

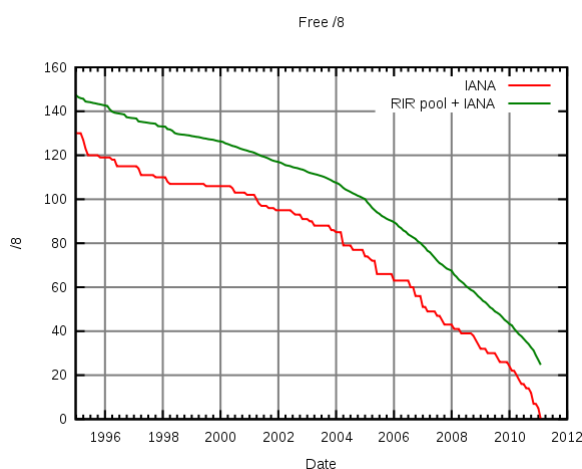
IPv6 adresiranje i statičko rutiranje

Cilj vežbe

Cilj vežbe je upoznavanje sa IPv6 adresiranjem i statičkim rutiranjem.

IPv6

Zbog ekspanzije Interneta došlo je do iskorišćenja adresnog prostora IPv4 protokola u potpunosti. Na grafiku je prikazana prognoza potrošnje IPv4 adresnog prostora.



Usled nedovoljnog broja raspoloživih adresa i da bi se produžio vek IPv4 osmišljeni su mehanizmi za bolje iskorišćenje adresnog prostora, kao što su NAT (Network Address Translation), CIDR (Classless Interdomain Routing), DHCP (Dynamics Host Configuration Protocol). Međutim, ove tehnike imaju i svoja ograničenja. Zbog tih ograničenja došlo je do razvoja IPv6 protokola. Osnovna razlika između IPv4 i IPv6 protokola je dužina mrežne adrese. **IPv6 adrese** se sastoje od **128 bita** (kao što je definisano RFC 4291 dokumentom), dok se **IPv4 adrese** sastoje od **32 bita**. Adresni prostor IPv4 protokola ima otprilike 4 milijardi adresa, dok IPv6 ima prostora za $3.4 \cdot 10^{38}$ jedinstvenih adresa.

IPv6 adrese se sastoje od dva logička dela: 64-bitnog mrežnog prefiksa, i 64-bitnog dela za adresiranje hosta. **IPv6 adresa** se predstavlja sa **osam grupa od po četiri heksadecimalne cifre rezdvojenih dvotačkama (:)**.

Na primer,

```
2001:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7334
```

predstavlja ispravnu IPv6 adresu.

Adrese se mogu pisati i u pojednostavljenom obliku tako što se jedna ili **više grupa nula (0000)** mogu izostaviti i zameniti **dvostrukim dvotačkama (::)**, npr,

```
2001:0db8:0000:0000:0000:0000:1428:57ab
```

se može predstaviti kao

```
2001:0db8::1428:57ab
```

Svaka spojena grupa nula (0000) može se smanjiti na dve dvotačke samo jedan put u adresi, tj. **nije dozvoljeno imati dva ili više puta po dve dvotačke**. Primer nedozvoljenog skraćivanja adrese

```
2001:0000:0000:FFD3:0000:0000:0000:57ab  
2001::FFD3::57ab
```

Vodeće nule se takođe mogu izostaviti, kao što je prikazano u primeru

```
2001:0db8:0000:0000:0000:0000:1428:57ab  
2001:0db8:0000:0000:0000::1428:57ab  
2001:0db8:0:0:0:0:1428:57ab  
2001:0db8:0:0::1428:57ab  
2001:0db8::1428:57ab  
2001:db8::1428:57ab
```

Sekvenca od 4 zadnja bajta u adresi se može predstaviti decimalnim ciframa koristeći tačke kao separator. Ovakva notacija se koristi zbog kompatibilnosti sa IPv4 adresama. **Adresna šema je u tom slučaju x:x:x:x:d.d.d.d**, gde su x heksadecimalne cifre, a d decimalne cifre, npr. ::ffff:12.34.56.78 je isto što i ::ffff:0c22:384e i 0:0:0:0:ffff:0c22:384e.

