

Juha Mäkelä

Tutustuminen IPv6-protokollaan, sekä IPv4-yhteensopiviin IPv6-reititysmenetelmiin

Opinnäytetyö

Syksy 2016

SeAMK Tekniikka

Tietotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Tutkinto-ohjelma: Tietotekniikan koulutusohjelma

Suuntautumisvaihtoehto: Tietoverkkotekniikat

Tekijä: Mäkelä Juha

Työn nimi: Tutustuminen IPv6-protokollaan, sekä IPv4-yhteensopiviin IPv6-reititysmenetelmiin

Ohjaaja: Anttonen Alpo

Vuosi: 2016

Sivumäärä: 55

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus tutustua IPv6-protokollaan, sekä IPv4-yhteensopiviin IPv6-reititysmenetelmiin. Tarkoitus oli myös rakentaa kolme erilaista IPv6-protokollaa käyttävää verkkoa ja laatia toteutuksista ohjeet koulun tietoverkkotekniikan laboratorioharjoituksia varten.

Ensimmäisenä toteutettiin tavallinen IPv6-lähiverkko, jossa kaikki laitteet käyttivät IPv6-protokollaa. Toinen verkko toteutettiin Dual-Stack -reititysmenetelmällä, missä verkkolaitteet pystyivät käyttämään yhtä aikaa IPv4- ja IPv6-protokollaa ja kolmas verkko oli tarkoitus toteuttaa NAT-PT -reititysmenetelmällä, missä reititin mahdollistaisi IPv6-laitteiden kommunikoinnin IPv4-laitteiden kanssa ja päinvastoin.

Verkot suunniteltiin ja tehtiin ensin Packet Tracer -ohjelmalla, jonka jälkeen verkot rakennettiin koulun tietoliikennelaboratoriossa oikeilla Ciscon verkkolaitteilla. Reitittiminä käytettiin Ciscon 2900 -sarjan reitittimiä.

Avainsanat: IPv6-protokolla, lähiverkko, Dual Stack, NAT-PT

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Information Technology

Specialisation: Networking Technology

Author: Juha Mäkelä

Title of thesis: Getting to know IPv6 and IPv4 compatible IPv6 routing techniques

Supervisor: Anttonen Alpo

Year: 2016

Number of pages: 55

In this thesis the intention was to explore Internet Protocol Version-6, and Internet Protocol Version-4 compatible IPv6 routing techniques. Another aim was to build three different kind of networks, which use IPv6, and draw up guidelines for the laboratory exercises of the network technology –course at Seinäjoki University of Applied Sciences, School of Technology.

First the standard IPv6 local area network was implemented in which all devices are using the IPv6. Secondly the dual-stack routing method was implemented, where network devices may use simultaneously both the IPv4 and IPv6. The third network was planned for the NAT-PT routing method, which allows IPv6 router devices to communicate with IPv4 devices and vice versa.

Networks were planned and carried out initially with the Packet Tracer software, after which the networks were built in the laboratory of Seinäjoki University of Applied Sciences with real Cisco network devices. The routers used Cisco 2900 Series.

Keywords: Internet Protocol Version-6, local area network, Dual Stack, NAT-PT

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	1
Thesis abstract.....	2
SISÄLTÖ.....	3
Kuva-, kuvio- ja taulukkoluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	7
1 JOHDANTO.....	8
1.1 Työn tausta ja tavoite.....	8
1.2 Työn rakenne.....	8
2 IPV6-PROTOKOLLA.....	10
2.1 Yleistä.....	10
2.2 IPv6-osoite.....	10
2.3 IPv6-osoitetyypit.....	12
2.3.1 Unicast.....	13
2.3.2 Multicast.....	14
2.3.3 Anycast.....	15
2.4 IPv6-paketti.....	15
3 REITITYS.....	18
4 DUAL-STACK.....	19
5 NAT-PT.....	20
6 PACKET TRACER -TOTEUTUKSET.....	23
6.1 IPv6-lähiverkko.....	23
6.1.1 Kokoonpano.....	23
6.1.2 Staattinen toteutus.....	25
6.1.3 Dynaaminen toteutus.....	27
6.1.4 Verkon testaus.....	30
6.2 Dual-Stack.....	31
6.2.1 Kokoonpano ja toteutus.....	31
6.2.2 Verkon testaus.....	36
6.3 NAT-PT.....	37

6.3.1 Kokoonpano ja toteutus	37
6.3.2 Verkon testaus	41
7 TOTEUTUKSET LABORATORIOSSA	44
7.1 Staattinen IPv6-verkko	44
7.2 Dual-Stack-verkko.....	46
7.3 NAT-PT-verkko	51
8 YHTEENVETO.....	52
LÄHTEET	54

Kuva-, kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuva 1. NAT-PT-esimerkki.....	20
Kuva 2. NAT-PT-käännökset protokollasta toiseen.....	21
Kuva 3. Yhteyden testaus <i>ping</i> -komennolla IPv6-verkossa.	30
Kuva 4. Yhteyden testaus <i>tracert</i> -komennolla IPv6-verkossa.	31
Kuva 5. Yhteyden testaus päätelaitteelta (PC3), <i>ping</i> -komennoilla, Dual-Stack-verkossa.	36
Kuva 6. Yhteyksien testausta päätelaitteilta (PC4 ja PC5), <i>ping</i> -komennoilla, Dual-Stack-verkossa.	37
Kuva 7. Laboratoriossa käytetyt laitteet.	44
Kuva 8. Reitittimien konfiguroinnit laboratoriossa (IPv6-verkko). Vasemman puoleinen konfigurointi on tehty HyperTerminal-yhteydellä ja oikean puoleinen PuTTY-ohjelmalla.	45
Kuva 9. Reitittimen R1 yhteyksien testaus laboratoriossa (IPv6-verkko).	46
Kuva 10. Reitittimen R1 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).	47
Kuva 11. Reitittimen R2 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).	48
Kuva 12. Päätelaitteen PC3 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).	49
Kuva 13. Päätelaitteen PC4 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).	50
Kuvio 1. IPv6-osoitteen muodostuminen.....	11

Kuvio 2. IPv6-osoite, jolla 64 bittinen verkko-osa, sekä 64 bittinen verkkokortin tunnistus.	12
Kuvio 3. IPv6-osoitetyypit.....	12
Kuvio 4. IPv6-Unicast -osoite.....	13
Kuvio 5. IPv6 Unicast osoitteet.	13
Kuvio 6. IPv6 multicast-osoitteen kentät.	14
Kuvio 7. IPv4- ja IPv6-otsikot.	16
Kuvio 8. Dual-Stack-verkko.....	19
Kuvio 9. IPv6-lähiverkko.	24
Kuvio 10. Dual-Stack-verkko.....	32
Kuvio 11. NAT-PT-verkko.	38
Kuvio 12. Pingaus IPv6-reitittimeltä IPv4-reitittimelle NAT-PT-verkossa.....	41
Kuvio 13. Pingaus IPv4-reitittimeltä IPv6-reitittimelle NAT-PT-verkossa.....	42
Kuvio 14. NAT-PT-osoitteenmuunnostaulukko.	43
Kuvio 15. Laboratoriossa käytetty kokoonpano ja kytkennät.	44
Taulukko 1. Käytetyt IPv6-osoitteet.....	25
Taulukko 2. Käytetyt IP-osoitteet Dual-Stack-verkossa.	33
Taulukko 3. Käytetyt IP-osoitteet NAT-PT-verkossa.	39

Käytetyt termit ja lyhenteet

CIDR	Classless Inter-Domain Routing. Luokaton reititys on menetelmä IP-osoitteiden jakamiseksi eri verkoille.
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol. Verkkoprotokolla, jonka yleisin tehtävä on jakaa IP-osoitteita uusille lähiverkkoon kytkeytyville laitteille.
IANA	Internet Assigned Numbers Authority. Organisaatio, joka valvoo maailmanlaajuisesti IP-osoitteiden jakamisesta.
IETF	The Internet Engineering Task Force. Internet-protokollien standardoinneista vastaava organisaatio.
IP	Internet Protocol. Verkkotason protokolla, jonka ansiosta internetiin kytkeytyneet laitteet voivat kommunikoida keskenään.
IPv4	Internet Protocol version 4. Nykyinen yleisesti käytössä oleva tietoliikennepakettien siirtotekniikka.
IPv6	Internet Protocol version 6. Uusi tuleva tietoliikennepakettien siirtotekniikka.
NAT	Network Address Translation. Osoitteenmuunnos on Internet-tekniikka, jossa julkisesti liikennöityjä IP-osoitteita piilotetaan tai säästetään.
RFC	Request for Comments. IETF-organisaation julkaisemia internetiä koskevia standardeja.

1 JOHDANTO

1.1 Työn tausta ja tavoite

IANA-organisaatio on jakanut internetin perustana olevat IPv4-osoitteet käyttäjille. Älypuhelimien ja mobiilidataliittymien käytön suuri kasvu on osaltaan vaikuttanut IPv4-osoitteiden loppumiseen. Teollisen internetin lisääntyessä tulevaisuudessa tarvitaan yhä enemmän internetosoitteita. Maailmalla ollaankin siirtymässä uusien IPv6-osoitteiden käyttöön.

Kansallinen IPv6-käyttöönottopäivä oli 9.6.2015. Suomessa operaattorit ovatkin jo ottaneet käyttöön IPv6-osoitteet muun muassa mobiililiittymissä. Siirtyminen täysin IPv6-protokollan käyttöön kestää kuitenkin vielä vuosia. Hitaan siirtymisen pääsyyksi on protokollien yhteensopimattomuus, jonka vuoksi vanhemmat laitteet ja sovellukset eivät tue IPv6-protokollaa.

IPv6-protokollan käyttö maailmassa kasvaa koko ajan, minkä vuoksi se on myös tärkeä aihe tietoverkkotekniikoiden opiskelussa. Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Seinäjoen Ammattikorkeakoulun lehtori Alpo Anttonen ja työn tavoitteena on tuottaa tietoverkkotekniikan laboratorioharjoituksia varten opetusmateriaalia.

Opinnäytetyön tavoitteena on rakentaa kolme erilaista verkkoa, joissa on käytössä IPv6-protokolla. Verkot suunnitellaan ja tehdään ensin virtuaalisesti Packet Tracer-ohjelmalla ja sen jälkeen oikeilla verkkolaitteilla koulun tietoliikennelaboratoriossa. Verkon toteutuksien työvaiheista on tarkoitus luoda selosteet ja mallikonfiguraatiot, jotka toimisivat jatkossa ohjeina opetuskäyttöä varten.

1.2 Työn rakenne

Opinnäytetyö koostuu teoreettisesta osuudesta, käytännön toteutuksen raportoinnista sekä loppuyhteenvedosta.

Luvussa kaksi käydään läpi IPv6-protokollan teoriaa osoitteen, osoitetyyppien ja pakettien sisällön osalta. Luvussa kolme on kerrottu reitityksestä. Luvussa neljä ja viisi

käydään läpi tämän opinnäytetyön osalta keskeiset IPv6-tekniikat, Dual-Stack ja NAT-PT. Luku kuusi on käytännön toteutusta. Luvussa käydään läpi vaihe vaiheelta Packet Tracer -ohjelmalla rakennetut ratkaisut. Luku seitsemän on toinen luku käytännön toteutukselle ja se sisältää raportoinnin laboratoriossa suoritetuista kokeiluista. Luku kahdeksan on yhteenveto opinnäytetyöstä ja sen onnistumisesta.

2 IPV6-PROTOKOLLA

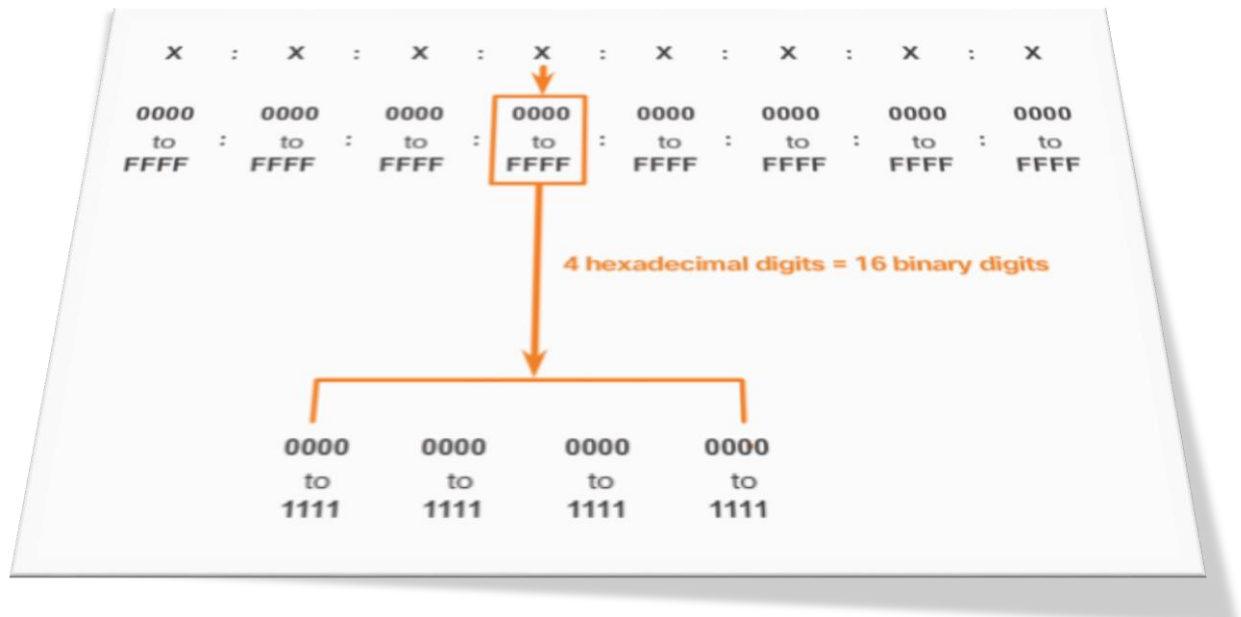
2.1 Yleistä

IPv6 on IP-protokollan versio numero 6. Se on kehitetty nykyisin käytössä olevan IPv4-protokollan seuraajaksi. IPv4-protokollan osoiteavaruus on nykytarpeisiin nähden pieni ja riittämätön. IANA-organisaatiolla ei ole enää uusia IPv4-osoitteita jaettavaksi. Jo vuosia sitten on todettu IPv4-osoitteiden riittämättömyys ja tämä onkin tärkein syy IPv6-protokollan kehittämiseksi. Siirtymistä IPv4-protokollasta IPv6-protokollaan on kuitenkin hidastanut dynaamisten osoitteiden käyttäminen (DHCP), käyttöönotetut IPv4-osoitteiden muunnostekniikat (NAT), reititystapojen uudistaminen (CIDR) sekä IP-osoitteiden jakamisen muuttaminen tehokkaammaksi. Näillä menetelmillä IPv4-protokollan elinkaarta on saatu pidennettyä vuosia. (Cisco Networking Academy 2016.)

