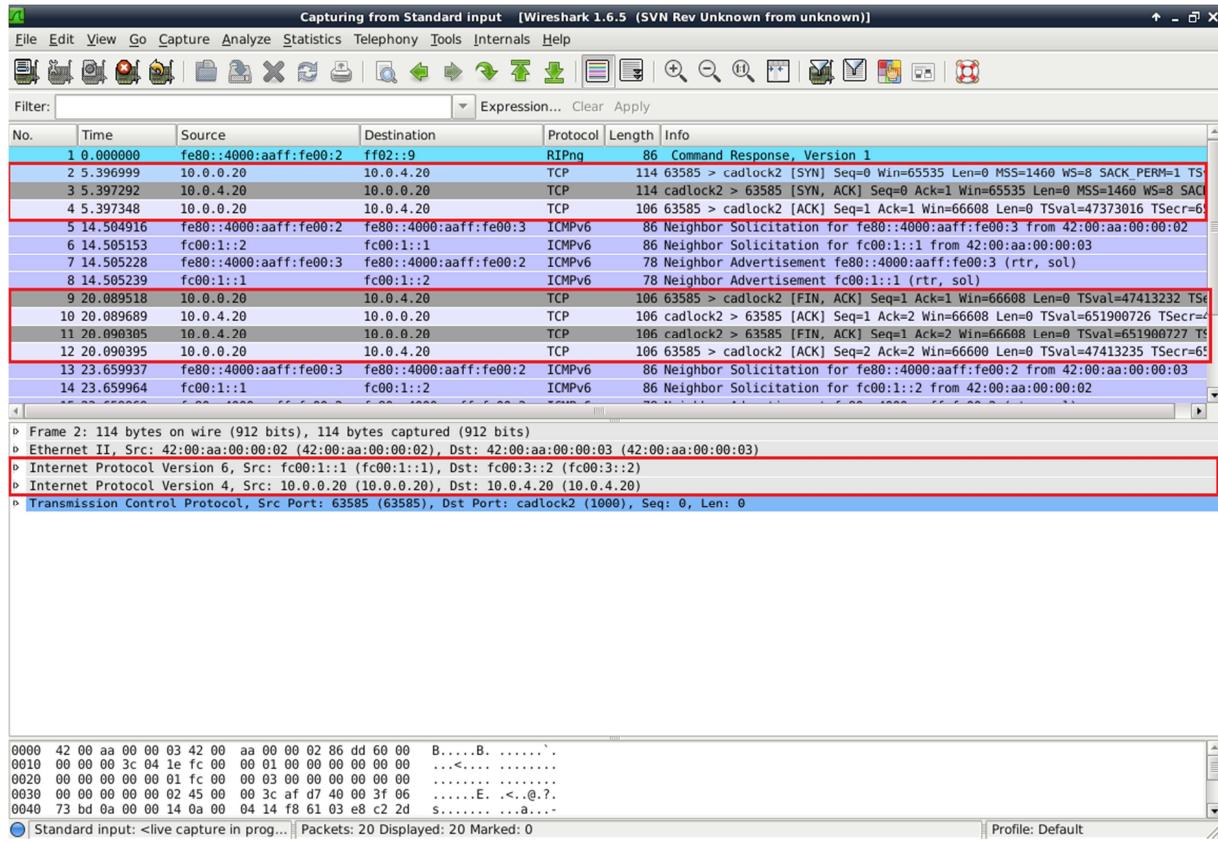
Slika 36. Pinganje na sučelju *eth1* usmjerivača *router4*

Na slici 35 vidi se dolazak paketa sa IPv4 i IPv6 zaglavljima na sučelje *eth0* usmjerivača *router4*, dok se na slici 36 vidi odlazak IPv4-paketa sa sučelja *eth1* usmjerivača *router4*. Iz priloženog se vidi da se na usmjerivaču *router4* obavila dekapsulacija.