Tipovi IPv6 adresa

Postoje tri glavna tipa IPv6 adresa:

- **Unicast** – Predstavlja adresu koja se **dodeljuje jednom** interfejsu.
- **Anycast** – Anycast adresa **identifikuje više različitih interfejsa koji generalno pripadaju različitim uređajima**. Paketi poslani na anycast adresu biće prosleđeni, prema rutinng protokolu, najbližem interfejsu kome je dodeljena ova adresa. Da bi ovakvo prosleđivanje paketa bilo moguće, ruteri moraju znati kojim interfejsima su dodeljene anycast adrese i koja je njihova udaljenost u pogledu metrike rutiranja. **Trenutno se anycast adrese dodeljuju samo ruterima** i dodeljuju se iz adresnog prostora unicast adresa.
- **Multicast** – Predstavlja adresu koja **identifikuje skup interfejsa koji tipično pripadaju različitim uređajima**. Paket koji je poslat na multicast adresu biće prosleđen na sve interfejse određene tom adresom. Multicast saobraćaj u IPv6 funkcioniše na istom principu kao i u IPv4. Proizvoljno raspoređeni uređaji mogu osluškiivati saobraćaj na proizvoljnim IPv6 multicast adresama. IPv6 uređaj može pratiti više multicast adresa istovremeno, može se prijaviti ili napustiti multicast grupu u bilo kom trenutku. **IPv6 multicast adrese imaju prefiks FF00::/8 (1111 1111)**. Pored prefiksa, multicast adrese imaju dodatnu strukturu kojom se definiše trajanje, opseg i multicast grupa kojima pripadaju.

Generalno, IPv6 adresa se dodeljuje određenom interfejsu, a ne uređaju. Međutim, jednom interfejsu može biti dodeljeno više IPv6 adresa. Više interfejsa može imati samo jednu unicast adresu kada se koriste za raspodelu opterećenja preko više fizičkih veza. Tada se više fizičkih interfejsa tretira kao jedan interfejs na Internet sloju.

Jedna velika izmena u odnosu na IPv4 je **nepostojanje broadcast adresa**. Svi tipovi IPv4 broadcast adresiranja su u IPv6 zamenjeni sa multicast adresama.

Unicast IPv6 adrese

Unicast adresa je adresa dodeljena jednom interfejsu. Postoji više tipova IPv6 unicast adresa:

- Globalna unicast adresa (Global unicast address)
- Unicast adresa lokalnog linka (Link-local unicast address)

- Unicast adresa lokalnog sajta (Site-local unicast address)
- Specijalne IPv6 adrese
- Kompatibilne adrese

Globalna unicast adresa

IPv6 globalna unicast adresa je rutabilna i dostupna iz IPv6 dela Interneta i **ekvivalentna je javnoj IPv4 adresi**. Struktura globalne unicast adrese omogućava agregaciju prefiksa kako bi se omogućilo efikasnije rutiranje. Trenutno, globalne unicast adrese se dodeljuju iz opsega adresa koje počinju sa binarnom vrednošću **001 (odnosno 2000::/3)**. Opseg **2000::/3** koristi jednu osminu ukupnog IPv6 adresnog prostora.

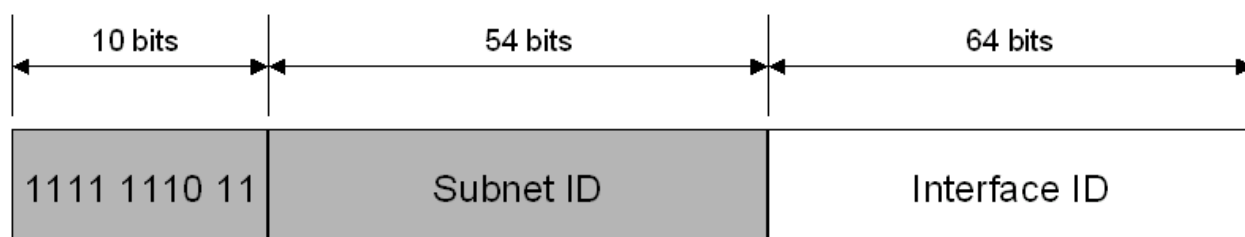
Unicast adresa lokalnog linka (Link-local unicast address)

Unicast adresa lokalnog linka je IPv6 adresa koja se **automatski konfigurise** na svakom IPv6 uređaju, bez obzira na to da li su konfigurisane neke druge adrese. **Koristi se prefiks FE80::/10 (adrese počinju sa 1111 1110 10 binarno) i identifikator interfejsa (Interface ID) koji je u EUI-64 formatu. Ekvivalentne su IPv4 automatskim privatnim adresama (APIPA - Automatic Private IP Addressing) koje mogu da se automatski konfigurisu pod Windows operativnim sistemom koristeći opseg 169.254.0.0/16.**

Ovaj tip IPv6 adresa uglavnom služi za povezivanje uređaja na lokalnom linku, bez potrebe za globalnim adresama. Na taj način uređaji mogu komunicirati bez potrebe za ruterom. Takođe unicast adrese lokalnog linka koriste se kod **Neighbor Discovery** protokola i procesa autokonfiguracije. Ruteri ne smeju prosleđivati pakete koji imaju ovaj tip adrese kao izvorišnu ili odredišnu adresu.