2.2 IPv6-osoite

Tärkein uudistus IPv4-protokollasta IPv6-protokollaan on IP-osoitteen pituuden kasvaminen. Näin osoiteavaruutta voidaan käytännössä laajentaa äärettömästi. IPv6-protokollassa IP-osoitteen pituus on 128-bittiä. IPv6-osoitteita on yhteensä 2^{128} . Pyöristettynä tämä luku on 340,282,366,920,938,000,000,000,000,000,000,000,000,000. IPv6-osoiteavaruus on niin laaja, että ISO:n OSI-mallin kolmannen kerroksen eli verkkokerroksen protokollaa tuskin tarvitsee enää ikinä osoitteiden loppumisen vuoksi vaihtaa. (Cisco Networking Academy 2016.)

Tekstimuodossa esitettäessä IPv6-osoitteet jakautuvat kahdeksaan 16-bittiseen heksadesimaalisarjaan. Esimerkiksi 2001:0db8:85a3:08d3:1319:8a2e:0370:7334 on IPv6-osoite. Kuviossa 1 on esitetty IPv6-osoitteen muodostuminen. IPv6-osoitteessa jokainen kahdeksan kaksoispisteillä erotettua heksadesimaalisarjaa muodostuu 16-bitistä. Nämä 16-bittiä jaetaan neljän bitin ryhmiin. Toisin sanoen jokainen neljän bitin sarja muodostaa yhden heksadesimaaliarvon IPv6-osoitteessa. (Cisco Networking Academy 2016.)

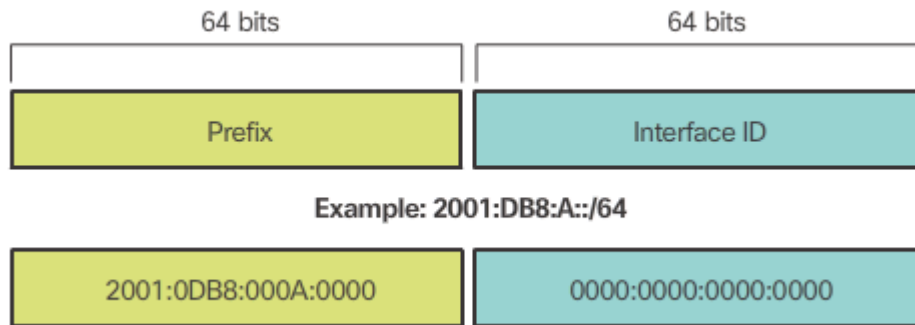


Kuvio 1. IPv6-osoitteen muodostuminen.
(Cisco Networking Academy 2016)

IPv6-osoitteet esitetään yleensä lyhennyksessä muodossa. Jokaisen kaksoispisteellä erotetun osan etunollat voidaan jättää pois. Myös pelkkiä nollia sisältävät peräkkäiset sarjat voidaan lyhentää kahdella peräkkäisellä kaksoispisteellä yhdessä kohtaa osoitetta. Eli kahta peräkkäistä kaksoispistettä saa osoitteessa käyttää vain kerran, koska muuten ei pystyittäisi määrittelemään, kuinka monta nollaa kuhunkin väliin tulisi. Esimerkiksi osoite 2001:0db8:0000:1111:0000:0000:0200 voidaan lyhentää muotoon 2001:db8:0:1111::200. (Cisco Networking Academy 2016.)

IPv6-osoitteessa aliverkon peite ilmoitetaan CIDR-muodossa. CIDR-muodossa verkko-osan bittien määrä eli prefix ilmoitetaan osoitteen perässä olevan kauttavii- van jälkeen, ipv6-osoite/verkko-osan bittien määrä. Esimerkkinä on IPv6-osoite 2001:110:0:1::/64, tässä 64 ensimmäistä bittiä sisältyvät verkko-osaan ja toiset 64 bittiä kuuluvat verkkokortin tunnisteesaan. IPv6-osoite on 128 bittinen ja verkko-osan pituus voi olla nolasta bitistä 128:aan. Tyypillisin verkko-osan pituus on 64 bittiä lähiverkoissa sekä suurimmassa osassa muita verkkotyyppisiä. (Cisco Networking Academy 2016.)

Verkkokortin tunnistetta (Interface ID) käytetään IPv6-osoitteissa tunnistamaan yksittäinen laite siinä paikallisessa verkossa, jonka yli laitteet kommunikoivat. Verkkokortin tunniste on aina 64 bittiä ja se muodostetaan dynaamisesti. Ethernet-tekniikassa tunniste muodostetaan EUI-64 prosessilla, jossa käytetään laitteen 48 bittistä MAC-osoitetta lisäämällä sen keskelle 16 lisäbittiä. Lisäbittien arvo on aina heksadesimaali FFFE. (Cisco Networking Academy 2016.)

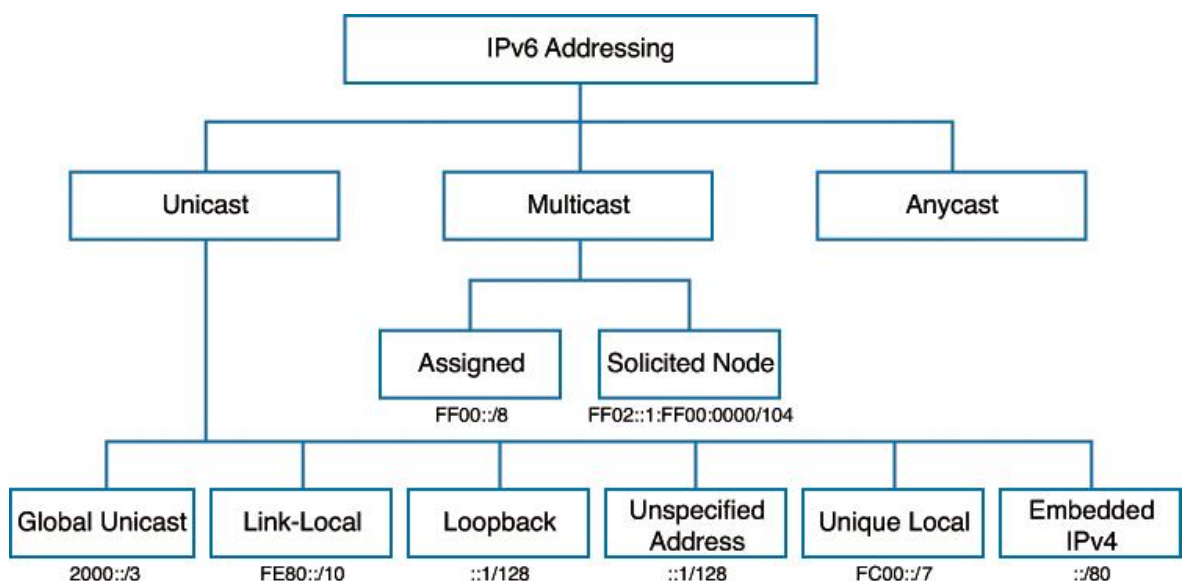


Kuvio 2. IPv6-osoite, jolla 64 bittinen verkko-osa, sekä 64 bittinen verkkokortin tunniste.

(Cisco Networking Academy 2016.)

2.3 IPv6-osoitetyypit

IPv6-osoitteita on kolmea tyyppiä, näitä ovat unicast, multicast sekä anycast. IPv4-protokollasta tuttu broadcast-tyyppi on jäänyt IPv6-protokollasta pois.



Kuvio 3. IPv6-osoitetyypit.

(Desmeules 2007, 61)

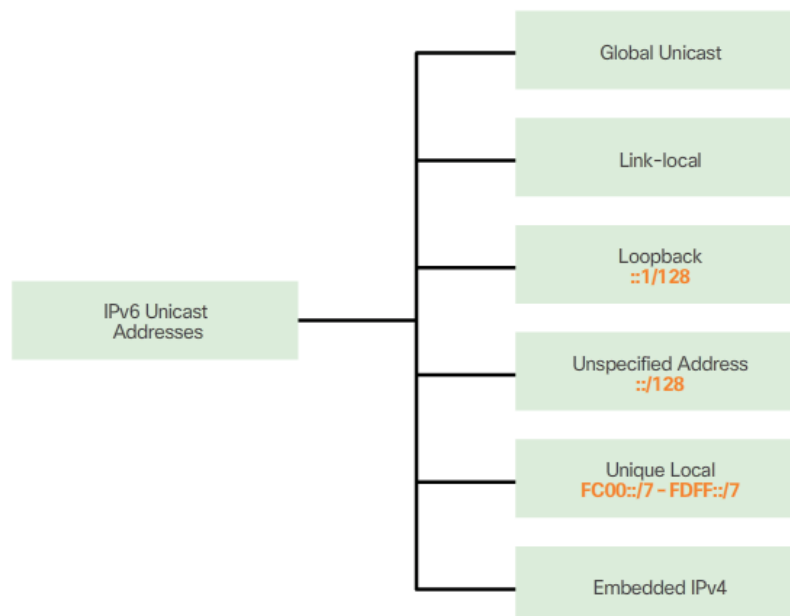
2.3.1 Unicast

Unicast-osoite on samankaltainen osoite kuin julkinen IPv4-osoite, eli ne ovat julkisessa verkossa reititettäviä ja tavoitettavissa olevia osoitteita. Tyypillisesti unicast-osoitteessa on kaksi osaa: 64-bittinen verkko-osa, joka sisältää reititys-prefixin ja aliverkon tunnusteen, sekä 64-bittinen laiteosa eli rajapinnan tunniste (kuvio 4). (Cisco Networking Academy 2016)



Kuvio 4. IPv6-Unicast -osoite.

Yleisin IPv6-Unicast-osoitetyyppi on global unicast address (GUA) eli globaali yksittäisosoite (Cisco Networking Academy 2016).



Kuvio 5. IPv6 Unicast osoitteet.
(Cisco Networking Academy 2016)

Global unicast on samankaltainen kuin julkinen IPv4-osoite. Globaalit unicast-osoitteet ovat uniikkeja, julkisessa IPv6-verkossa reititettäviä osoitteita. Ne voidaan konfiguroida staattisesti tai määrittää dynaamisesti. Link-local-osoitteita käytetään kommunikoinnissa toisten laitteiden kanssa samassa paikallisessa aliverkossa. Link-local-osoite on rajoitettu vain yhteen aliverkkoon, ja reitittimet eivät välitä paketteja, joissa on link-local-lähde tai -määränpääosoite. Link-local-osoitteen alku on aina muotoa FE:80. Loopback IPv6-osoite on 0:0:0:0:0:0:0:1/128 ja lyhennettynä ::1/128. Se on osoite, joka viittaa laitteeseen itseensä. Unique local address eli uniikki paikallinen osoite on myös yksilöllinen osoitetyyppi. Uniikit paikalliset osoitteet on tarkoitettu paikalliseen käyttöön eikä niitä pidä reitittää julkiseen verkkoon. Niitä voidaan käyttää laitteissa joilla ei ole yhteyttä toisiin verkkoihin. Uniikit paikalliset osoitteet ovat välillä FC00::/7... FFFF::/7. Embedded IPv4 address on IPv6-osoite, johon on sulautettu IPv4-osoite. (Cisco Networking Academy 2016.)

2.3.2 Multicast

Multicast-osoitetta käytetään lähettämään sama paketti yhteen tai useaan määränpäähän, mutta ei kuitenkaan kaikkiin verkon laitteisiin, niin kuin IPv4-protokollan broadcast-osoite. IPv6-multicast-osoitteet ovat FF-alkuisia osoitteita eli sen kahdeksan ensimmäistä bittiä (Format Prefix) ovat ykkösiä. Multicast-osoitetta ei voi käyttää lähdeosoitteena. FF02::1-osoite on multicast-ryhmä, johon kuuluvat kaikki laitteet, joilla on IPv6-protokolla käytössä. FF02::2 on multicast-ryhmä, johon kuuluvat kaikki reitittimet, joilla on IPv6-protokolla käytössä. Multicast-osoitteessa Format Prefix -kentän jälkeen tulee neljäbittinen lippukenttä, neljäbittinen laajuusaluekenttä sekä ryhmätunnuskenttä. (Microsoft TechNet 2005.)



