

# IPv6 Trinet-verkossa

## Taustaa

Tässä käydään lyhyesti läpi IPv6:n käyttöönoton vaatimat tekniset toimenpiteet Ciscon reitittimissä ja Ciscon/HP:n kytkimissä sekä verkon asiakaslaitteissa. Osoitteiden hausta ja muusta asiaan liittyvästä löytyy informaatiota Funetin ohjeistuksesta sekä vähän myös seuraavasta esityksestä:

<http://verkko.tky.fi/funet2008/trinet-ipv6.pdf>

Yllä olevan esityksen konfiguraatio-esimerkit ovat jo hieman vanhentuneita tämän sivun konfiguraatioihin verrattuna. Yritämme pitää tätä sivua ajantasalla, jos muutoksia jatkossa tulee.

Reitittimien konfiguraatioista on kaksi mallia eri verkkotopologioihin:

1. Yksi reititin staattisella reitillä Funettiin
2. Kaksi reitintä BGP-reiteillä Funettiin käyttäen HSRP:tä aliverkoissa

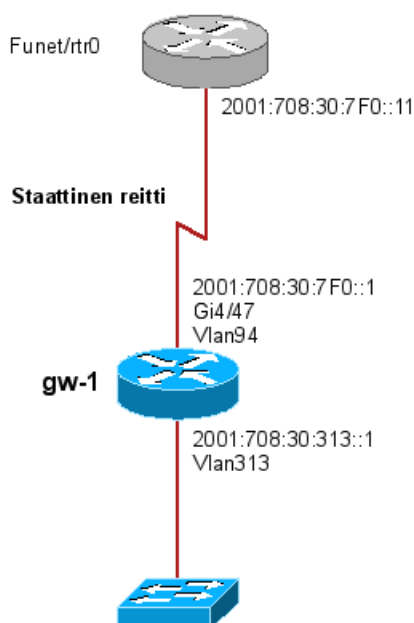
Reitittimien konfiguraatiot on kopioitu suoraan tuotannosta hieman siivoten. Ne soveltuvat ainakin 6500-sarjan Ciscoihin (Sup720), todennäköisesti myös vastaaviin 7600-sarjan laitteisiin. Käytetty ohjelmistoversio on 12.2(33)SXI. Vanhemmatkin ohjelmistot toiminevat (ainakin SXH), SXI vaaditaan lähinnä HSRP:tä varten sekä IPv6:n käyttämiseen IP Services -lisensoinnilla aiemmin vaaditun Advanced IP Services -lisensoinnin sijaan.

Esimerkeissä oletetaan, että multicast-konfiguraatiot ovat inkrementaalisia unicast-konfiguraatioille eli unicast on jo konfiguroitu, kun multicastia aletaan lisäämään. Samoin BGP:n tapauksessa oletetaan, että IPv4 BGP-konfiguraatiot ovat olemassa, joten esimerkeissä käsitellään vain IPv6:n vaatimat muutokset.

Kahden reitittimen mallissa käytetään iBGP:tä, sisäisiä reititysprotokollia ei ole käytössä. Suoraan kytketyt aliverkot injektoidaan iBGP:hen, jotta molemmat reitittimet tuntevat myös aliverkot, joissa ei ole käytössä HSRP:tä.

Palautetta konfiguraatioista ja muutosehdotuksia voi laittaa suoraan wikiin tai lähettää postia [verkko@tky.fi](mailto:verkko@tky.fi).

## IPv6-reititys staattisella reitillä ja yhdellä reitittimellä



## IPv6 unicast staattisella reitillä

Kytetään IPv6 unicast käyttöön.

```
ipv6 unicast-routing
```

Poistetaan käytöstä IPv6 source routing -tuki (suojaamaan DDoS-hyökkäyksiltä). Vaatii vähintään SXI-version.

```
no ipv6 source-route
```

Lisätään suodatukset rajalle osoiteväarennösten varalle, Loopback0-liitäntä ja Null0-reitti omalle prefiksille.

```
! Suodatus sisäänpäin tulevalle liikenteelle
! 1. sallitaan liitäntäverkot lähdeosoitteena (varaus varayhteydelle)
! 2. kielletään oma prefiksi lähdeosoitteena
! 3. sallitaan oma prefiksi kohdeosoitteena
! 4. sallitaan link-local kohdeosoitteena
! 5. sallitaan kaikki multicast kohdeosoitteena
! 6. kielletään loput
ipv6 access-list funet_6in
permit ipv6 2001:708:30:7F0::/63 any
deny ipv6 2001:708:30::/48 any
permit ipv6 any 2001:708:30::/48
permit ipv6 any FE80::/10
permit ipv6 any FF00::/8
deny ipv6 any any
```

```
! Suodatus ulospäin menevälle liikenteelle
! 1. sallitaan liitäntäverkot lähdeosoitteena (varaus varayhteydelle)
! 2. sallitaan oma prefiksi lähdeosoitteena (sis. multicast)
! 3. sallitaan link-local kohdeosoitteena
! 4. sallitaan well-known link-local multicast kohdeosoitteena
```

```
! 5. kielletään loput
ipv6 access-list funet_6out
permit ipv6 2001:708:30:7F0::/63 any
permit ipv6 2001:708:30::/48 any
permit ipv6 any FE80::/10
permit ipv6 any FF02::/16
deny ipv6 any any
```

```
! Lisätään Loopback0 (mm. iBGP:tä ja PIM:ä varten)
! 1. määritetään loopback-osoite (reititinkohtainen)
! 2. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
```

```
interface Loopback0
ipv6 address 2001:708:30:7FE::1/128
no ipv6 redirects
```

```
! Lisätään Null0-reitti looppien estämiseksi omalle prefixille
ipv6 route 2001:708:30::/48 Null0
```