Unicast adresa lokalnog sajta (Site-local unicast address)

Ovaj tip IPv6 adresa je ekvivalentan privatnim adresama iz IPv4 koje pripadaju poznatim opsezima **10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12 i 192.168.0.0/16**. Za unicast adrese lokalnog sajta određen je prefiks **FEC0::/10 (adrese počinju sa 1111 1110 11 binarno)**. Posle ovog prefiksa sledećih 38 bita je fiksirano na vrednost 0, a zatim sledi 16-bitni identifikator podmreže (Subnet ID) i 64-bitni identifikator interfejsa (Interface ID). Privatne adrese se mogu koristiti bez potrebe za jedinstvenim prefiksom, ukoliko mreža nije priključena na Internet. Ruteri ne smeju oglašavati putanje i prosleđivati pakete sa ovim tipom adrese van granica određenog sajta. Ukoliko kasnije bude neophodno povezivanje na Internet, dovoljno je dodeliti globalni ruting prefiks dok se već definisana adresna šema celog sajta može primeniti na ovaj prefiks.



Struktura adrese lokalnog sajta

Specijalne IPv6 adrese

U grupu specijalnih IPv6 adresa spadaju dva tipa adresa:

- **Nespecificirana adresa (Unspecified)** – označava se sa `0:0:0:0:0:0:0:0` ili samo `::`. Koristi se samo u slučaju da uređaj ne poseduje svoju IPv6 adresu. Uglavnom se koristi kao izvorišna adresa u paketima kojima uređaj pokušava da odredi jedinstvenost svoje adrese. Nikada se ne dodeljuje nekom interfejsu, niti se koristi kao odredišna adresa. Ekvivalentna je sa nespecificiranom IPv4 adresom `0.0.0.0`.

- **Loopback adresa** – označava se kao `0:0:0:0:0:0:0:1` ili `::1`. Služi za označavanje lokalnog interfejsa u IP steku, omogućavajući uređaju da šalje pakete samom sebi. Ekvivalentna je IPv4 adresi `127.0.0.1`. Ne može se dodeliti fizičkom interfejsu, a ruteri ne smeju prosleđivati pakete sa ovakvim adresama.

Kompatibilne adrese

Zbog potrebe postepenog prelaska sa IPv4 na IPv6 i paralelnog korišćenja oba protokola, definisane su različite vrste kompatibilnih adresa:

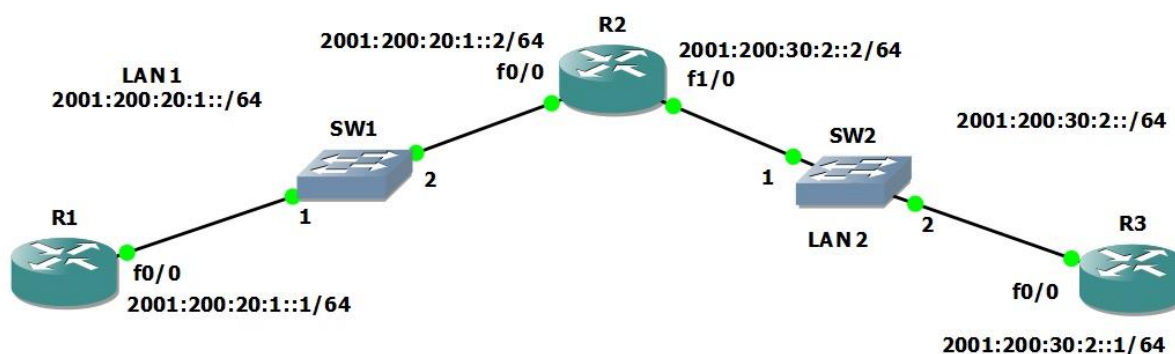
- **IPv4 kompatibilna adresa (IPv4-Compatible IPv6 address)** – Ovaj tip adrese integriše IPv4 adresu u najnižih 32 bita IPv6 adrese, dok ostalih 96 bita IPv6 adrese ima vrednost 0. Format IPv4 kompatibilne adrese je `0:0:0:0:0:w.x.y.z` ili `::w.x.y.z`. Svih 128 bita ove adrese predstavljaju IPv6 adresu uređaja, dok 32 najniža bita predstavljaju njegovu IPv4 adresu. Koristi se kod uređaja koji rade u dual-stack režimu, tj. podržavaju IPv4 i IPv6. Ovakvo adresiranje omogućava automatsko tunelovanje IPv6 paketa preko IPv4 infrastrukture.