Kuvio 6. IPv6 multicast-osoitteen kentät.
(Microsoft TechNet 2005)

Flags eli lippukenttä ilmaisee multicast-osoitteeseen asetetut liput. Liput ovat järjestyksessä: |0|R|P|T|. Ensimmäinen bitti on aina nolla. Jos T bitti on nolla, on osoite

IANA-organisaation jakama tunnettu multicast-osoite. Mikäli bitti on ykkönen, kyseessä on dynaaminen osoite. Mikäli P-bitti on yksi, on lähdeverkon kohdelähetysprefiksi liitetty ryhmälähetysryhmän osoitteeseen. (Hinden. Deering. 2006.)

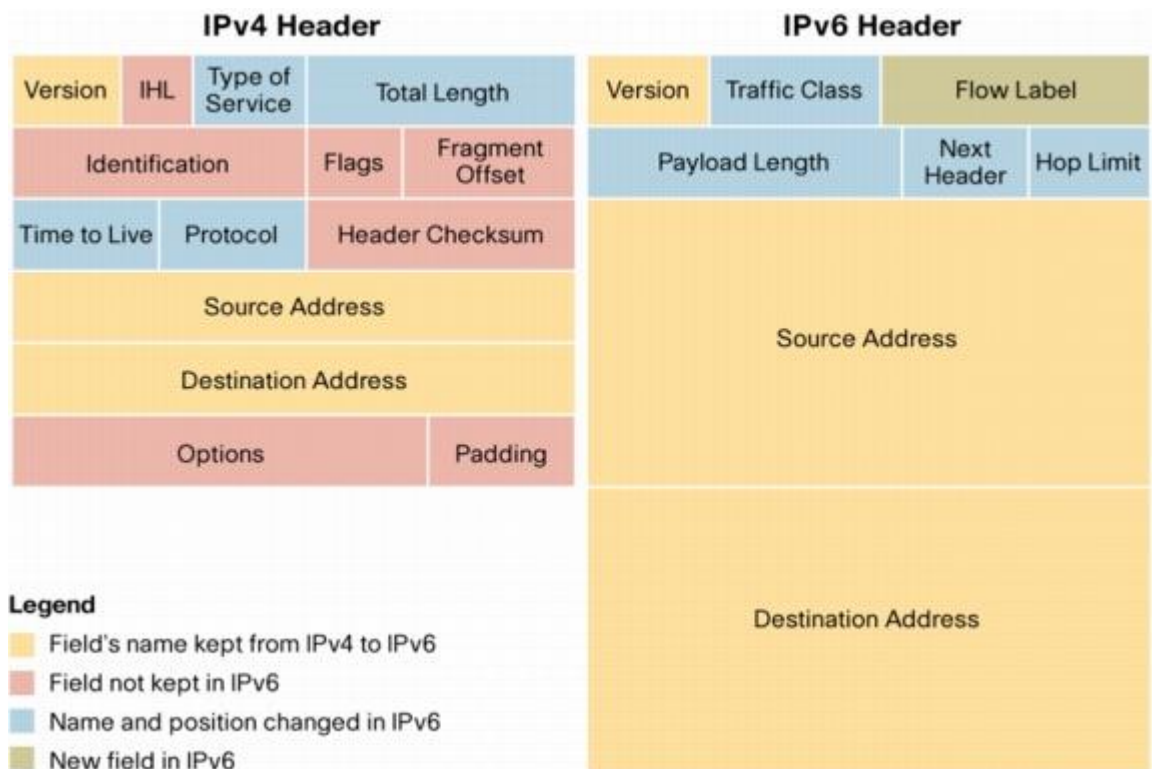
Scope eli laajuusaluekenttä määrittää multicast-lähetyksen laajuusalueen. RFC 2373 standardissa on määritelty laajuusalueeseen seuraavat vaihtoehdot: 1. Node-local, 2. Link-local, 3. Site-local, 4. Organization-local sekä E.Global. Group ID eli ryhmätunnus ilmaisee multicast-ryhmän, jonne paketti lähetetään. Solicited-node-multicast-osoite on kartoitettu, erityinen Ethernet multicast-osoite, jota käytetään selvittämään naapurilaitteiden siirtokerroksen osoite. (Hinden. Deering. 2006.)

2.3.3 Anycast

Anycast-osoiteryhmään kuuluu useita verkkopäätteitä. Anycast-osoitteella lähetettäessä paketti lähetetään vain johonkin yhteen ryhmän osoitteista. Kohdeosoitteena on aina lähin, lyhimmän reitityksen päässä oleva osoite. (Tutorialspoint 2016.)

2.4 IPv6-paketti

IPv6-paketti koostuu otsikkotiedoista ja data-osiosta. IPv6-paketin otsikon kenttien määrä on vähennetty IPv4:n neljästätoista kahdeksaan. Otsikon pituus on 40 tavua. Kuviossa 7 on esitelty IPv4- sekä IPv6-otsikon kentät.



Kuvio 7. IPv4- ja IPv6-otsikot.
(H3C Technologies Co 2016)

Kuviossa 7 esitetyn kuvion osien merkitykset ovat seuraavat:

- **Versio** kertoo protokollan version, joka on tietysti IPv6.
- **Luokkakenttä** ilmoittaa paketille halutun luokan sen tarvitseman palvelun perusteella.
- **Vuon tunniste** kertoo mihin datavuohon paketti kuuluu. Paketit erotellaan lipuilla, minkä avulla reitittimet voivat tunnistaa samoja lippuja käyttävät paketit ja käsitellä niitä niiden tason mukaan. Näin reitittimien ei tarvitse käydä läpi kaikkien pakettien otsikoita ja tämä nopeuttaa verkkoliikennettä.
- **Kuorman pituus** kertoo otsikon jälkeen tulevan datan pituuden.
- **Seuraava otsikko** kertoo mahdollisen seuraavan otsikon tunnisteen.

- **Hyppyjen määrä** kenttä ilmoittaa paketin elinajan. Se määrittelee, kuinka monen reitittimen läpi paketti voi kulkea ennen kuin se hylätään.
- **Lähde- ja määränpääosoitekentät** ilmoittavat 128-bittisen IPv6-osoitteen. (Tutorialspoint 2016.)

3 REITITYS

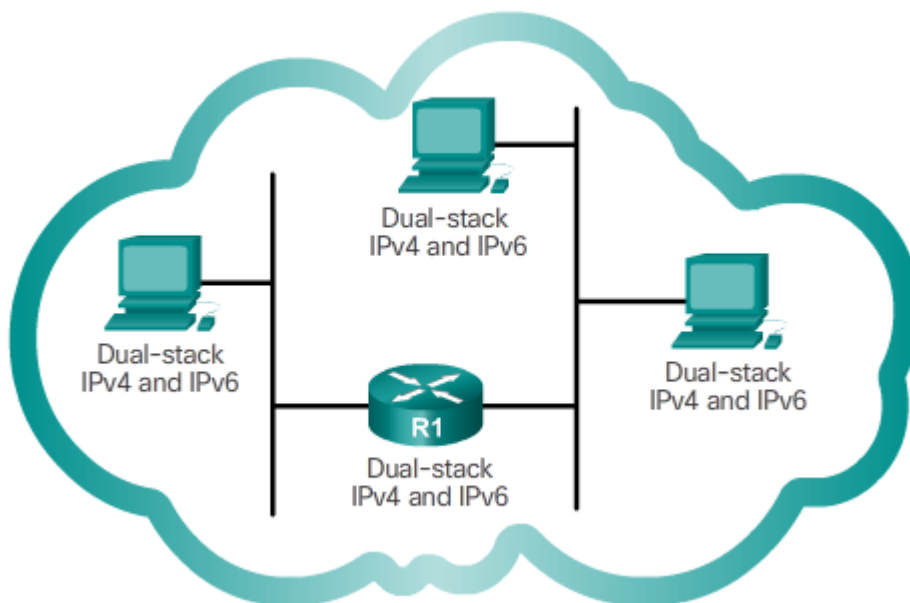
Reititys on verkkotason toiminto OSI-mallissa. Se on toiminto jonka avulla informaatio kulkee verkosta toiseen. Reitittimen toiminta perustuu reititystauluihin, josta se näkee, mihin saapunut paketti pitää lähettää. Reititystauluun on tallennettu lista reiteistä eri kohteisiin tietoverkossa. Reitittimeen voidaan lisätä myös staattisia reittejä, eli lisätä manuaalisesti osoitteita, joiden kautta reititys tapahtuu eri verkkoihin.

Reitityksessä voidaan käyttää myös reititysprotokollia. Reititysprotokollien avulla reitittimet osaavat huolehtia reititystaulusta automaattisesti informoimalla toisiaan omilla reititystiedoilla.

RIP. Routing Information Protocol on yleinen ja yksinkertainen sisäisten verkkojen reititysprotokolla. Reititin, jolla on käytössään RIP, lähettää tasaisin väliajoin UDP-paketteja muille reitittimille. UDP-paketin sisältönä ovat reitittimen omat reititystiedot. RIPng (myös RIPv6) on RIP-reititysprotokollan vastine IPv6-protokollassa. (Cisco Systems, Inc 2014.)

4 DUAL-STACK

Dual-Stack on käytetyin siirtymistapa IPv4-protokollasta IPv6-protokollaan. Dual-Stack on tekniikka, jossa verkon käytössä ovat molemmat IPv4- sekä IPv6-protokolla, eli verkossa voi olla laitteita, joilla on käytössä jompikumpi tai molemmat protokollat. Dual-Stack-reititin voi reitittää samanaikaisesti molempia protokollia. Kuviossa 8 on esitetty Dual-Stack-verkko. (Cisco Networking Academy 2016.)



Kuvio 8. Dual-Stack-verkko.
(Cisco Networking Academy 2016)

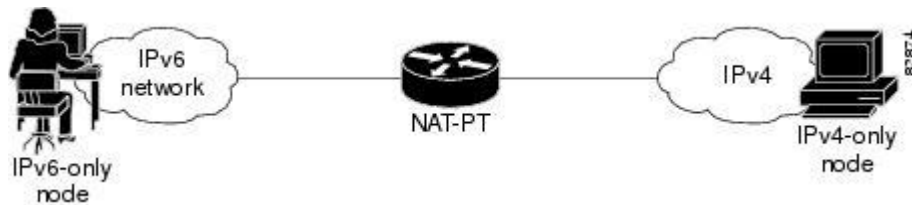
Dual-Stack-verkon etuna on, ettei siinä tarvita tunnelointimekanismeja, vaan molemmat protokollat IPv4 ja IPv6 toimivat itsenäisesti, erillään toisistaan. Dual-Stack tarjoaa mahdollisuuden asteittaiseen siirtymiseen IPv4-protokollasta IPv6-protokollaan verkkojen, sovellusten sekä laitteiden osalta. (Cisco Systems, Inc 2010.)

Dual-Stack ei ole pysyvänä ratkaisuna kovinkaan järkevä, sillä jokainen Dual-Stack -portti tarvitsee sekä IPv6- että IPv4-osoitteen. Tämä on ristiriidassa IPv6-protokollaan siirtymisen tarpeen tärkeimmän syyn, IPv4-osoitteiden riittämättömyyden kanssa.

5 NAT-PT

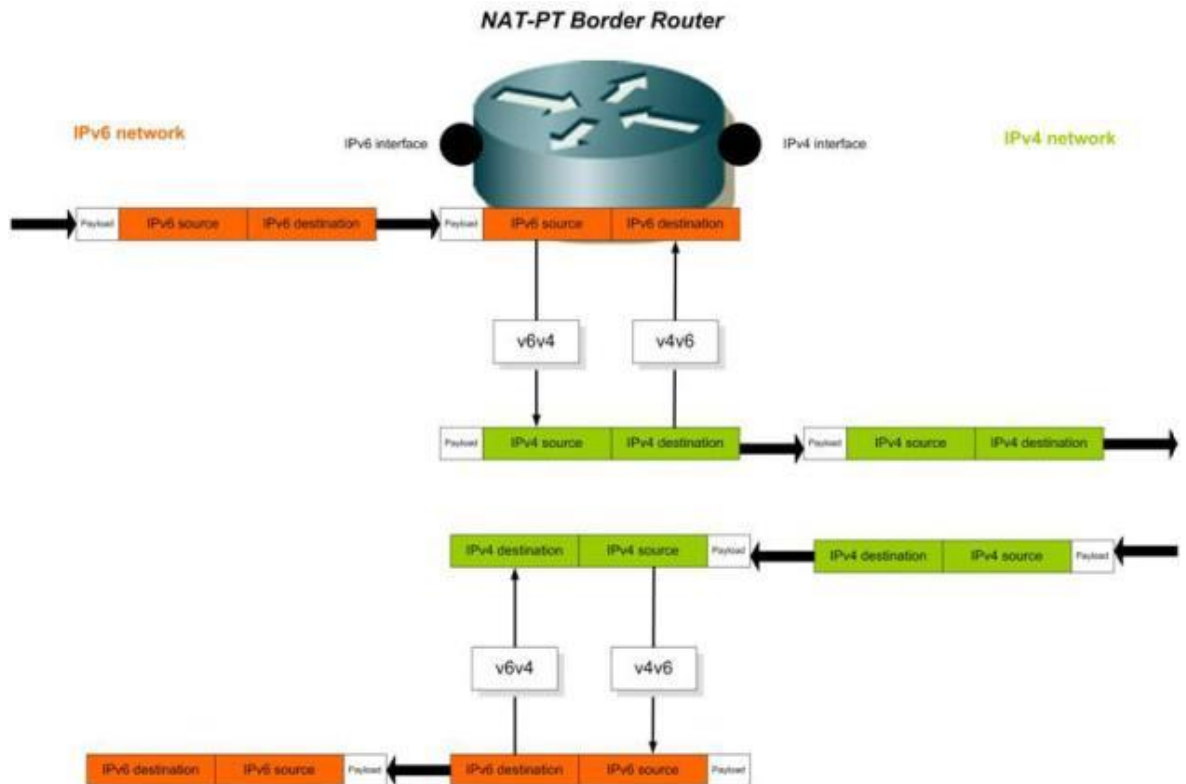
NAT-PT eli Network Address Translation – Protocol Translation on standardeissa RFC 2765 ja RFC2766 määritelty muunnosmekanismi IPv6:n ja IPv4:n välillä. NAT-PT mahdollistaa IPv6-laitteiden kommunikoinnin IPv4-laitteiden kanssa ja päinvastoin.