Konfiguroidaan Funet-yhteyden liitäntä ja lisätään oletusreitti.

```
! Lisätään liitäntä Funet-yhteydelle
! 1. määritetään oma osoite (sovittu Funetin kanssa)
! 2. otetaan käyttöön input-suodatukset
! 3. otetaan käyttöön output-suodatukset
! 4. poistetaan käytöstä RA-mainostukset
! 5. poistetaan käytöstä MLD-prosessointi
! 6. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
```

```
interface Vlan94
ipv6 address 2001:708:30:7F0::1/64
ipv6 traffic-filter funet_6in in
ipv6 traffic-filter funet_6out out
ipv6 nd ra suppress
no ipv6 mld router
no ipv6 redirects
```

```
! Lisätään oletusreitti Funettiin (osoite sovittu Funetin kanssa)
ipv6 route ::/0 2001:708:30:7F0::11
```

## IPv6 multicast staattisella reitillä

IPv6 PIM on oletusarvoisesti käytössä kaikissa liitännöissä, joten sitä ei tarvitse erikseen kytkeä

päälle. Kytetään IPv6 multicast käyttöön.

#### **ipv6 multicast-routing**

Lisätään suodatukset multicast-ryhmille RP:itä varten.

```
! Suodatus multicast-ryhmille (Renater RP)
! 1. sallitaan well-known global multicast kohdeosoitteena
! 2. sallitaan transient global multicast kohdeosoitteena
! 3. sallitaan unicast-prefix-based global multicast kohdeosoitteena
! 4. kielletään loput
```

```
ipv6 access-list m6bonerp_6in
permit ipv6 any FF0E::/16
permit ipv6 any FF1E::/16
permit ipv6 any FF3E::/16
deny ipv6 any any
```

```
! Suodatus multicast-ryhmille (Embedded RP)
! 1. sallitaan embedded-rp global multicast kohdeosoitteena
! 2. kielletään loput
```

```
ipv6 access-list embrp_6in
permit ipv6 any FF7E:140:2001:708:30:7FF::/96
deny ipv6 any any
```

```
! Suodatus multicast-ryhmille (Internal RP)
! 1. sallitaan well-known site-local multicast kohdeosoitteena
! 2. sallitaan transient site-local multicast kohdeosoitteena
! 3. sallitaan well-known org-local multicast kohdeosoitteena
! 4. sallitaan transient org-local multicast kohdeosoitteena
! 5. kielletään loput
```

```
ipv6 access-list intrp_6in
permit ipv6 any FF05::/16
permit ipv6 any FF15::/16
permit ipv6 any FF08::/16
permit ipv6 any FF18::/16
deny ipv6 any any
```

Konfiguroidaan reitittimiin RP:t ja niiden vaatimat Loopback-osoitteet.

```
! Lisätään Loopback2 (Embedded RP)
! 1. määritetään kuvaus liitännälle
! 2. poistetaan IPv4-osoite
! 3. määritetään loopback-osoite
! 4. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
```

```
interface Loopback2
description IPv6 Embedded RP
no ip address
ipv6 address 2001:708:30:7FF::1/128
no ipv6 redirects
```

```
! Lisätään Loopback3 (Internal RP)
! 1. määritetään kuvaus liitännälle
! 2. poistetaan IPv4-osoite
! 3. määritetään loopback-osoite
! 4. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
```

```
interface Loopback3
description IPv6 Internal RP
no ip address
ipv6 address 2001:708:30:7FF::2/128
no ipv6 redirects
```

```
! Lisätään Renater RP
ipv6 pim rp-address 2001:660:3007:300:1:: m6bonerp_6in
```

```
! Lisätään Embedded RP
ipv6 pim rp-address 2001:708:30:7FF::1 embrp_6in
```

```
! Lisätään Internal RP
ipv6 pim rp-address 2001:708:30:7FF::2 intrp_6in
```

```
! Määritetään lähdeosoite PIM rekisteröinneille
ipv6 pim register-source Loopback0
```

Muita asetuksia. Voi määritellä, jos rauta tukee.

```
! Egress replication mode
ipv6 mfib hardware-switching replication-mode egress
! Disable explicit tracking by setting the explicit tracking database size to 0. (workaround bugiin, korjaus SXI1)
```

```
ipv6 mld snooping limit track 0
```

Konfiguroidaan Funet-yhteyden liitântään rajoitukset multicastin leviämiselle.

```
! Konfiguroidaan Funet-yhteyden liitântää
! 1. määritetään raja bootstrap-viesteille
! 2. rajataan paikalliset multicast-ryhmät pois PIM-neuvotteluista
interface Vlan94
  ipv6 pim bsr border
  ipv6 multicast boundary scope 8
```