- **IPv4 mapirana adresa (IPv4-mapped IPv6 address)** – Tip adrese koji takođe integriše IPv4 adresu u najnižih 32 bita IPv6 adrese. Format adrese je `0:0:0:0:FFFF:w.x.y.z` ili `::FFFF:w.x.y.z`. Koristi se za predstavljanje IPv4 uređaja, IPv6 uređaju. Na dual-stack uređaju, IPv6 aplikacija koja šalje saobraćaj na IPv4 mapiranu adresu, poslaće ustvari IPv4 paket sa IPv4 adresom.

Dodatne informacije o IPv6 se mogu naći u **RFC 4291** dokumentu - IP Version 6 Addressing Architecture.

Kreiranje mreže

Na slici je prikazana topologija mreže. U vežbi je potrebno izvršiti konfigurisanje rutera dodelom odgovarajućih IPv6 adresa njegovim interfejsima i unosom potrebnih statičkih ruta. Svi potrebni parametri su dati na slici. Rutiranje se vrši na sličan način kao u IPv4 okruženju, a razlikuje se samo po formatu IPv6 adresa koje se koriste.



Slika 1.

Konfigurisanje rutera

Korak 1.

Prvi korak je konfiguracija rutera R1, tj. dodela IPv6 adresa interfejsima

```
R1#configure terminal # ulazak u globalni konfiguracioni mod
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R1(config)#ipv6 unicast-routing # naredba koja aktivira IPv6 protokol i mora biti prva
uneta IPv6 naredba
R1(config)#interface f0/0 # ulazak u mod za konfiguraciju Fast Ethernet interfejsa
R1(config-if)#ipv6 address 2001:200:20:1::1/64 # dodela IPv6 adrese
R1(config-if)#no shutdown # aktiviranje interfejsa
R1(config-if)#
*Mar 1 00:01:06.115: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:01:07.115: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0,
changed state to up
```

Provera konfiguracije interfejsa vrši se naredbom:

```
R1(config-if)#do show ipv6 interface brief # provera IPv6 konfiguracije svih interfejsa
FastEthernet0/0 [up/up]
FE80::CE05:DFE4:0
2001:200:20:1::1
R1(config-if)#
```

Provera tabele rutiranja vrši se naredbom:

```
R1(config-if)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 4 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
U - Per-user Static route
I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
C 2001:200:20:1::/64 [0/0]
via ::, FastEthernet0/0
L 2001:200:20:1::1/128 [0/0]
via ::, FastEthernet0/0
L FE80::/10 [0/0]
via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
via ::, Null0
R1(config-if)#
```

Korak 2.

Zatim sledi konfiguracija rutera R2.

```
R2#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
R2(config)#ipv6 unicast-routing
R2(config)#interface f0/0
R2(config-if)#ipv6 address 2001:200:20:1::2/64
R2(config-if)#no shutdown
*Mar 1 00:02:17.867: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar 1 00:02:18.867: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0,
changed state to up
R2(config-if)#interface f1/0
R2(config-if)#ipv6 address 2001:200:30:2::2/64
R2(config-if)#no shutdown
*Mar 1 00:02:38.023: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet1/0, changed state to up
*Mar 1 00:02:39.023: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet1/0,
changed state to up
```

Provera konfiguracije interfejsa vrši se naredbom:

```
R2(config-if)#do show ipv6 interface brief # prikaz i provera IPv6 adresa interfejsa
FastEthernet0/0          [up/up]
    FE80::CE01:DFE:FED4:0
    2001:200:20:1::2
FastEthernet1/0          [up/up]
    FE80::CE01:DFE:FED4:10
    2001:200:30:2::2
```

Provera tabele rutiranja vrši se naredbom:

```
R2(config-if)#do show ipv6 route # prikaz tabele rutiranja
IPv6 Routing Table - 6 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
        U - Per-user Static route
        I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
        O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
        ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
C    2001:200:20:1::/64 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
L    2001:200:20:1::2/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
C    2001:200:30:2::/64 [0/0]
    via ::, FastEthernet1/0
L    2001:200:30:2::2/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet1/0
L    FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
L    FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
R2(config-if)#
```

Korak 3.