NAT-PT:n käyttö IPv6:n ja IPv4:n välissä mahdollistaa suoran kommunikoinnin päätelaitteiden, jotka käyttävät eri verkkoprotokollaa, välillä. Kuvassa 1 IPv6- ja IPv4-verkkojen väliin on konfiguroitu NAT-PT-reititin. (Cisco Systems, Inc 2016.)



Kuva 1. NAT-PT-esimerkki.
(Cisco Systems, Inc 2016)

NAT-PT muuntaa globaalit reititettävät IP-osoitteet yksityiseen muotoon. Se käyttää IP-osoitevarastoa, josta jaetaan osoitteita käännetyille IP-paketille. NAT-PT hoitaa myös IP-otsikoiden tulkkauksen sekä käännöstyön protokollasta toiseen, mitä kuva 2 havainnollistaa. (Dunmore 2005, 74.)



Kuva 2. NAT-PT-käännökset protokollasta toiseen.
(Ajnouri 2009.)

NAT-PT-tekniikkaa voidaan käyttää neljällä menetelmällä, joita ovat:

- staattinen NAT-PT
- dynaaminen NAT-PT
- PAT NAT-PT (Port Address Translation)
- IPv4 mapattu. (Cisco Systems, Inc 2016.)

NAT-PT-tekniikassa IPv6-rajapinta on yhteydessä tiettyjen, määriteltyjen IPv4-rajapintojen kanssa. Staattisessa menetelmässä NAT-PT-reitittimeen määritellään manuaalisesti, mihin IPv6-kohdeosoitteeseen pakettiin muunnetaan mihin IPv4-kohdeosoite. Manuaalisesti määritellään myös mihin IPv6-lähdeosoitteeseen pakettiin muunnetaan mihin IPv4-lähdeosoite. Dynaamisessa menetelmässä reitittimeen määritelty tietyn IPv6-prefixin alkuinen osoite saa IPv4-lähdeosoitteen muunnoksessa osoitteen ennalta määritellystä IPv4-osoitteiden poolista. Kohdeosoitteiden muunnos tehdään samalla tavalla, kuin staattisessakin menetelmässä. Porttiohjaustussa menetelmässä osoitteen muunnosmääritykset tehdään johonkin tiettyyn reitit-

timen porttiin. Mapatussa IPv4-menetelmässä IPv6-rajapinta voi olla yhteydessä mihin tahansa IPv4-laitteeseen. Tässä menetelmässä ei tarvitse määritellä kohdeosoitteen muunnosta protokollasta toiseen. (Cisco Systems, Inc 2016.)

6 PACKET TRACER -TOTEUTUKSET

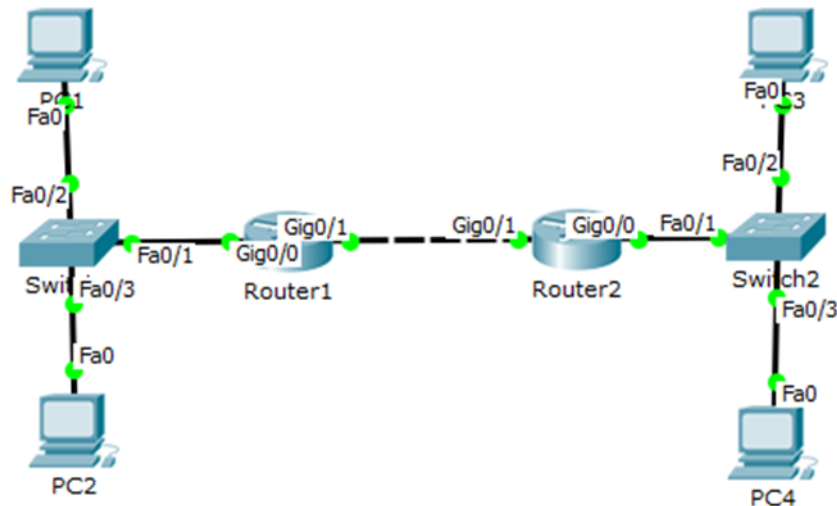
Tämän luvun alaluvuissa käydään läpi Packet Tracer -ohjelmalla toteutettujen verkkojen työvaiheet. Alaluvussa 6.1 käydään läpi IPv6-lähiverkon, luvussa 6.2 Dual-Stack-verkon ja luvussa 6.2 NAT-PT-verkon toteutus. Jokaisessa alaluvussa on aluksi esitelty toteutuksen kokoonpano, jossa selvitetään toteutuksessa käytetyt laitteet ja niiden kytkennät. Kokoonpanon jälkeen luvuissa on kerrottu, miten laitteiden asetukset on määritetty. Reitittimien asetusten komennoista on myös tehty täydelliset listaukset jokaiseen alalukuun. Lopuksi jokaisessa alaluvussa käydään läpi toteutetun verkon toimivuuden testaus. Tämän luvun sisällön tarkoitus on palvella myöhemmin opetuskäytössä tietoliikennetekniikoiden laboratorioharjoituksissa.

6.1 IPv6-lähiverkko

Ensimmäisenä toteutettiin kahden IPv6-lähiverkon 2000:1::/64 sekä 2000:2::/64 yhdistäminen toisiinsa kahden reitittimen läpi. Verkoissa oli ainoastaan IPv6-osoitteita käyttäviä verkkolaitteita. Toteutus tehtiin staattisesti sekä dynaamisesti. Staattisessa toteutuksessa reitittimille asetettiin manuaalisesti reititysreitti ja dynaamisessa toteutuksessa reititys asetettiin toimimaan RIPng-reititysprotokollalla.

6.1.1 Kokoonpano

IPv6-lähiverkko toteutettiin Packet Tracerissa kuvion 9 mukaisella kokoonpanolla.



Kuvio 9. IPv6-lähiverkko.

Kokoonpano rakennettiin kahdesta Ciscon 2901-reitittimestä (router1, router2), joissa on System Bootstrap -versio 15.1(4)M4. Reitittimet kytkettiin toisiinsa ristiin-kytketyillä parikaapeleilla GigabitEthernet 0/1 -porteista. Reitittimien GigabitEthernet 0/0 -porteista kytkettiin parikaapelit Ciscon 2950-kytkimiin (Switch1, Switch2). Kaapelit liitettiin molemmissa kytkimissä niiden FastEthernet 0/1 -portteihin. Kumpaankin kytkimeen liitettiin vielä FastEthernet 0/2- ja 0/3 -porteista parikaapelilla verkkopäätelaitteet (PC1, PC2, PC3 sekä PC4).

Taulukossa 1 on esitetty toteutuksessa käytetyt laitteet portteineen ja IPv6-osoitteineen.

Taulukko 1. Käytetyt IPv6-osoitteet.

Laite	Portti	IPv6 osoite
R1	GigabitEthernet0/0	2000:1::1/64
	GigabitEthernet0/1	2001::10/64
PC1	FastEthernet	2000:1::2/64
PC2	FastEthernet	2000:1::3/64
R2	GigabitEthernet0/0	2000:2::1/64
	GigabitEthernet0/1	2001::20/64
PC3	FastEthernet	2000:2::2/64
PC4	FastEthernet	2000:2::3/64

Verkon jokaiselle päätelaitteelle annettiin oma taulukon 1 mukainen IPv6-osoite, aliverkon prefiksin pituus sekä yhdyskäytävän IPv6-osoite.

6.1.2 Staattinen toteutus

Reitittimien (R1) konfigurointi tehtiin Ciscon CLI-käyttöliittymässä (Command Line Interface). *IPv6 unicast-routing* -komennolla asetettiin reititin IPv6-verkkoliikennettä välittävään tilaan. Seuraavaksi siirryttiin *interface gigabitethernet 0/0* -komennolla asettamaan kytkimelle menevän portin asetukset. Porttiin asetettiin oma IPv6-osoite komennolla *ipv6 address 2000:1::1/64* sekä *ipv6 enable* -komennolla portti asetettiin ipv6-toimivaksi. *No shutdown* -komennolla portin tila asetettiin aktiiviseksi. *Exit*-komennon jälkeen siirryttiin *interface gigabitethernet 0/1* -komennolla konfiguroimaan toiselle reitittimelle menevää porttia, johon tehtiin vastaavat toimenpiteet kuin edellisessäkin porttiin. Lopuksi reitittimeen asetettiin reititysreitti, eli reitittimelle R1 kytkeytyn verkon ohjaaminen reitittimelle numero kaksi. Tämä tehtiin komennolla *ipv6 route 2000:2::/64 2001::20*.

Reititin numero kaksi konfiguroitiin vastaavilla komennoilla kuin reititin numero yksi käyttäen vain eri osoitteita komennoissa.

Seuraavassa on esitetty reitittimien komentojen täydellinen syntaksi.

Reititin 1:

Router1>enable

Router1#configure terminal

Router1(config)#ipv6 unicast-routing

Router1(config)#interface gigabitethernet0/0

Router1(config-if)#ipv6 enable

Router1(config-if)#ipv6 address 2000:1::1/64

Router1(config-if)#no shutdown

Router1(config-if)#exit

Router1(config)#interface gigabitethernet0/1

Router1(config-if)#ipv6 enable

Router1(config-if)#ipv6 address 2001::10/64

Router1(config-if)#no shutdown

Router1(config-if)#exit

Router1(config)#ipv6 route 2000:2::/64 2001::20

Router1(config)#exit

Router1#write

Reititin 2:

Router2>enable

Router2#configure terminal

```
Router2(config)#ipv6 unicast-routing

Router2(config)#interface gigabitethernet0/0

Router2(config-if)#ipv6 enable

Router2(config-if)#ipv6 address 2000:2::1/64

Router2(config-if)#no shutdown

Router2(config-if)#exit

Router2(config)#interface gigabitethernet0/1

Router2(config-if)#ipv6 enable

Router2(config-if)#ipv6 address 2001::20/64

Router2(config-if)#no shutdown

Router2(config-if)#exit

Router2(config)#ipv6 route 2000:2::/64 2001::20

Router2(config)#exit

Router2#write
```

6.1.3 Dynaaminen toteutus

Reitittimien konfigurointi tehtiin Ciscon CLI-käyttöliittymässä (Command Line Interface). *IPv6 unicast-routing* -komennolla asetettiin taas reititin IPv6-verkkoliikennettä välittävään tilaan. *Interface gigabitethernet 0/0* -komennolla asetettiin kytkimelle menevän portin asetukset. IPv6-osoite asetettiin komennolla *ipv6 address 2000:1::1/64* sekä *ipv6 enable* -komennolla asetettiin portti IPv6-toimivaksi. *Ipv6 rip labra enable* -komennolla porttiin asetettiin RIP-reititysprotokolla päälle. Samalla luotiin labra-niminen RIP-prosessi. *No shutdown* -komennolla portin tila asetettiin aktiiviseksi. GigabitEthernet 0/1 -porttiin tehtiin vastaavat toimenpiteet, mutta eri osoitteilla kuin GigabitEthernet 0/0 -porttiin.

Reititin numero kaksi konfiguroitiin vastaavilla komennoilla kuin reititin numero yksi-kin käyttäen vain eri osoitteita komennoissa.

Seuraavassa on esitetty reitittimien komentojen täydellinen syntaksi.