## IPv6-reititys aliverkkoihin ilman HSRP:tä

Lisätään nimipalvelinasetukset DHCPv6-pooliksi reitittimiin ja suodatukset aliverkkoihin osoiteväarennösten varalle. Aliverkkokohtainen suodatus on käytössä IPv6 liikenteen käsittelemiseksi raudalla, koska IPv6 Unicast RPF toteutetaan softalla kyseissä laitteissa.

```
! Luodaan DHCPv6-pooli
! 1. määritetään ensisijainen nimipalvelin
! 1. määritetään toissijainen nimipalvelin
! 1. määritetään domainnimi
ipv6 dhcp pool nd-kyla-pool
  dns-server 2001:708:30:10::2
  dns-server 2001:708:30:20::2
  domain-name kyla.fi

! Suodatus sisäänpäin tulevalle liikenteelle (aliverkkokohtainen)
! 1. sallitaan link-local lähdeosoitteena
! 2. sallitaan aliverkon prefiksi lähdeosoitteena
! 3. kielletään loput
ipv6 access-list trinet_6in_v313
  permit ipv6 FE80::/10 any
  permit ipv6 2001:708:30:313::/64 any
  deny ipv6 any any

ipv6 access-list trinet_6in_v314
  permit ipv6 FE80::/10 any
  permit ipv6 2001:708:30:314::/64 any
  deny ipv6 any any

! Konfiguroidaan aliverkon liitântää
! 1. määritetään aliverkon osoite
! 2. määritetään input-suodatus (aliverkkokohtainen)
! 3. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
interface Vlan313
  ipv6 address 2001:708:30:313::1/64
  ipv6 traffic-filter trinet_6in_v313 in
  no ipv6 redirects

interface Vlan314
  ipv6 address 2001:708:30:314::1/64
  ipv6 traffic-filter trinet_6in_v314 in
  no ipv6 redirects
```

## IPv6 palvelinverkkoihin ilman autokonfiguraatiota

Poistetaan RA-mainostukset käytöstä.

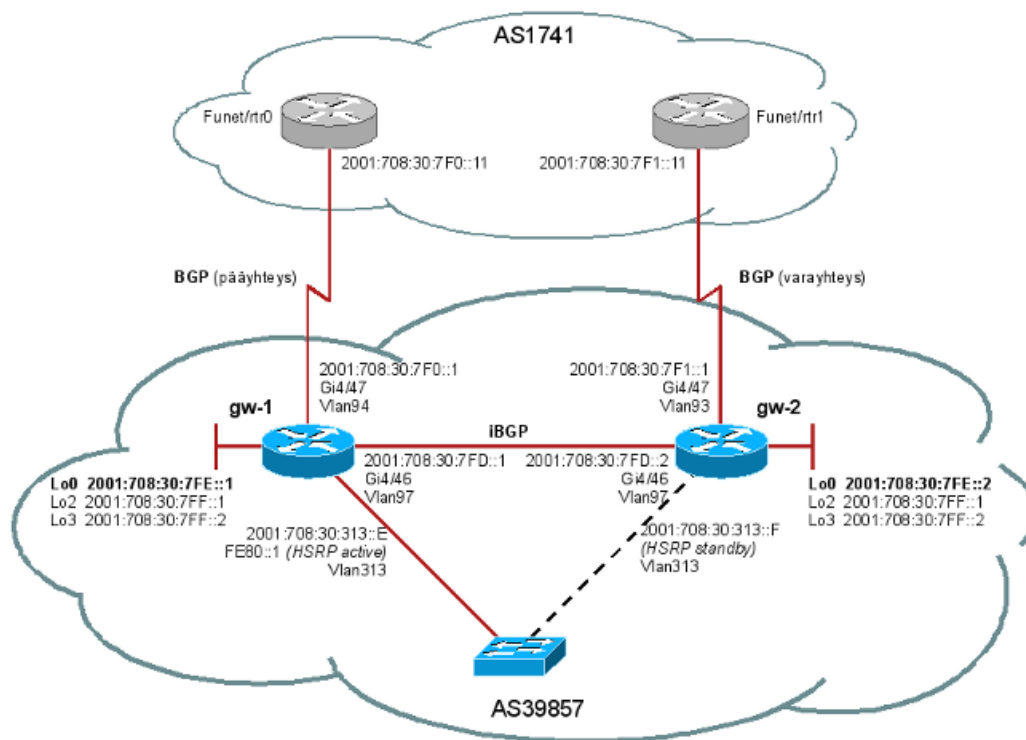
```
! Konfiguroidaan palvelinverkon liitântää
! 1. poistetaan käytöstä RA-mainostukset
interface Vlan313
  ipv6 nd ra suppress
```

## IPv6 asiakasverkkoihin autokonfiguraatiolla

Lisätään optio nimipalvelintietoja varten ja korotetaan RA-mainostusten prioriteettia.

```
! Konfiguroidaan asiakasverkon liitântää
! 1. ilmoitetaan DHCPv6:lla tarjottavista nimipalvelinasetuksista
! 2. määritetään korkeampi prioriteetti RA-mainostuksille
! 3. määritetään DHCPv6-pooli nimipalvelinasetusten osalta
interface Vlan314
  ipv6 nd other-config-flag
  ipv6 nd router-preference High
  ipv6 dhcp server nd-kyla-pool
```

# IPv6-reititys BGP-reiteillä ja kahdella reitittimellä



## IPv6 unicast BGP-reiteillä

### Yhteiset IPv6 unicast -asetukset molemmissa reitittimissä

Kytetään IPv6 unicast käyttöön.

```
ipv6 unicast-routing
```

Poistetaan käytöstä IPv6 source routing -tuki (suojaamaan DDoS-hyökkäyksiltä). Vaatii vähintään SXI-version.

```
no ipv6 source-route
```