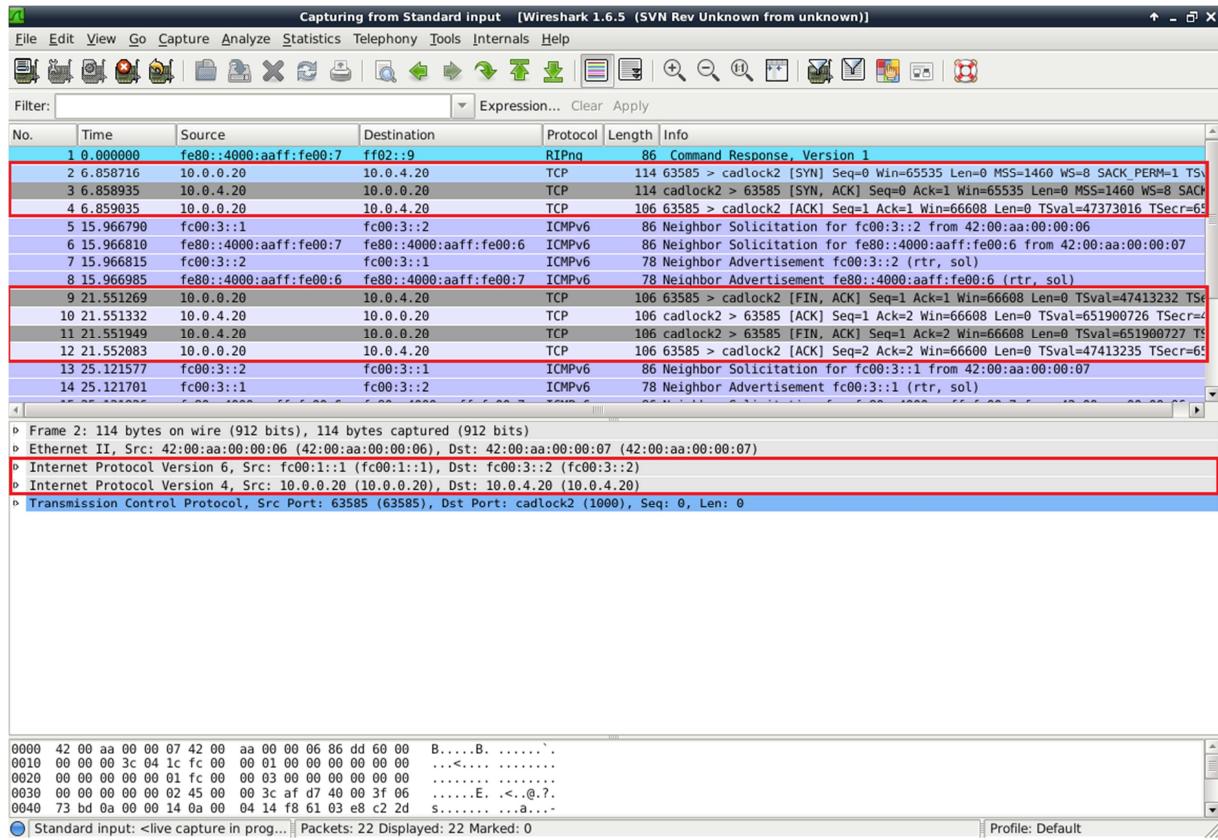
Potrebno je još analizirati promet prilikom izvršavanja naredbe *netcat*. Na računalu *comp6* izvršena je naredba „nc -l 5050“. Sa zastavicom -l smo naredili računalu *comp6* da osluškuje na portu 5050. Nakon toga se na drugom računalu napiše naredba „nc 10.0.4.20 5050“ s čime smo mu naredili da šalje pakete na adresu 10.0.4.20 na port 5050, što je adresa računala *comp6* i port koji *comp6* osluškuje. Na oba sučelja usmjerivača *router1* i *router4* je pokrenut Wireshark, a rezultat je vidljiv na slikama 37, 38, 39 i 40.