Reititin 1:

```
Router1>enable
```

```
Router1#configure terminal
```

```
Router1(config)#ipv6 unicast-routing
```

```
Router1(config)#interface gigabitethernet0/0
```

```
Router1(config-if)#ipv6 enable
```

```
Router1(config-if)#ipv6 address 2000:1::1/64
```

```
Router1(config-if)#ipv6 rip labra enable
```

```
Router1(config-if)#no shutdown
```

```
Router1(config-if)#exit
```

```
Router1(config)#interface gigabitethernet0/1
```

```
Router1(config-if)#ipv6 enable
```

```
Router1(config-if)#ipv6 address 2001::10/64
```

```
Router1(config-if)#ipv6 rip labra enable
```

```
Router1(config-if)#no shutdown
```

```
Router1(config-if)#end
```

```
Router1#write
```

Reititin 2:

Router2>enable

Router2#configure terminal

Router2(config)#ipv6 unicast-routing

Router2(config)#interface gigabitethernet0/0

Router2(config-if)#ipv6 enable

Router2(config-if)#ipv6 address 2000:2::1/64

Router1(config-if)#ipv6 rip labra enable

Router2(config-if)#no shutdown

Router2(config-if)#exit

Router2(config)#interface gigabitethernet0/1

Router2(config-if)#ipv6 enable

Router2(config-if)#ipv6 address 2001::20/64

Router1(config-if)#ipv6 rip labra enable

Router2(config-if)#no shutdown

Router2(config-if)#end

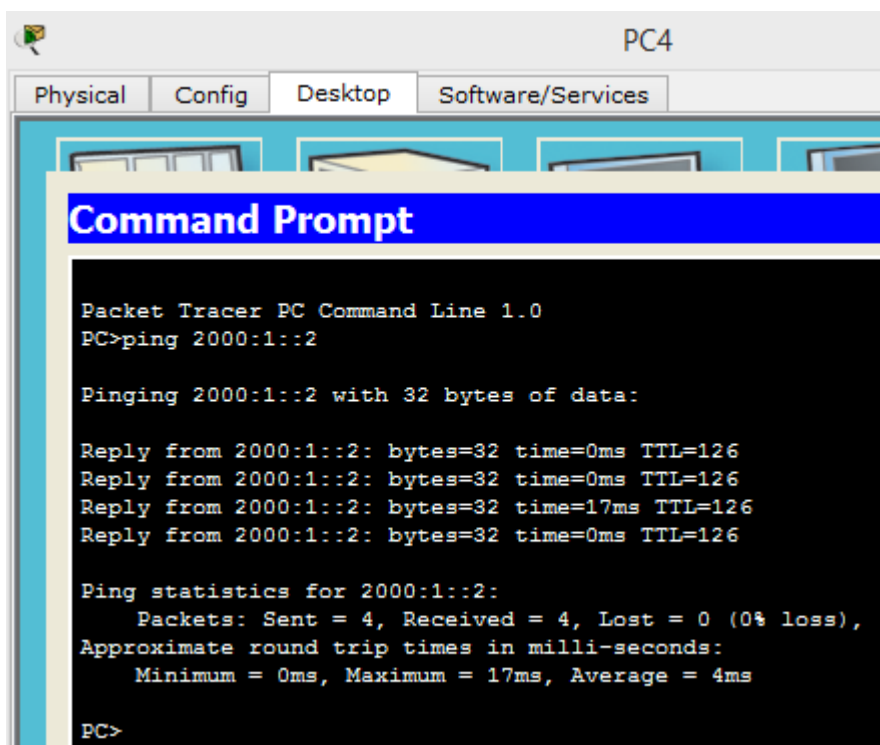
Router2#write

6.1.4 Verkon testaus

Helppo tapa testata verkon toimivuutta on käyttää ping-komentoa. Pingaamalla jokaiselta verkkoon kytketyltä päätelaitteelta muita päätelaitteita saadaan selville toimivatko kaikki yhteydet verkossa.

Molemmat toteutukset, sekä staattinen että dynaaminen, testattiin samalla tavalla ja tulokset olivat identtiset.

Verkojen toimivuus testattiin käyttämällä *ping*-komentoa päätelaitteen PC4 Command Promptissa. Päätelaitteelta pingattiin päätelaitteen PC1 IPv6-osoitetta, mikä näkyy kuvassa 3.



```
PC4
Physical Config Desktop Software/Services
Command Prompt
Packet Tracer PC Command Line 1.0
PC>ping 2000:1::2

Pinging 2000:1::2 with 32 bytes of data:

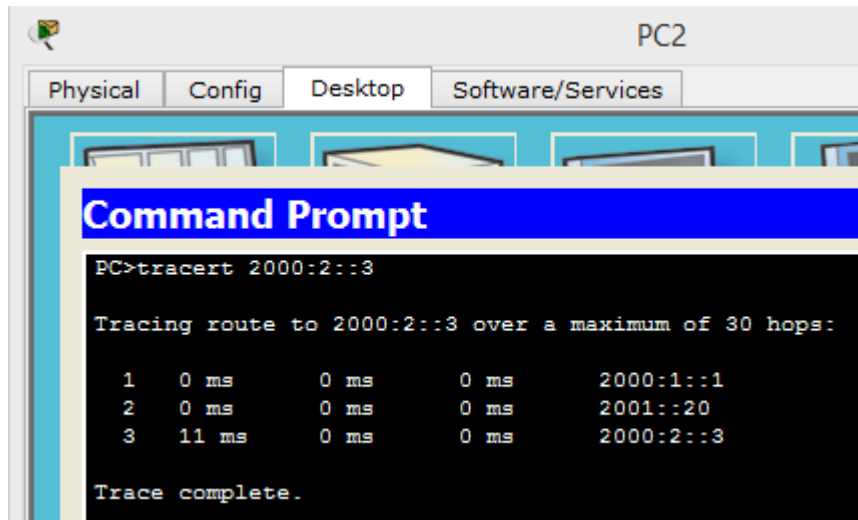
Reply from 2000:1::2: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 2000:1::2: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 2000:1::2: bytes=32 time=17ms TTL=126
Reply from 2000:1::2: bytes=32 time=0ms TTL=126

Ping statistics for 2000:1::2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 17ms, Average = 4ms

PC>
```

Kuva 3. Yhteyden testaus *ping*-komennolla IPv6-verkossa.

Yhteyttä testattiin vielä *tracert*-komennolla päätelaitteen PC2 Command Promptissa. Tracert-komento näyttää reititysreitin määrättyyn määränpääosoitteeseen. Kuvassa 4 näkyy reititysreitti päätelaitteelta PC2 päätelaitteelle PC3.



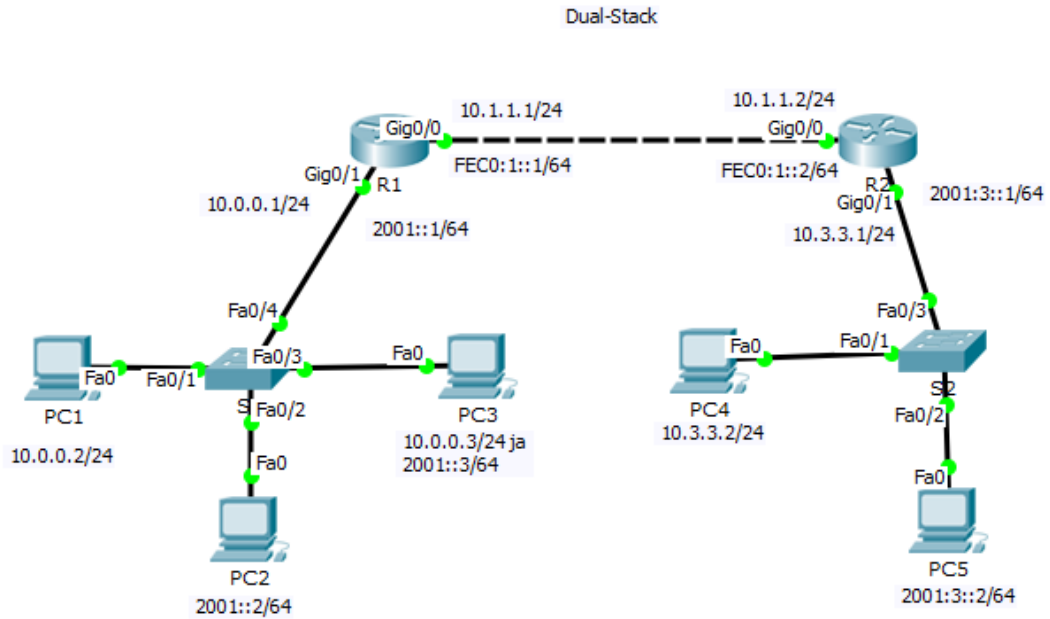
Kuva 4. Yhteyden testaus *tracert*-komennolla IPv6-verkossa.

6.2 Dual-Stack

Myös Dual-Stackissa verkot yhdistettiin kahdella reitittimellä. Reitittimien porteille konfiguroitiin molempien internetprotokollien (IPv4 ja IPv6) osoitteet. Reitittimien reititys määriteltiin toimimaan RIP- ja RIPng-reititysprotokollilla.

6.2.1 Kokoonpano ja toteutus

Dual-Stack-verkko toteutettiin Packet Tracerissa kuvion 10 mukaisella kokoonpanolla.



Kuvio 10. Dual-Stack-verkko.

Kokoonpano rakennettiin kahdesta Cisco 2911-reitittimestä (R1, R2), joissa on System Bootstrap versio 15.1(4)M4. Reitittimet kytkettiin toisiinsa ristiinkytketyillä parikaapeleilla GigabitEthernet 0/0 -porteista. Reitittimien GigabitEthernet 0/1 -portteihin liitettiin Cisco 2960 -sarjan kytkimet (S1 ja S2). Reitittimeltä tulevat kaapelit kytkettiin kytkimien vapaina oleviin FastEthernet-portteihin. Kytkimeen S1 vapaisiin FastEthernet-portteihin kytkettiin kolme verkkopäätelaitetta (PC1, PC2 sekä PC3) ja kytkimen S2 vapaisiin portteihin kaksi verkkopäätelaitetta (PC4 ja PC5). PC1 ja PC4 käyttävät IPv4-protokollaa ja PC2 ja PC5 IPv6-protokollaa. Verkkopäätelaitteella PC3 on käytössä molemmat protokollat.

Taulukossa 2 on esitetty toteutuksessa käytetyt laitteet portteineen ja IP-osoitteineen.

Taulukko 2. Käytetyt IP-osoitteet Dual-Stack-verkossa.

Laite	Portti	IP -osoite
R1	GigabitEthernet 0/0	10.1.1.1/24
		FEC0:1::1/64
	GigabitEthernet 0/1	10.0.0.1/24
		2001::1/64
PC1	FastEthernet 0	10.0.0.2/24
PC2	FastEthernet 0	2001::2/64
PC3	FastEthernet 0	10.0.0.3/24
		2001::3/64
R2	GigabitEthernet 0/0	10.1.1.2/24
		FEC0:1::2/64
	GigabitEthernet 0/1	10.3.3.1/24
		2001:3::1/64
PC4	FastEthernet 0	10.3.3.2/24
PC5	FastEthernet 0	2001:3::2/64

Jokaiselle verkkopäätelaitteelle (PC1,PC2,PC3,PC4 sekä PC5) annettiin taulukon 2 mukaiset IP-osoitteet, aliverkon maski sekä oletusyhdyskäytävä.

Reitittimen R1 konfigurointi aloitettiin siirtymällä konfiguraatio-tilaan (Configuration mode), jossa *IPv6 unicast-routing* -komennolla asetettiin reititin IPv6-verkkoliikennettä välittävään tilaan. Seuraavaksi siirryttiin *interface gigabitethernet 0/0* -komennolla asettamaan reitittimelle R2 menevän portin asetukset. Koska reitittimien täytyy välittää molempia IPv4- sekä IPv6-protokollan verkkoliikennettä, annettiin reitittimen portille molempien protokollien osoitteet. Nämä annettiin *ip address*- sekä *ipv6 address* -komentoilla. Portin IPv6-reititys otettiin käyttöön *ipv6 rip labra enable* -komennolla, jolla asetettiin RIPng-reititysprotokolla päälle. Samalla tässäkin luotiin labra-niminen RIP-prosessi. *No shutdown* -komennolla portin tila asetettiin aktiiviseksi. GigabitEthernet 0/1 -porttiin tehtiin vastaavat toimenpiteet, mutta eri osoitteilla kuin GigabitEthernet 0/0 -porttiin. Kun tarvittavat reitittimen portit oli konfiguroitu, täytyi vielä asettaa IPv4-liikenteelle RIP-reititys. Komennolla *router rip* päästiin RIP-protokollan konfigurointitilaan. *Network*-komennolla määriteltiin verkko, jossa informaatio kulkee.

Seuraavassa on esitetty reitittimien komentojen täydellinen syntaksi.

Reititin 1:

R1>enable

R1#configure terminal

R1(config)#ipv6 unicast-routing

R1(config)#interface gigabitethernet0/0

R1(config-if)#ip address 10.1.1.1 255.255.255.0

R1(config-if)#ipv6 address FEC0:1::1/64

R1(config-if)# ipv6 rip labra enable

R1(config-if)#no shutdown

R1(config-if)#exit

R1(config)#interface gigabitethernet0/1

R1(config-if)#ip address 10.0.0.1 255.255.255.0

R1(config-if)#ipv6 address 2001::1/64

R1(config-if)#ipv6 rip labra enable

R1(config-if)#no shutdown

R1(config-if)#exit

R1(config)#router rip

R1(config-router)#network 10.0.0.0

R1(config)#end

R1#write

Reititin 2:

R2>enable

R2#configure terminal

R2(config)#ipv6 unicast-routing

R2(config)#interface gigabitethernet0/0

R2(config-if)#ip address 10.1.1.2 255.255.255.0

R2(config-if)#ipv6 address FEC0:1::2/64

R2(config-if)# ipv6 rip labra enable

R2(config-if)#no shutdown

R2(config-if)#exit

R2(config)#interface gigabitethernet0/1

R2(config-if)#ip address 10.3.3.1 255.255.255.0

R2(config-if)#ipv6 address 2001:3::1/64

R2(config-if)#ipv6 rip labra enable

R2(config-if)#no shutdown

R2(config-if)#exit

R2(config)#router rip

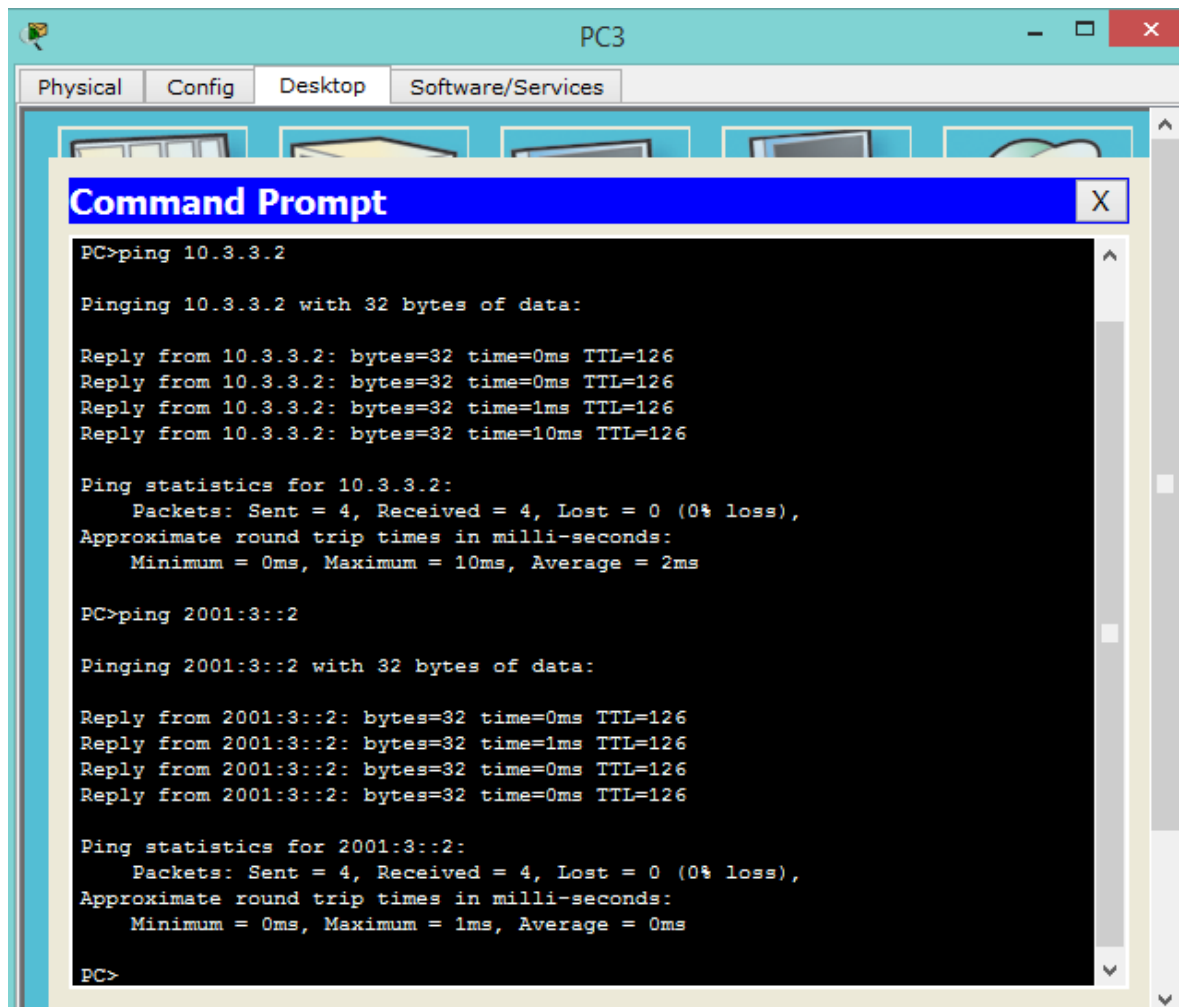
R2(config-router)#network 10.0.0.0

R2(config)#end

R2#write

6.2.2 Verkon testaus

Tässä tapauksessa verkon toimivuus testattiin *ping*-komennoilla. Aluksi tehtiin toteutuksen ainoalta dual-stack-päätelaitteelta (PC3) pingaus reitittimien yli laitteille PC4 ja PC5. Tapahtuma on esitetty kuvassa 5.



```
PC3
Physical Config Desktop Software/Services

Command Prompt
PC>ping 10.3.3.2

Pinging 10.3.3.2 with 32 bytes of data:

Reply from 10.3.3.2: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 10.3.3.2: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 10.3.3.2: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 10.3.3.2: bytes=32 time=10ms TTL=126

Ping statistics for 10.3.3.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 10ms, Average = 2ms

PC>ping 2001:3::2

Pinging 2001:3::2 with 32 bytes of data:

Reply from 2001:3::2: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 2001:3::2: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 2001:3::2: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 2001:3::2: bytes=32 time=0ms TTL=126

Ping statistics for 2001:3::2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

PC>
```

Kuva 5. Yhteyden testaus päätelaitteelta (PC3), *ping*-komennoilla, Dual-Stack-verkossa.

Yhteyttä testattiin myös pingaamalla dual-stack laitetta PC3 laitteelta PC4, joka on IPv4-protokollaa käyttävä laite, sekä laitteelta PC5, joka on IPv6-protokollaa käyttävä laite. Kuvassa 6 on esitetty molemmat pingaukset.

```

PC4
-----
Command Prompt
Packet Tracer PC Command Line 1.0
PC>ping 10.0.0.3

Pinging 10.0.0.3 with 32 bytes of data:

Reply from 10.0.0.3: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 10.0.0.3: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 10.0.0.3: bytes=32 time=0ms TTL=126
Reply from 10.0.0.3: bytes=32 time=1ms TTL=126

Ping statistics for 10.0.0.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms

PC>ping 2001::3

Pinging 2001::3 with 32 bytes of data:

Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.

Ping statistics for 2001::3:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),
PC>

PC5
-----
Command Prompt
Packet Tracer PC Command Line 1.0
PC>ping 2001::3

Pinging 2001::3 with 32 bytes of data:

Reply from 2001::3: bytes=32 time=1ms TTL=126
Reply from 2001::3: bytes=32 time=10ms TTL=126
Reply from 2001::3: bytes=32 time=10ms TTL=126
Reply from 2001::3: bytes=32 time=0ms TTL=126

Ping statistics for 2001::3:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 10ms, Average = 5ms

PC>ping 10.0.0.3

Pinging 10.0.0.3 with 32 bytes of data:

Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.

Ping statistics for 10.0.0.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),
PC>

```

Kuva 6. Yhteyksien testausta päätelaitteilta (PC4 ja PC5), *ping*-komennoilla, Dual-Stack-verkossa.

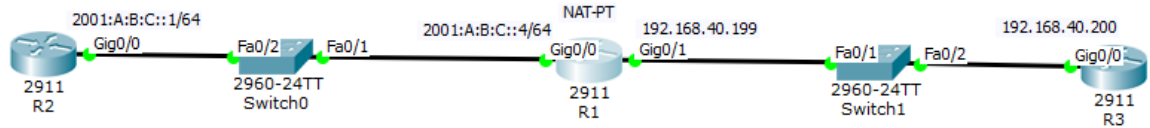
Kuten kuvasta 6 huomataan, yhteys ei toiminut IPv4-protokollan osoitteesta IPv6-protokollan osoitteelle ja päinvastoin. Yhteys kuitenkin toimi pingattaessa dual-stack laitteen sen IPv-protokollan osoitetta, mitä käytetty laitekin käytti. Eli jos laitteella oli käytössään IPv6-osoite, toimi yhteys dual-stack-laitteeseen IPv6-protokollan kautta.

6.3 NAT-PT

Tässä toteutuksessa valittiin käytettäväksi staattista NAT-PT-tekniikkaa. NAT-PT-toteutus tehtiin kolmella reitittimellä, joista yksi reititin toimi IPv6-protokollaa käyttävänä ja yksi IPv4-protokollaa käyttävänä reitittimenä, sekä näiden kahden väliin kytkettiin NAT-PT-reititin.

6.3.1 Kokoonpano ja toteutus

Kokoonpano rakennettiin kolmesta Ciscon 2911-reitittimestä (R1, R2, R3), joissa on System Bootstrap versio 15.1(4)M4. Reitittimien väliin asetettiin Ciscon 2960-24TT -kytkimet. Reitittimet ja kytkimet kytkettiin toisiinsa parikaapeleilla kuvion 11 mukaisella tavalla.



Kuvio 11. NAT-PT-verkko.

Reitittimen (R1) konfigurointi aloitettiin siirtymällä konfiguraatiotilaan, jossa *IPv6 unicast-routing* -komennolla asetettiin reititin IPv6-verkkoliikennettä välittävään tilaan. Seuraavaksi siirryttiin tekemään *interface gigabitethernet 0/0* -komennolla asetukset IPv6-rajapintaan kytkettyyn porttiin. Ensin portille annettiin taulukon 3 mukainen IPv6-osoite. Seuraavaksi portissa otettiin käyttöön NAT-PT, komennolla *ipv6 nat*. Portti kytkettiin vielä aktiiviseksi jonka jälkeen siirryttiin konfiguroimaan IPv4 rajapintaan kytkettyä porttia. Portille annettiin IPv4 osoite ja portissa otettiin myös NAT-PT käyttöön. Portti konfigurointien jälkeen tehtiin NAT-PT-asetukset reitittimelle. Komennolla *ipv6 nat v4v6 source 192.168.40.200 2001::C0A8:28C8* asetettiin reititin muuntamaan kaikkien tulevien IPv6-pakettien, joiden määränpääosoite on IPv6-osoite 2001::C0A8:28C8, IPv4-osoitteeksi 192.168.40.200. Komennolla *ipv6 nat v6v4 source 2001:A:B:C::1 192.168.40.1* asetettiin puolestaan reititin muuntamaan kaikkien tulevien IPv6-pakettien, joiden lähdeosoite on IPv6-osoite 2001:A:B:C::1, IPv4-osoitteeksi 192.168.40.1. Komennolla *ipv6 nat prefix 2001::/96* määriteltiin reititin tarkistamaan saapuvan paketin määränpää IPv6-osoite. Jos osoitteen prefix täsmää annetun prefixin kanssa, reitin tekee NAT-PT-osoitteen käännöksen IPv6-muodosta IPv4-muotoon.

Reitittimen kaksi (R2) kytkettyyn porttiin asetettiin taulukon 3 mukainen IPv6-osoite, sekä reitittimeen määriteltiin IPv6-reititysreitti NAT-PT-reitittimelle. Reitittimen kolme (R3) kytkettyyn porttiin asetettiin IPv4-osoite ja reitittimelle määriteltiin IPv4-reititysreitti NAT-PT-reitittimelle.

Taulukko 3. Käytetyt IP-osoitteet NAT-PT-verkossa.

Laite	Portti	IP -osoite
R1 (NAT-PT)	GigabitEthernet 0/0	2001:A:B:C::4/64
	GigabitEthernet 0/1	192.168.40.199/24
R2 (IPv6)	GigabitEthernet 0/0	2001:A:B:C::1/64
R3 (IPv4)	GigabitEthernet 0/0	192.168.40.200

Seuraavassa on esitetty reitittimien täydellinen syntaksi.

Reititin 1:

```
NAT-PT>enable
```

```
NAT-PT#configure terminal
```

```
NAT-PT(config)#ipv6 unicast-routing
```

```
NAT-PT(config)#interface gigabitethernet0/0
```

```
NAT-PT(config-if)#no ip address
```

```
NAT-PT(config-if)#ipv6 address 2001:A:B:C::4/64
```

```
NAT-PT(config-if)# ipv6 nat
```

```
NAT-PT(config-if)#no shutdown
```

```
NAT-PT(config-if)#exit
```

```
NAT-PT(config)#interface gigabitethernet0/1
```

```
NAT-PT(config-if)#ip address 192.168.40.199 255.255.255.0
```

```
NAT-PT(config-if)#ipv6 nat
```

```
NAT-PT(config-if)#no shutdown
```

```
NAT-PT(config-if)#exit
```

```
NAT-PT(config)#ipv6 nat v4v6 source 192.168.40.200 2001::C0A8:28C8
```



```
NAT-PT(config)#ipv6 nat v6v4 source 2001:A:B:C::1 192.168.40.1
```

```
NAT-PT(config)#ipv6 nat prefix 2001::/96
```

```
NAT-PT(config)#end
```

```
NAT-PT#write
```

Reititin 2:

```
IPv6>enable
```

```
IPv6#configure terminal
```

```
IPv6(config)#ipv6 unicast-routing
```

```
IPv6(config)#interface gigabitethernet0/0
```

```
IPv6(config-if)#no ip address
```

```
IPv6(config-if)#ipv6 address 2001:A:B:C::1/64
```

```
IPv6(config-if)#no shutdown
```

```
IPv6(config-if)#exit
```

```
IPv6(config)#ipv6 route ::/0 2001:A:B:C::4/64
```

```
IPv6(config)#end
```

```
IPv6#write
```

Reititin 3:

```
IPv4>enable
```

```
IPv4#configure terminal
```

```
IPv4(config)#interface gigabitethernet0/0
```

```
IPv4(config-if)#ip address 192.168.40.200 255.255.255.0
```

```
IPv4(config-if)#no shutdown
```

```
IPv4(config-if)#exit
```

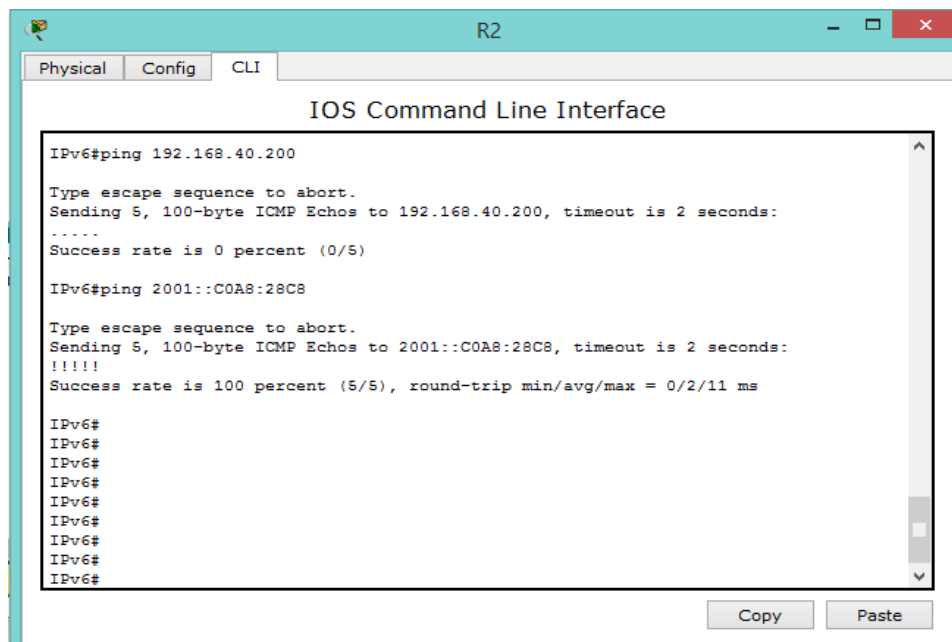
```
IPv4(config)#ip route 0.0.0.0 0.0.0.0 192.168.40.199
```

```
IPv4(config)#end
```

```
IPv4#write
```