Lisätään suodatus rajalle osoiteväennösten varalle, Loopback0-liitäntä ja Null0-reitti omalle prefiksille.

```
! Suodatus sisäänpäin tulevalle liikenteelle
! 1. sallitaan liitäntäverkot lähdeosoitteena (varaus varayhteydelle)
! 2. kielletään oma prefiksi lähdeosoitteena
! 3. sallitaan oma prefiksi kohdeosoitteena
! 4. sallitaan link-local kohdeosoitteena
! 5. sallitaan kaikki multicast kohdeosoitteena
! 6. kielletään loput
```

```
ipv6 access-list funet_6in
permit ipv6 2001:708:30:7F0::/63 any
deny ipv6 2001:708:30::/48 any
permit ipv6 any 2001:708:30::/48
permit ipv6 any FE80::/10
permit ipv6 any FF00::/8
deny ipv6 any any
```

```
! Suodatus ulospäin menevälle liikenteelle
! 1. sallitaan liitäntäverkot lähdeosoitteena (varaus varayhteydelle)
! 2. sallitaan oma prefiksi lähdeosoitteena (sis. multicast)
! 3. sallitaan link-local kohdeosoitteena
! 4. sallitaan well-known link-local multicast kohdeosoitteena
! 5. kielletään loput
```

```
ipv6 access-list funet_6out
permit ipv6 2001:708:30:7F0::/63 any
permit ipv6 2001:708:30::/48 any
```

```

permit ipv6 any FE80::/10
permit ipv6 any FF02::/16
deny ipv6 any any

! Lisätään Loopback0 (mm. iBGP:tä ja PIM:ä varten)
! 1. määritetään loopback-osoite (reititinkohtainen)
! 2. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
interface Loopback0
  ipv6 address 2001:708:30:7FE::1/128
  no ipv6 redirects

! Lisätään Null0-reitti looppien estämiseksi omalle prefixille
ipv6 route 2001:708:30::/48 Null0

```

## IPv6 unicast -asetukset pääreitittimessä (gw-1)

Konfiguroidaan Funet-päähyyteyden liitanta ja liitanta sisäiseen reititykseen pääreitittimessä (gw-1).  
Lisäksi määritellään tarvittavat BGP ja iBGP -konfiguraatiot.

```

! Lisätään liitanta Funet-päähyyteydelle
! 1. määritetään oma osoite (sovittu Funetin kanssa)
! 2. määritetään input-suodatukset
! 3. määritetään output-suodatukset
! 4. poistetaan käytöstä RA-mainostukset
! 5. poistetaan käytöstä MLD-prosessointi
! 6. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
interface Vlan94
  ipv6 address 2001:708:30:7F0::1/64
  ipv6 traffic-filter funet_6in in
  ipv6 traffic-filter funet_6out out
  ipv6 nd ra suppress
  no ipv6 mld router
  no ipv6 redirects

! Lisätään liitanta sisäistä reititystä varten
! 1. määritetään osoite sisäiselle reititysverkolle
! 2. poistetaan käytöstä RA-mainostukset
! 3. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
interface Vlan97
  ipv6 address 2001:708:30:7FD::1/64
  ipv6 nd ra suppress
  no ipv6 redirects

! Lisätään staattinen reitti -> varareitittimen Loopback0 (iBGP)
ipv6 route 2001:708:30:7FE::2/128 2001:708:30:7FD::2

! Määritetään prefix-list omalle prefiksille (BGP)
ipv6 prefix-list own-ipv6-prefixes seq 10 permit 2001:708:30::/48

! Määritetään prefix-list omille aliverkoille (iBGP)
ipv6 prefix-list ibgp-ipv6-prefixes seq 10 permit 2001:708:30::/48 ge 64 le 64

! Määritellään päähyyteydelle route-map sisäänpäin tuleville BGP-mainostuksille
! 1. suositetaan päähyyteyden kautta tulevia mainostuksia (100 == oletusarvo)
route-map funet-ipv6-main-in permit 10
  set local-preference 100

! Määritellään päähyyteydelle route-map ulospäin lähteille BGP-mainostuksille
! 1. suodatetaan mainostuksista muut kuin own-ipv6-prefixes
route-map funet-ipv6-main-out permit 10
  match ipv6 address prefix-list own-ipv6-prefixes

! Määritellään route-map iBGP-mainostuksille
! 1. suodatetaan mainostuksista muut kuin ibgp-ipv6-prefixes
! 2. estetään mainostusten leviäminen ulos
route-map ibgp-ipv6-connected permit 10
  match ipv6 address prefix-list ibgp-ipv6-prefixes
  set community no-export

! Määritetään BGP-konfiguraatio AS39857
router bgp 39857

! Poistetaan käytöstä automaattiset IPv4-peeraukset
no bgp default ipv4-unicast

! Määritetään peeraukset

```

```

! 1. määritetään BGP-peeraus Funetin AS1741 kanssa
! 2. määritetään kuvaus äskeiselle
! 3. määritetään matalammat aikarajat BGP-sessiolle
! 4. määritetään iBGP-peeraus varareitittimen AS39857 kanssa
! 5. määritetään kuvaus edelliselle
! 6. määritetään lähdeosoite iBGP-yhteydelle
! 7. määritetään matalammat aikarajat BGP-sessiolle
neighbor 2001:708:30:7F0::11 remote-as 1741
neighbor 2001:708:30:7F0::11 description IPv6 peering with AS1741 - Funet
neighbor 2001:708:30:7F0::11 timers 7 21
neighbor 2001:708:30:7FE::2 remote-as 39857
neighbor 2001:708:30:7FE::2 description IPv6 iBGP peering with AS39857 - gw-2
neighbor 2001:708:30:7FE::2 update-source Loopback0
neighbor 2001:708:30:7FE::2 timers 7 21

```

```

! Määritetään IPv6 unicast BGP-asetukset
! 1. aktivoidaan BGP-peeraus Funetin kanssa
! 2. määritetään route-map sisäänpäin tuleville BGP-mainostuksille
! 3. määritetään route-map ulospäin lähteville BGP-mainostuksille
! 4. aktivoidaan iBGP-peeraus varareitittimen kanssa
! 5. määritetään communityt lähetettäväksi (no-export)
! 6. määritetään iBGP-mainostuksiin next-hop osoittamaan itseensä
! 7. määritetään mainostettava oma prefiksi
! 8. injektoidaan omat aliverkot
! 9. poistetaan käytöstä iBGP-reittien validointi IGP:llä
address-family ipv6
neighbor 2001:708:30:7F0::11 activate
neighbor 2001:708:30:7F0::11 route-map funet-ipv6-main-in in
neighbor 2001:708:30:7F0::11 route-map funet-ipv6-main-out out
neighbor 2001:708:30:7FE::2 activate
neighbor 2001:708:30:7FE::2 send-community
neighbor 2001:708:30:7FE::2 next-hop-self
network 2001:708:30::/48
redistribute connected route-map ibgp-ipv6-connected
no synchronization
exit-address-family