Sledeći korak je konfiguracija rutera R3.

```
R3#configure terminal
Enter configuration commands, one per line.  End with CNTL/Z.
R3(config)#interface f0/0
R3(config-if)#exit
R3(config)#ipv6 unicast-routing
R3(config)#interface f0/0
R3(config-if)#ipv6 address 2001:200:30:2::1/64
R3(config-if)#no shutdown
R3(config-if)#
*Mar  1 00:03:49.915: %LINK-3-UPDOWN: Interface FastEthernet0/0, changed state to up
*Mar  1 00:03:50.915: %LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/0,
changed state to up
```

Provera konfiguracije interfejsa vrši se naredbom:

```
R3(config-if)#do show ipv6 interface brief
FastEthernet0/0          [up/up]
    FE80::CE02:CFF:FE68:0
    2001:200:30:2::1
```

Provera tabele rutiranja vrši se naredbom:

```
R3(config)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 4 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
        U - Per-user Static route
        I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
        O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
        ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
C    2001:200:30:2::/64 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
L    2001:200:30:2::1/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
```

```
L FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
L FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
```

Korak 4.

Sledeći korak je provera konekcije na ruteru R1.

Konekcija ka ruteru R3 (tj. njegovom interfejsu f0/0) ne radi.

```
R1#ping 2001:200:30:2::1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:200:30:2::1, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
```

Konekcija ka ruteru R2, tj. njegovom interfejsu f0/0 postoji.

```
R1#ping 2001:200:20:1::2

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:200:20:1::2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 16/26/60 ms
R1#
```

To znači da je i na ruteru R1 i na ruteru R3 potrebno dodati statičke rute ka udaljenim mrežama.

Korak 5.

Dodavanje statičke rute ka mreži 2001:200:30:2::/64 na ruteru R3 se vrši naredbom:

```
R1(config)#ipv6 route 2001:200:30:2::/64 2001:200:20:1::2 # unos staticke IPv6 rute, gde
je prvi parametar IPv6 adresa mreze za koju se unosi ruta sa mreznim prefiksom, a drugi
parametar IPv6 adresa gateway-a
```

Sada je u tabeli rutiranja na R1 vidljiva i statička ruta:

```
R1(config)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 5 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
C   2001:200:20:1::/64 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
L   2001:200:20:1::1/128 [0/0]
  via ::, FastEthernet0/0
S   2001:200:30:2::/64 [1/0]
  via 2001:200:20:1::2
L   FE80::/10 [0/0]
  via ::, Null0
L   FF00::/8 [0/0]
  via ::, Null0
```

A naredba ping pokazuje da postoji veza ka interfejsu f0/0 rutera R3.

```
R1(config)# do ping 2001:200:30:2::1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:200:30:2::1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/50/128 ms
```

Korak 6.

Dodavanje statičke rute ka mreži 2001:200:20:1::/64 na ruteru R3 se vrši naredbom:

```
R3(config)#ipv6 route 2001:200:20:1::/64 2001:200:30:2::2
```

Sada je u tabeli rutiranja na R3 vidljiva i statička ruta:

```
R3(config)#do show ipv6 route
IPv6 Routing Table - 5 entries
Codes: C - Connected, L - Local, S - Static, R - RIP, B - BGP
       U - Per-user Static route
       I1 - ISIS L1, I2 - ISIS L2, IA - ISIS interarea, IS - ISIS summary
       O - OSPF intra, OI - OSPF inter, OE1 - OSPF ext 1, OE2 - OSPF ext 2
       ON1 - OSPF NSSA ext 1, ON2 - OSPF NSSA ext 2
S   2001:200:20:1::/64 [1/0]
    via 2001:200:30:2::2
C   2001:200:30:2::/64 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
L   2001:200:30:2::1/128 [0/0]
    via ::, FastEthernet0/0
L   FE80::/10 [0/0]
    via ::, Null0
L   FF00::/8 [0/0]
    via ::, Null0
R3(config)#
```

A naredba ping pokazuje da postoji veza ka interfejsu f0/0 rutera R1.

```
R3(config)#do ping 2001:200:20:1::1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:200:20:1::1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 20/32/44 ms
```