6.3.2 Verkon testaus

Verkon toiminta testattiin pingaamalla ensin IPv6-reitittimeltä IPv4-reitittimelle. Ensin pingattiin IPv6-osoitteeseen, joka määriteltiin NAT-PT-reitittimen nat-asetuksissa korvaamaan IPv4-reitittimen IPv4-osoite IPv6-protokollan reitityksissä. Pingaus on esitettyä kuviossa 12.



```
R2
Physical Config CLI
IOS Command Line Interface

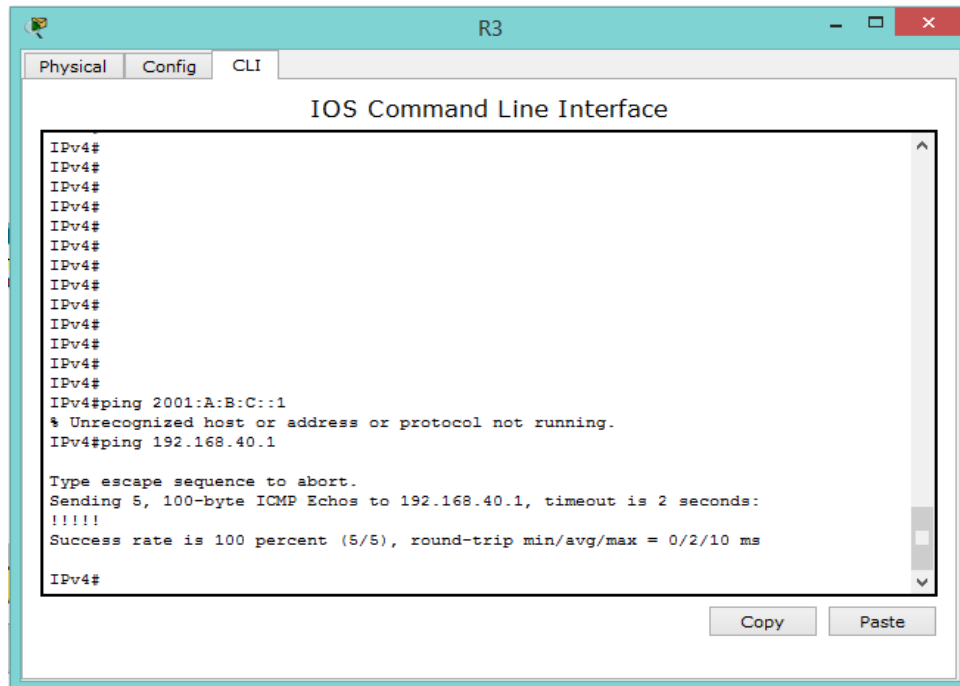
IPv6#ping 192.168.40.200
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.40.200, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)

IPv6#ping 2001::COA8:28C8
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001::COA8:28C8, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/2/11 ms

IPv6#
IPv6#
IPv6#
IPv6#
IPv6#
IPv6#
IPv6#
IPv6#
IPv6#
```

Kuvio 12. Pingaus IPv6-reitittimeltä IPv4-reitittimelle NAT-PT-verkossa.

Yhteyden toimiminen testattiin vielä verkon toisesta päästä eli IPv4-reitittimeltä pingattiin IPv6-reititintä. Pingaus onnistui, kun pingattiin NAT-PT-reitittimen nat-asetuksiin määriteltyä IPv4-osoitetta, joka korvaa IPv6-osoitteen IPv4-protokollan yhteyksissä. Pingaus on esitettyä kuviossa 13.

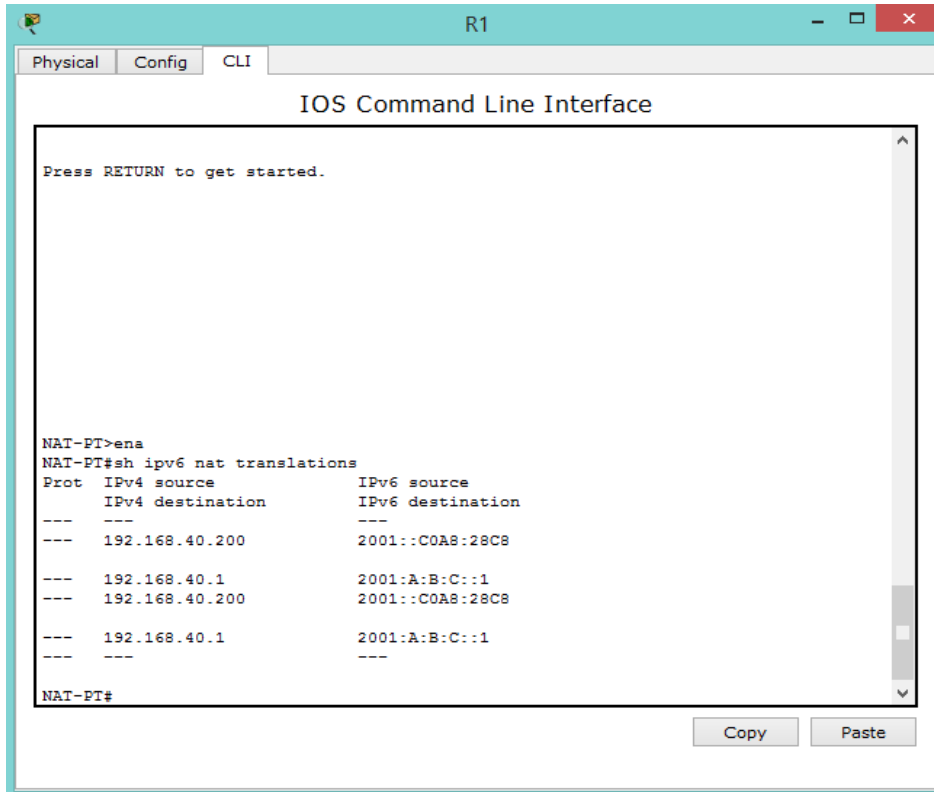


```
IOS Command Line Interface
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#
IPv4#ping 2001:A:B:C::1
% Unrecognized host or address or protocol not running.
IPv4#ping 192.168.40.1

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 192.168.40.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/2/10 ms
IPv4#
```

Kuvio 13. Pingaus IPv4-reitittimeltä IPv6-reitittimelle NAT-PT-verkossa.

Kuviossa 14 on esitettyä NAT-PT-reitittimen NAT-PT-osoitteenmuunnostaulukko, joka saadaan näkymään komennolla `show ipv6 nat translations`.



The screenshot shows a window titled "R1" with tabs for "Physical", "Config", and "CLI". The main area is titled "IOS Command Line Interface" and contains the following text:

```
Press RETURN to get started.
```

```
NAT-PT>ena
NAT-PT#sh ipv6 nat translations
Prot  IPv4 source      IPv6 source
----  -
----  192.168.40.200   2001::C0A8:28C8
----  192.168.40.1    2001:A:B:C::1
----  192.168.40.200   2001::C0A8:28C8
----  192.168.40.1    2001:A:B:C::1
----  ---             ---
NAT-PT#
```

At the bottom right of the window, there are "Copy" and "Paste" buttons.

Kuvio 14. NAT-PT-osoitteenmuunnostaulukko.

7 TOTEUTUKSET LABORATORIOSSA

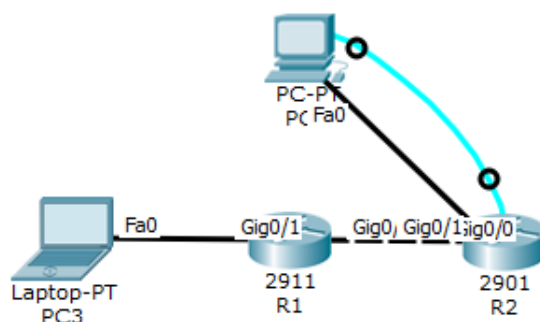
7.1 Staattinen IPv6-verkko

Työssä oli käytössä koulun vanha pöytämallin tietokone Windows XP käyttöjärjestelmällä varustettuna sekä HP:n kannettava Windows 8 -käyttöjärjestelmällä käytössä oli myös Ciscon 2911- ja 2901-reitittimet (kuva 7).



Kuva 7. Laboratoriossa käytetyt laitteet.

Kuviossa 15 on esitetty kokoonpanokuvana, kuinka laitteet kytkettiin yhteen. Pöytäkoneelta (PC4) kytkettiin konsolikaapeli vuorotellen kummallekin reitittimelle.



Kuvio 15. Laboratoriossa käytetty kokoonpano ja kytkennät.

Pöytämallin tietokoneessa oli vielä olemassa sarjaporttiliitäntä, jota käytettiin hyväksi reitittimien konfiguroinneissa. Porttiin liitettiin konsolikaapeli, jonka toinen pää

liitettiin reitittimien USB-konsoliporttiin. Kytkennän avulla tietokoneelta saatiin ssh-yhteys PuTTY-ohjelmalla, näin päästiin käsiksi reitittimien käyttöjärjestelmiin (IOS). Ensimmäisen reitittimen (R1) konfigurointi tapahtui poikkeavasti Windows XP:n HyperTerminal-ohjelmaa käyttäen, koska PuTTY-ohjelman toiminnan kanssa oli aluksi ongelmia.

Reitittimien asetukset määriteltiin kappaleessa 6.1.2 esitetyillä komennoilla ja reititimissä käytetyt osoitteet on taulukoitu taulukossa 1.

```

Router(config)#ipv6 unicast-routing
Router(config)#int g0/0
Router(config-if)#ipv6 enable
Router(config-if)#ipv6 address 2000:2::1/64
Router(config-if)#no shu
Router(config-if)#
Apr 28 15:14:05.959: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to down
Router(config-if)#exit
Router(config)#int g0/1
Router(config-if)#ipv6 enable
Router(config-if)#ipv6 address 2001::20/64
Router(config-if)#
Apr 28 15:15:45.415: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet0/1, changed state to down
Router(config-if)#exit
Router(config)#int g0/1
Router(config-if)#ipv6 route
? Incomplete command.
Router(config)#ipv6 route 2000:2::/64 2001::20
Router(config)#exit
Router#
Apr 28 15:18:53.871: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
Building configuration...
[OK]
Router#

Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Router(config)#ipv6 unicast-routing
Router(config)#int g0/0
Router(config-if)#ipv6 enable
Router(config-if)#ipv6 address 2000:2::1/64
Router(config-if)#no shu
Router(config-if)#
Apr 28 15:34:34.319: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet0/0, changed state to down
Router(config-if)#exit
Router(config)#int g0/1
Router(config-if)#ipv6 enable
Router(config-if)#ipv6 address 2001::20/64
Router(config-if)#exit
Router(config)#int g0/1
Router(config-if)#no shu
Router(config-if)#
Router(config-if)#
Apr 28 15:36:35.523: %LINK-3-UPDOWN: Interface GigabitEthernet0/1, changed state to down
Router(config-if)#exit
Router(config)#ipv6 route 2000:2::/64 2001::20
Router(config)#exit
Router#
Apr 28 15:37:15.883: %SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
Building configuration...
  
```

Kuva 8. Reitittimien konfiguroinnit laboratoriossa (IPv6-verkko). Vasemman puoleinen konfigurointi on tehty HyperTerminal-yhteydellä ja oikean puoleinen PuTTY-ohjelmalla.

Koska pöytä tietokone ja sen käyttöjärjestelmä olivat vanhoja, ei pöytäkonetta yritetty edes liittää muodostettuun IPv6-verkkoon. Kannettava tietokone sen sijaan liitettiin reitittimeen R1 ja sille annettiin taulukosta 1 laitteen PC1 IPv6-osoite.

Kuvassa 9 on ensin *show ipv6 interface* -komennolla todennettu, että reitittimen R1 porttien asetukset ovat onnistuneet. Reitittimeltä on tämän jälkeen pingattu ensin kannettavaa tietokonetta ja sitten reitittimen R2 GigabitEthernet 0/1 -porttia.

```

r1#show ipv6 interface brief
Embedded-Service-Engine0/0 [administratively down/down]
  unassigned
GigabitEthernet0/0          [up/up]
  FE80::CEEF:48FF:FEE6:9278
  2000:1::1
GigabitEthernet0/1          [up/up]
  FE80::CEEF:48FF:FEE6:9279
  2001::10
GigabitEthernet0/2          [administratively down/down]
  unassigned
Serial0/1/0                  [administratively down/down]
  unassigned
Serial0/1/1                  [administratively down/down]
  unassigned
r1#ping 2000:1::2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2000:1::2, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/4 ms
r1#ping 2001::20
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001::20, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/4 ms
r1#

```

Kuva 9. Reitittimen R1 yhteyksien testaus laboratoriossa (IPv6-verkko).

7.2 Dual-Stack-verkko

Tässä testissä oli käytössä samat laitteet, samalla kokoonpanolla kuin luvun 7.1 testauksessa. Laitteet ovat nähtävissä kuvassa 7. Kuviosta 14 ilmenee laitteiden kokoonpano ja kytkennät.