```

## IPv6 unicast -asetukset varareitittimessä (gw-2)

Konfiguroidaan Funet-varayhteyden liitanta ja liitanta sisäiseen reititykseen varareitittimessä (gw-2). Lisäksi määritellään tarvittavat BGP ja iBGP -konfiguraatiot.

```

! Lisätään liitanta Funet-varayhteydelle
! 1. määritetään oma osoite (sovittu Funetin kanssa)
! 2. määritetään input-suodatukset
! 3. määritetään output-suodatukset
! 4. poistetaan käytöstä RA-mainostukset
! 5. poistetaan käytöstä MLD-prosessointi
! 6. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset

```

```

interface Vlan93
ipv6 address 2001:708:30:7F1::1/64
ipv6 traffic-filter funet_6in in
ipv6 traffic-filter funet_6out out
ipv6 nd ra suppress
no ipv6 mld router
no ipv6 redirects

```

```

! Lisätään liitanta sisäistä reititystä varten
! 1. määritetään osoite sisäiselle reititysverkolle
! 2. poistetaan käytöstä RA-mainostukset
! 3. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset

```

```

interface Vlan97
ipv6 address 2001:708:30:7FD::2/64
ipv6 nd ra suppress
no ipv6 redirects

```

```

! Lisätään staattinen reitti -> pääreitittimen Loopback0 (iBGP)
ipv6 route 2001:708:30:7FE::1/128 2001:708:30:7FD::1

```

```

! Määritetään prefix-list omalle prefiksille (BGP)
ipv6 prefix-list own-ipv6-prefixes seq 10 permit 2001:708:30::/48

```

```

! Määritetään prefix-list omille aliverkoille (iBGP)
ipv6 prefix-list ibgp-ipv6-prefixes seq 10 permit 2001:708:30::/48 ge 64 le 64

```

```

! Määritellään varayhteydelle route-map sisäänpäin tuleville BGP-mainostuksille

```

```

! 1. vähennetään varayhteyden kautta tulevien mainostusten painoarvoa (90 < oletusarvo)
route-map funet-ipv6-backup-in permit 10
set local-preference 90

! Määritellään varayhteydelle route-map ulospäin lähteville BGP-mainostuksille
! 1. suodatetaan mainostuksista muut kuin own-ipv6-prefixes
! 2. lisätään varayhteyden metriikka lähtevien mainostusten painoarvon vähentämiseksi
route-map funet-ipv6-backup-out permit 10
match ipv6 address prefix-list own-ipv6-prefixes
set metric 50

! Määritellään route-map iBGP-mainostuksille
! 1. suodatetaan mainostuksista muut kuin ibgp-ipv6-prefixes
! 2. estetään mainostusten leviäminen ulos
route-map ibgp-ipv6-connected permit 10
match ipv6 address prefix-list ibgp-ipv6-prefixes
set community no-export

! Määritetään BGP-konfiguraatio AS39857
router bgp 39857

! Poistetaan käytöstä automaattiset IPv4-peeraukset
no bgp default ipv4-unicast

! Määritetään peeraukset
! 1. määritetään BGP-peeraus Funetin AS1741 kanssa
! 2. määritetään kuvaus äskeiselle
! 3. määritetään matalammat aikarajat BGP-sessiolle
! 4. määritetään iBGP-peeraus pääreitittimen AS39857 kanssa
! 5. määritetään kuvaus edelliselle
! 6. määritetään lähdeosoite iBGP-yhteydelle
! 7. määritetään matalammat aikarajat BGP-sessiolle
neighbor 2001:708:30:7F1::11 remote-as 1741
neighbor 2001:708:30:7F1::11 description IPv6 peering with AS1741 - Funet
neighbor 2001:708:30:7F1::11 timers 7 21
neighbor 2001:708:30:7FE::1 remote-as 39857
neighbor 2001:708:30:7FE::1 description IPv6 iBGP peering with AS39857 - gw-1
neighbor 2001:708:30:7FE::1 update-source Loopback0
neighbor 2001:708:30:7FE::1 timers 7 21

! Määritetään IPv6 unicast BGP-asetukset
! 1. aktivoidaan BGP-peeraus Funetin kanssa
! 2. määritetään route-map sisäänpäin tuleville BGP-mainostuksille
! 3. määritetään route-map ulospäin lähteville BGP-mainostuksille
! 4. aktivoidaan iBGP-peeraus varareitittimen kanssa
! 5. määritetään communityt lähetettäväksi (no export)
! 6. määritetään iBGP-mainostuksiin next-hop osoittamaan itseensä
! 7. määritetään mainostettava oma prefiksi
! 8. injektoidaan omat aliverkot
! 9. poistetaan käytöstä iBGP-reittien validointi IGP:llä
address-family ipv6
neighbor 2001:708:30:7F1::11 activate
neighbor 2001:708:30:7F1::11 route-map funet-ipv6-backup-in in
neighbor 2001:708:30:7F1::11 route-map funet-ipv6-backup-out out
neighbor 2001:708:30:7FE::1 activate
neighbor 2001:708:30:7FE::1 send-community
neighbor 2001:708:30:7FE::1 next-hop-self
network 2001:708:30::/48
redistribute connected route-map ibgp-ipv6-connected
no synchronization
exit-address-family

```

## IPv6 multicast BGP-reiteillä

### Yhteiset IPv6 multicast -asetukset molemmissa reitittimissä

IPv6 PIM on oletusarvoisesti käytössä kaikissa liitännöissä, joten sitä ei tarvitse erikseen kytkeä päälle.