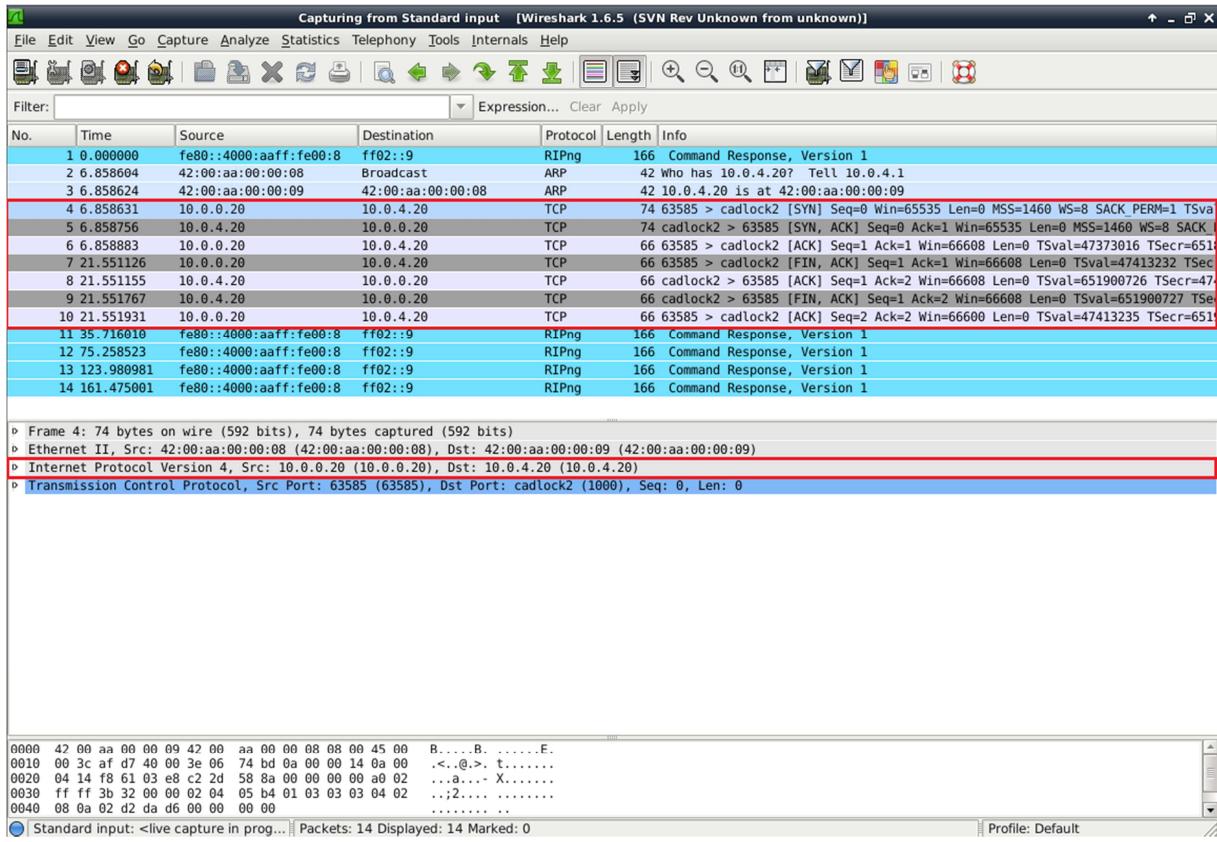
Slika 37. Wireshark na sučelju *eth0* usmjerivača *router1*



Slika 38. Wireshark na sučelju eth1 usmjerivača router1



Slika 39. Wireshark na sučelju eth0 usmjerivača router4



Slika 40. Wireshark na sučelju eth1 usmjerivača router4

Na slici 37 vidi se da su na sučelje *eth0* usmjerivača *router1* došli IPv4-paketi, dok se na slici 38 vidi da su sa sučelja *eth1* usmjerivača *router1* otišli paketi sa IPv4 i IPv6 zaglavljima što znači da se dogodila enkapsulacija.

Na slici 39 se vidi da su na sučelje *eth0* usmjerivača *router4* došli paketi sa IPv4 i IPv6 zaglavljima, dok se na slici 40 vidi da su sa sučelja *eth1* usmjerivača *router4* otišli IPv4-paketi. To znači da se dogodila dekapsulacija.

To znači da je izrada tunela bila uspješna i da se bilo kakvi IPv4-paketi mogu poslati preko IPv6-mreže jer ih je moguće enkapsulirati prije ulaska u IPv6-mrežu i dekapsulirati prilikom napuštanja IPv6-mreže.

## **Literatura**

[1] *Man pages* u Linuxu

[2] IMUNES user guide

[http://www.nxlab.fer.hr/imunes/imunes\\_ug\\_20110907.pdf](http://www.nxlab.fer.hr/imunes/imunes_ug_20110907.pdf)

[3] FreeBSD IPv6

<http://ipv6int.net/systems/freebsd-ipv6.html>