Työssä käytettiin ohjeina luvun 6.2.1 työvaiheita. Kannettava tietokone sai taulukosta 2 laitteen PC 3 mukaiset osoitteet ja pöytätietokone sai laitteen PC 4 osoitteen. Ciscon 2911-reititin sai taulukosta R1-reitittimen osoitteet ja reititin 2901 R2-reitittimen osoitteet. Kytkennät ja konfiguroinnit tehtiin täsmälleen samoin kuin yllämainitussa luvussakin.

Verkon toimivuutta testattiin tässäkin pingaamalla verkon toisia laitteita. Kuvassa 10 näkyy reitittimen R1 pingaukset. Ensin on pingattu PC3:n (kannettava) molempia IPv6- sekä IPv4-osoitteita. Tämän jälkeen on pingattu reitittimen R2 GigabitEthernet 0/1 -portin kummankin IPv-protokollan osoitteita. Viimeisenä on pingattu eri aliverkossa sijaitsevaa päätelaitetta PC4 (pöytäkone).

```

R1#ping 10.0.0.3
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.3, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/4 ms
R1#ping 2001::3
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001::3, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/4 ms
R1#ping 2001:3::1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001:3::1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/4 ms
R1#ping 10.3.3.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.3.3.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/4 ms
R1#ping 10.3.3.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.3.3.2, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)

```

Kuva 10. Reitittimen R1 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).

Kuvassa 11 näkyy reitittimeltä R2 tehdyt pingaukset. Reitittimeltä on pingattu reitittimen R1 GigabitEthernet 0/1 -portin kummankin IPv-protokollan osoitteita, PC3:n molempia osoitteita sekä PC4:n osoitetta.


```
R2#ping 2001::1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001::1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/0/4 ms
R2#ping 10.0.0.1
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.1, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 1/1/4 ms
R2#ping 10.0.0.3
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.0.0.3, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
R2#ping 2001::3
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 2001::3, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
R2#ping 10.3.3.2
Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.3.3.2, timeout is 2 seconds:
.....
Success rate is 0 percent (0/5)
```

Kuva 11. Reitittimen R2 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).

Kuvassa 12 on kannettavan tietokoneen (PC3) pingaukset. Laitteelta pingattiin reitittimen R2 molempien käytössä olevien porttien IPv6-osoitetta sekä toista IPv4-osoitetta. Laitteelta pingattiin myös pöytäkonetta (PC4).

```

C:\Users\User>ping fec0:1::2

Pinging fec0:1::2 with 32 bytes of data:
Reply from fec0:1::2: time<1ms
Reply from fec0:1::2: time<1ms
Reply from fec0:1::2: time<1ms
Reply from fec0:1::2: time<1ms

Ping statistics for fec0:1::2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\Users\User>ping 2001:3::1

Pinging 2001:3::1 with 32 bytes of data:
Reply from 2001:3::1: time<1ms
Reply from 2001:3::1: time<1ms
Reply from 2001:3::1: time<1ms
Reply from 2001:3::1: time<1ms

Ping statistics for 2001:3::1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\Users\User>ping 10.3.3.1

Pinging 10.3.3.1 with 32 bytes of data:
Reply from 10.3.3.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.3.3.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.3.3.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.3.3.1: bytes=32 time<1ms TTL=254

Ping statistics for 10.3.3.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
Approximate round trip times in milli-seconds:
    Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms

C:\Users\User>ping 10.3.3.2

Pinging 10.3.3.2 with 32 bytes of data:
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.

Ping statistics for 10.3.3.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss),

```

Kuva 12. Päätelaitteen PC3 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).

Kuvassa 13 on näkyvissä pöytäkoneen (PC4) pingaukset. Laitteelta pingattiin reitittimen R1 molempien käytössä olevien porttien IPv4-osoitetta sekä kannettavan (PC3) IPv4-osoitetta. Koska laitteella on käytössä vain IPv4-protokolla, niin IPv6-protokollan osoitteisiin ei ole yhteyttä.

```

C:\>ping 10.1.1.1
Pinging 10.1.1.1 with 32 bytes of data:
Reply from 10.1.1.1: bytes=32 time=1ms TTL=254
Reply from 10.1.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.1.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.1.1.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Ping statistics for 10.1.1.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 1ms, Average = 0ms
C:\>ping 10.0.0.1
Pinging 10.0.0.1 with 32 bytes of data:
Reply from 10.0.0.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.0.0.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.0.0.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Reply from 10.0.0.1: bytes=32 time<1ms TTL=254
Ping statistics for 10.0.0.1:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 0ms, Maximum = 0ms, Average = 0ms
C:\>ping 10.0.0.3
Pinging 10.0.0.3 with 32 bytes of data:
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Request timed out.
Ping statistics for 10.0.0.3:
    Packets: Sent = 4, Received = 0, Lost = 4 (100% loss).

```

Kuva 13. Päätelaitteen PC4 yhteyden toimivuuden testausta laboratoriossa (Dual-Stack-verkko).

Kuten kuvista 10–13 voi huomata, ei verkkoa saatu toimimaan täysin. Reitittimeltä R1 saatiin yhteys kannettavalle (PC3) ja reitittimelle R2, mutta yhteyttä ei saatu toisessa aliverkossa R2-reitittimen takana olleeseen pöytäkoneeseen (PC4). Reitittimeltä R2 saatiin yhteys reitittimelle R1, mutta ei saatu yhteyttä kumpaankaan päätelaitteeseen (PC3 ja PC4). Kannettavasta (PC3) saatiin yhteys molemmille reitittimille, mutta päätelaitteelle (PC4) ei. Päätelaitteelta (PC4) taas saatiin yhteys reitittimille, muttei päätelaitteelle (PC3).

Laboratoriotestauksissa aika loppui kesken ja ongelmaa ei päästy tutkimaan perusteellisemmin. Vika ei näyttänyt liittyvän itse Dual-Stack-tekniikkaan, koska kummallakaan IPv-protokollalla ei saatu yhteyttä päästä päähän omilla protokolla-alueillaan. Jälkeenpäin mietittynä ongelma saattoi olla käytetyissä kaapeleissa. Työskentelyhetkellä ei käyttöön löytynyt ehjiä ristiinkytkettyjä kaapeleita kuin yksi kappale, joka oli kytketty reitittimien välille. Koska päätelaitteet olivat suoraan kytkettyinä reitittimiin, olisi ehkä nämäkin kytkennät pitänyt olla tehtynä ristiinkytketyillä kaapeleilla.

7.3 NAT-PT-verkko

Käytössä olleet reitittimet eivät tunnista *ipv6 nat* -komentoa, joten kyseistä toteutusta ei päästy testaamaan käytännössä.

8 YHTEENVETO

IPv6-protokolla oli entuudestaan aika vieras tekniikka, jonka vuoksi opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen. Ennen työn aloittamista oli oletuksena, että työn aiheesta olisi paljon lähdeaineistoa tarjolla. Lähteeksi kelpaavien aineistojen löytäminen ei kuitenkaan ollut kovin helppoa ja varsinkaan suomenkielistä aineisto ei löytynyt juuri lainkaan. Eritoten Dual-Stack- ja NAT-PT-tekniikoista löytyi niukasti tietoa. Pääasiallisesti työssä käytettiin lähdeaineistona Ciscon verkkodokumentteja sekä Cisco Networking Academyn kurssimateriaaleja.

Työssä tuli vastaan useita ongelmia, eikä se aika-ajoin tuntunut etenevän, vaikka työtunteja kertyi koko ajan. NAT-PT-tekniikalla toteutettavaa verkkoa ei aluksi saatu toimimaan millään Packet Tracer -ohjelmassa, mutta Ciscolta oli juuri ilmestynyt siitä uusi versio 6.3.0.0009. Tämän version käyttöönoton jälkeen saatiin Packet Tracerilla tehtyä toimiva toteutus. Verkkojen toteuttaminen laboratoriossa ei lopulta onnistunut toivotulla tavalla: NAT-PT-verkkoa ei voitu edes kokeilla, koska reitittimet eivät tunteneet IPv6 nat -komentoja. Dual-Stack-verkko ei toiminut kunnolla ja todennäköisesti, jos IPv6-lähiverkkoakin olisi enemmän testailtu, olisi siitäkin löytynyt samat ongelmat kuin Dual-Stack-verkosta.

Syitä epäonnistumiseen laboratoriossa oli varmasti ajan loppuminen laboratoriotestauksessa kesken, tekijän kokemattomuus aiheesta sekä laitteiden ja tarvikkeiden puutteellisuus tai vajavaisuus. Esimerkiksi kytkimiä ei ollut käytössä ollenkaan, toinen käytetty tietokone oli tekniikaltaan ja ohjelmistoltaan vanhaa, ja ehjiä ristiin kytkettyjä parikaapeleita ei oikein tahtonut löytyä.

Työn lopputuloksen kannalta laboratoriokeilujen epäonnistuminen ei kuitenkaan mielestäni ollut merkittävä ja mielestäni työn tavoitteet täyttyivät riittävän hyvin. Entuudestaan vieras IPv6-protokolla tuli tutuksi ja jokaisesta ennakkoon toivotusta verkon toteutuksesta saatiin Packet Tracer -ohjelmalla toimiva ratkaisu ja niistä mallitoteutukset ohjeiksi koulun tietoverkkotekniikan laboratorioharjoituksia varten. Luku kuusi voidaankin kokonaisuudessaan käyttää esimerkkimateriaalina aiheeseen liittyvillä oppitunneilla.

Työn aikana tuli myös ilmi, että yksi työn aiheista NAT-PT-reititystekniikka on vanhentunut ja sen korvaajana voidaan pitää NAT64-tekniikkaa. NAT-PT-tekniikalla yritettiin ratkaista liian monia ongelmia, esimerkiksi sillä yritettiin päästä IPv4-osoitteilla kaikkeen IPv6-sisältöön. IPv6-sisällön tietoa tullaan kuitenkin aina menettämään käännettäessä 128-bittistä IPv6-osoitetta 32-bittiseksi IPv4-osoitteeksi. Enemmän tietoa NAT-PT-tekniikan heikkouksista löytyy standardista RFC 4966, joka on yksi monista IETF:n julkaisemista internetiä koskevista standardeista (Aoun ja Davies 2007).

LÄHTEET

- Ajnouri, A. 2009. Ipv6 NAT-PT Transition. [Verkkosivu]. CCIE, the beginning. [Viitattu 1.5.2016]. Saatavana: <https://cciethebeginning.wordpress.com/2009/07/27/ipv6-nat-pt-transition/>
- Aoun, C. & Davies, E. 2007. Reasons to Move the Network Address Translator - Protocol Translator (NAT-PT) to Historic Status. [Verkköjulkaisu]. The IETF Trust. [Viitattu 25.5.2016]. Saatavana: <https://www.ietf.org/rfc/rfc4966.txt>
- Cisco Networking Academy. 2016. CCNA Routing and Switching: Introduction to Networks. [Verkkosivusto]. Cisco Systems, Inc. [Viitattu 12.4.2016]. Saatavana: <https://www.netacad.com/courses/ccna/>
- Cisco Systems, Inc. 2010. Dual Stack Network. [Verkköjulkaisu]. Cisco Systems, Inc. [Viitattu 13.4.2016]. Saatavana: http://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/gov/IPV6at_a_glance_c45-625859.pdf
- Cisco Systems, Inc. 2014. Cisco IOS IP Configuration Guide, Chapter: Configuring Routing Information Protocol. [Verkkosivu]. Cisco Systems, Inc. [Viitattu 8.5.2016]. Saatavana: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios/12_2/ip/configuration/guide/fipr_c/1cfrip.html
- Cisco Systems, Inc. 2016. IP Addressing: NAT Configuration Guide, Cisco IOS Release 15M&T. [Verkkosivu]. Cisco Systems, Inc. [Viitattu 23.5.2016]. Saatavana: http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/ios-xml/ios/ipaddr_nat/configuration/15-mt/nat-15-mt-book/ip6-natpt.html
- Desmeules, R. 2007. Cisco Self-Study: Implementing IPv6 Networks (IPv6). United States of America: Cisco Press.
- Dunmore, M. 2005. 6net: An IPv6 Deployment Guide. [Verkköjulkaisu]. The 6net Consortium. [Viitattu 1.5.2016]. Saatavana: <https://www.6net.org/book/deployment-guide.pdf>
- H3C Technologies Co. 2016. H3C S3100-52P Ethernet Switch Operation Manual-Release 1702-6W100. [Verkkosivu]. H3C Technologies Co. [Viitattu 12.5.2016]. Saatavana: http://www.h3c.com.hk/Technical_Support_Documents/Technical_Documents/Switches/H3C_S3100_Series_Switches/Configuration/Operation_Manual/H3C_S3100-52P_OM-Release_1702-6W100/201004/672842_1285_0.htm
- Hinden, R. & Deering, S. 2006. IP Version 6 Addressing Architecture. [Verkköjulkaisu]. The IETF Trust. [Viitattu 13.5.2016]. Saatavana: <https://tools.ietf.org/html/rfc4291>

Microsoft TechNet. 2005. IPv6 Addressing and Routing. [Verkkosivusto]. Microsoft Corporation. [Viitattu 23.4.2016]. Saatavana: [https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc778247\(v=ws.10\).aspx](https://technet.microsoft.com/en-us/library/cc778247(v=ws.10).aspx)

Tutorialspoint. 2016. IPv6 – Headers. [Verkkosivu]. Tutorial Point (I) Pvt. Ltd. [Viitattu 5.5.2016]. Saatavana: http://www.tutorialspoint.com/ipv6/ipv6_headers.htm