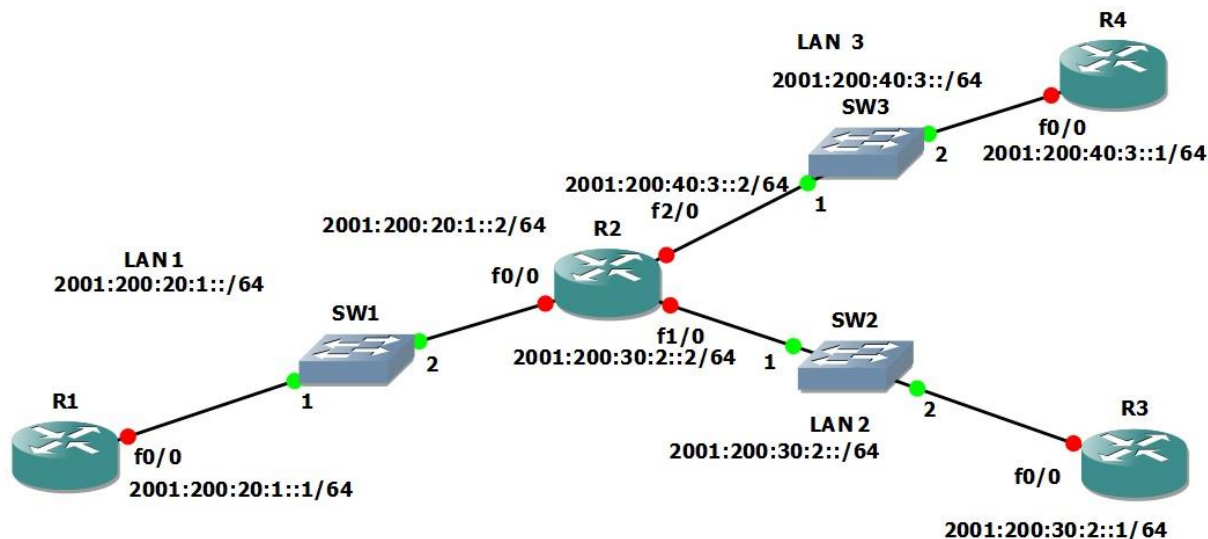
Korak 7.

Na kraju je potrebno izvršiti snimanje konfiguracije na svim ruterima. Ovo je promer za ruter R1.

```
R1#
R1#copy running-config startup-config
Destination filename [startup-config]?
Building configuration...
[OK]
```


Zadatak 4.1

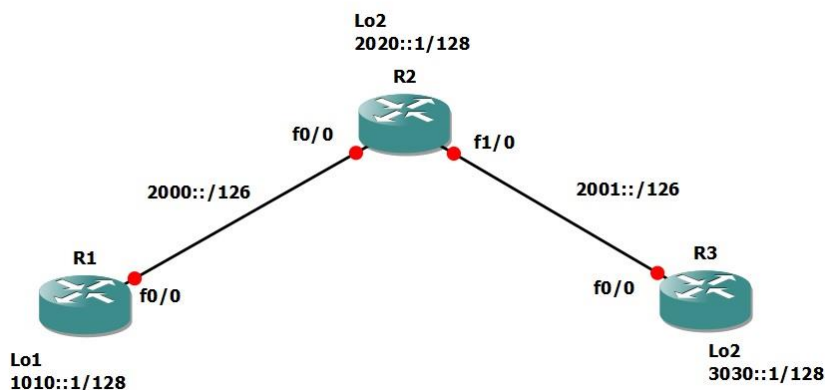
Izvršiti adresiranje interfejsa i unos statičkih ruta u Ipv6 mreži za prošireni scenario prikazan na slici 2. Konfigurisanje je potrebno izvršiti samo na ruteru R4 koji je dodat u scenario. Konfiguracija ostalih rutera u mreži je kao u prethodnom zadatku i može se iskoristiti prethodni scenario koji je već konfigurisan.



Slika 2.

Zadatak 4.2

Izvršiti adresiranje interfejsa i unos statičkih ruta za scenario prikazan na slici. Obratiti pažnju da na slici (Slika 3.) nisu navedene adrese interfejsa. Njih je potrebno dodeliti na osnovu IPv6 adresa mreža koje su date na slici, a kojima pripadaju ti interfejsi.



Slika 3.

Završna razmatranja

U vežbi je demonstrirano kako se vrši konfiguracija rutera dodelom IPv6 adresa i postavljanjem statičkih ruta. Prikazane su osnovne IPv6 komande.