Kytetään IPv6 multicast käyttöön.

```
ipv6 multicast-routing
```

Lisätään suodatukset multicast-ryhmille RP:itä varten.



```
! Suodatus multicast-ryhmille (Renater RP)
! 1. sallitaan well-known global multicast kohdeosoitteena
! 2. sallitaan transient global multicast kohdeosoitteena
! 3. sallitaan unicast-prefix-based global multicast kohdeosoitteena
! 4. kielletään loput
ipv6 access-list m6bonerp_6in
permit ipv6 any FF0E::/16
permit ipv6 any FF1E::/16
permit ipv6 any FF3E::/16
deny ipv6 any any
```

```
! Suodatus multicast-ryhmille (Embedded RP)
! 1. sallitaan embedded-rp global multicast kohdeosoitteena
! 2. kielletään loput
ipv6 access-list embrp_6in
permit ipv6 any FF7E:140:2001:708:30:7FF::/96
deny ipv6 any any
```

```
! Suodatus multicast-ryhmille (Internal RP)
! 1. sallitaan well-known site-local multicast kohdeosoitteena
! 2. sallitaan transient site-local multicast kohdeosoitteena
! 3. sallitaan well-known org-local multicast kohdeosoitteena
! 4. sallitaan transient org-local multicast kohdeosoitteena
! 5. kielletään loput
ipv6 access-list intrp_6in
permit ipv6 any FF05::/16
permit ipv6 any FF15::/16
permit ipv6 any FF08::/16
permit ipv6 any FF18::/16
deny ipv6 any any
```

Konfiguroidaan reitittimiin RP:t ja niiden vaatimat Loopback-osoitteet.

```
! Lisätään Loopback2 (Embedded RP)
! 1. määritetään kuvaus liitännälle
! 2. poistetaan IPv4-osoite
! 3. määritetään loopback-osoite
! 4. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
interface Loopback2
description IPv6 Embedded RP
no ip address
ipv6 address 2001:708:30:7FF::1/128
no ipv6 redirects
```

```
! Lisätään Loopback3 (Internal RP)
! 1. määritetään kuvaus liitännälle
! 2. poistetaan IPv4-osoite
! 3. määritetään loopback-osoite
! 4. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
interface Loopback3
description IPv6 Internal RP
no ip address
ipv6 address 2001:708:30:7FF::2/128
no ipv6 redirects
```

```
! Lisätään Renater RP
ipv6 pim rp-address 2001:660:3007:300:1:: m6bonerp_6in
```

```
! Lisätään Embedded RP
ipv6 pim rp-address 2001:708:30:7FF::1 embrp_6in
```

```
! Lisätään Internal RP
ipv6 pim rp-address 2001:708:30:7FF::2 intrp_6in
```

```
! Määritetään lähdeosoite PIM rekisteröinneille
ipv6 pim register-source Loopback0
```

Muita asetuksia. Voi määrittellä, jos rauta tukee.

```
! Egress replication mode
ipv6 mfib hardware-switching replication-mode egress
! Disable explicit tracking by setting the explicit tracking database size to 0. (workaround bugiin, korjaus SXI1)
ipv6 mld snooping limit track 0
```

## IPv6 multicast -asetukset pääreitittimessä (gw-1)

Konfiguroidaan Funet-päähyyteyden liitännään rajoitukset multicastin leviämiselle (gw-1).

```

! Konfiguroidaan Funet-päyhyteyden liitäntää
! 1. määritetään raja bootstrap-viesteille
! 2. rajataan paikalliset multicast-ryhmät pois PIM-neuvotteluista
interface Vlan94
  ipv6 pim bsr border
  ipv6 multicast boundary scope 8

! Estetään siirtyminen Rendezvous Point Tree -> Shortest Path Tree
! Mahdollisesti tarpeellinen reitittimen bugien takia...
ipv6 pim spt-threshold infinity

```

## IPv6 multicast -asetukset varareitittimessä (gw-2)

Konfiguroidaan Funet-varayhteyden liitäntään rajoitukset multicastin leviämiselle (gw-2).

```

! Konfiguroidaan Funet-varayhteyden liitäntää
! 1. määritetään raja bootstrap-viesteille
! 2. rajataan paikalliset multicast-ryhmät pois PIM-neuvotteluista
interface Vlan93
  ipv6 pim bsr border
  ipv6 multicast boundary scope 8

! Estetään siirtyminen Rendezvous Point Tree -> Shortest Path Tree
! Mahdollisesti tarpeellinen reitittimen bugien takia...
ipv6 pim spt-threshold infinity

```

## IPv6-reititys aliverkkoihin HSRP:n kanssa

### Yhteiset IPv6 aliverkko-konfiguraatiot molemmissa reitittimissä

Lisätään nimipalvelinasetukset DHCPv6-pooliksi reitittimiin, luodaan avain HSRP:tä varten ja lisätään suodatus aliverkkoon osoiteväyrennosten varalle. Aliverkkokohtainen suodatus on käytössä IPv6 liikenteen käsittelemiseksi raudalla, koska IPv6 Unicast RPF toteutetaan softalla kyseissä laitteissa.

```

! Luodaan DHCPv6-pooli
! 1. määritetään ensisijainen nimipalvelin
! 1. määritetään toissijainen nimipalvelin
! 1. määritetään domainnimi
ipv6 dhcp pool nd-kyla-pool
  dns-server 2001:708:30:10::2
  dns-server 2001:708:30:20::2
  domain-name kyla.fi

! Luodaan HSRP:lle avain
key chain hsrp2
  key 1
    key-string foobar123

! Suodatus sisäänpäin tulevalle liikenteelle (aliverkkokohtainen)
! 1. sallitaan link-local lähdeosoitteena
! 2. sallitaan aliverkon prefiksi lähdeosoitteena
! 3. kielletään loput
ipv6 access-list trinet_6in_v313
  permit ipv6 FE80::/10 any
  permit ipv6 2001:708:30:313::/64 any
  deny ipv6 any any

ipv6 access-list trinet_6in_v314
  permit ipv6 FE80::/10 any
  permit ipv6 2001:708:30:314::/64 any
  deny ipv6 any any

```

### IPv6 aliverkko-konfiguraatiot pääreitittimessä (gw-1)

Lisätään HSRP-konfiguraatiot sekä määritetään reititin aktiiviseksi DR:ksi.

```

! Konfiguroidaan aliverkon liitäntää
! 1. määritetään aliverkon osoite (HSRP)
! 2. määritetään input-suodatus (aliverkkokohtainen)
! 3. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
! 4. määritetään korkeampi prioriteetti aktiiviseksi DR:ksi
! 5. määritetään käytettäväksi HSRPv2:sta

```

```
! 6. määritetään virtuaalinen aktiivinen reititin (link-local -osoite) HSRP-ryhmälle
! 7. määritetään korkeampi prioriteetti aktiiviseksi reitittimeksi
! 8. määritetään kaappamaan aktiivinen reititin prioriteetin perusteella,
!   odottaa 30s ennen kuin yrittää
! 9. määritetään MD5-todennus HSRP-neuvotteluihin
! 10. määritetään luovuttamaan aktiivinen reititin, jos fyysinen Funet-liitântä menee alas
```

```
interface Vlan313
  ipv6 address 2001:708:30:313::E/64
  ipv6 traffic-filter trinet_6in_v313 in
  no ipv6 redirects
  ipv6 pim dr-priority 2
  standby version 2
  standby 2313 ipv6 FE80::1
  standby 2313 priority 105
  standby 2313 preempt delay minimum 30
  standby 2313 authentication md5 key-chain hsrp2
  standby 2313 track GigabitEthernet4/47
```

```
interface Vlan314
  ipv6 address 2001:708:30:314::E/64
  ipv6 traffic-filter trinet_6in_v314 in
  no ipv6 redirects
  ipv6 pim dr-priority 2
  standby version 2
  standby 2314 ipv6 FE80::1
  standby 2314 priority 105
  standby 2314 preempt delay minimum 30
  standby 2314 authentication md5 key-chain hsrp2
  standby 2314 track GigabitEthernet4/47
```

## IPv6 aliverkko-konfiguraatiot varareitittimessä (gw-2)

Lisätään HSRP-konfiguraatiot.

```
! Konfiguroidaan aliverkon liitântää
! 1. määritetään aliverkon osoite (HSRP)
! 2. määritetään input-suodatus (aliverkkokohtainen)
! 3. poistetaan käytöstä ICMPv6 redirect -vastaukset
! 4. määritetään käytettäväksi HSRPv2:sta
! 5. määritetään virtuaalinen aktiivinen reititin (link-local -osoite) HSRP-ryhmälle
! 6. määritetään kaappamaan aktiivinen reititin tarvittaessa
! 7. määritetään MD5-todennus HSRP-neuvotteluihin
```

```
interface Vlan313
  ipv6 address 2001:708:30:313::F/64
  ipv6 traffic-filter trinet_6in_v313 in
  no ipv6 redirects
  standby version 2
  standby 2313 ipv6 FE80::1
  standby 2313 preempt
  standby 2313 authentication md5 key-chain hsrp2
```

```
interface Vlan314
  ipv6 address 2001:708:30:314::F/64
  ipv6 traffic-filter trinet_6in_v314 in
  no ipv6 redirects
  standby version 2
  standby 2314 ipv6 FE80::1
  standby 2314 preempt
  standby 2314 authentication md5 key-chain hsrp2
```

## IPv6 palvelinverkkoihin ilman autokonfiguraatiota

Poistetaan RA-mainostukset käytöstä molemmissa reitittimissä.

```
! Konfiguroidaan palvelinverkon liitântää
! 1. poistetaan käytöstä RA-mainostukset
interface Vlan313
  ipv6 nd ra suppress
```

## IPv6 asiakasverkkoihin autokonfiguraatiolla

Lisätään optio nimipalvelintietoja varten ja korotetaan RA-mainostusten prioriteettia molemmissa reitittimissä.

```
! Konfiguroidaan asiakasverkon liitântää
! 1. ilmoitetaan DHCPv6:lla tarjottavista nimipalvelinasetuksista
! 2. määritetään korkeampi prioriteetti RA-mainostuksille
! 3. määritetään DHCPv6-pooli nimipalvelinasetusten osalta
interface Vlan314
  ipv6 nd other-config-flag
  ipv6 nd router-preference High
  ipv6 dhcp server nd-kyla-pool
```

## IPv6 -asetukset kytkimissä

### Cisco Catalyst 3020 ja 3120

MLDv2 snoopingin käyttöönottamiseksi täytyy laitteen resurssiallokointeja muuttaa tukemaan IPv6:sta.

```
! Valitaan dual-stack SDM template
sdm prefer dual-ipv4-and-ipv6 vlan
! Bootataan kytkin, jotta muutos astuu voimaan
reload
```

```
! Kytetään MLDv2 snooping käyttöön
ipv6 mld snooping
```

### HP ProCurve 2910al

MLDv2 snooping on tuettu ProVision -sarjan ASIC:eilla varustetuissa kytkimissä (mm. 5400zl, 3500yl) ja uudessa riisuttuun ProVision -ASIC:iin perustuvassa 2910al:ssä. MLDv2 snooping kytketään HP:ssä käyttöön aliverkko-kohtaisesti.

```
! Kytetään MLDv2 snooping käyttöön aliverkossa
vlan 313
  ipv6 mld
  exit
```

IPv6 host -ominaisuutta tukevissa kytkimissä hallinta voidaan hoitaa IPv6:n yli.

```
! Lisätään IPv6-osoite hallinta-aliverkkoon
vlan 666
  ipv6 address 2001:708:30:666::abc/64
  exit
```

```
! Rajoitetaan osoitteet, joista hallintaa saa tehdä
ipv6 authorized-managers 2001:708:30:666:: ffff:ffff:ffff:ffff:: access Manager
```

## IPv6-osoitteet asiakaskoneissa

Alla esimerkkejä IPv6-osoitteiden konfiguraatiosta ja perustason palomuurauksesta eri käyttöjärjestelmissä.

### Red Hat Enterprise Linux

Ainakin RHEL3, RHEL4 ja RHEL5 tukevat IPv6-osoitteistusta.

#### IPv6 manuaalikonfiguraatiolla RHEL-järjestelmissä

Kytetään IPv6 käyttöön, poistetaan autokonfiguraatio ja määritetään oletusreitit (/etc/sysconfig/network):

```
NETWORKING_IPV6=yes
IPV6_AUTOCONF=no
IPV6_DEFAULTGW=2001:708:30:abc::1
```

Määritetään IPv6-osoite eth0-liitännälle (/etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-eth0):

```
IPV6INIT=yes
IPV6ADDR=2001:708:30:abc::2/64
```

Otetaan muutokset käyttöön:

```
$ service network restart
```

IPv6-yhteyden voi testata ping6 ja traceroute6 -komennoilla:

```
$ ping6 -nc3 www.nordu.net
PING www.nordu.net(2001:948:0:f005::42) 56 data bytes
64 bytes from 2001:948:0:f005::42: icmp_seq=0 ttl=60 time=7.17 ms
64 bytes from 2001:948:0:f005::42: icmp_seq=1 ttl=60 time=7.22 ms
64 bytes from 2001:948:0:f005::42: icmp_seq=2 ttl=60 time=7.22 ms

--- www.nordu.net ping statistics ---
3 packets transmitted, 3 received, 0% packet loss, time 2000ms
rtt min/avg/max/mdev = 7.176/7.209/7.227/0.073 ms, pipe 2

$ traceroute6 www.nordu.net
traceroute to www.nordu.net (2001:948:0:f005::42), 30 hops max, 40 byte packets
 1 gw-v129.tky.fi (2001:708:30::1)  0.437 ms  0.505 ms  0.623 ms
 2 funet-ky-gw.tky.fi (2001:708:30:7f0::11)  0.392 ms  0.493 ms  0.569 ms
 3 helsinki0-x4100-csc0.ipv6.funet.fi (2001:708:0:f000::1:1)  0.564 ms  0.670 ms  0.760 ms
 4 se-tug.nordu.net (2001:948:0:f035::1)  7.277 ms  7.392 ms  7.461 ms
 5 server.nordu.net (2001:948:0:f005::42)  7.350 ms  7.336 ms  7.323 ms
```

## IPv6-palomuuraus RHEL-järjestelmissä

RHEL-järjestelmissä IPv6-liikennettä voidaan suodattaa ip6tables:n avulla. Ip6tables:n käyttöönotto tapahtuu konfiguroimalla ensin tarvittavat säännöt ja lopuksi määrittämällä ip6tables käynnistymään automaattisesti.

Esimerkki yksinkertaisesta palomuurauksesta, jossa http on auki kaikkialle ja ssh omaan verkkoon (/etc/sysconfig/ip6tables):

```
*filter
:INPUT ACCEPT [0:0]
:FORWARD ACCEPT [0:0]
:OUTPUT ACCEPT [0:0]
:RH-Firewall-1-INPUT - [0:0]
-A INPUT -j RH-Firewall-1-INPUT
-A FORWARD -j RH-Firewall-1-INPUT
# hyväksytään kaikki liikenne loopback-liitännään
-A RH-Firewall-1-INPUT -i lo -j ACCEPT
# hyväksytään ICMPv6 kaikkialta
-A RH-Firewall-1-INPUT -p icmpv6 -j ACCEPT
# hyväksytään traceroute6 kaikkialta
-A RH-Firewall-1-INPUT -p udp -m udp --dport 32768:61000 -j ACCEPT
-A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp -m tcp --dport 32768:61000 -j ACCEPT
# hyväksytään ssh omasta verkosta
-A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp -m tcp -s 2001:708:30::/48 --dport 22 -j ACCEPT
# hyväksytään http kaikkialta
-A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp -m tcp --dport 80 -j ACCEPT
# hylätään ident (nopeuttaa tietyissä tapauksissa ssh-kirjautumisia)
-A RH-Firewall-1-INPUT -p tcp --dport 113 -j REJECT --reject-with tcp-reset
# hylätään loput ICMPv6 Port Unreachable -vastauksella
-A RH-Firewall-1-INPUT -j REJECT --reject-with icmp6-port-unreachable
COMMIT
```

Konfigurointien jälkeen palomuuuri otetaan käyttöön ja määritetään käynnistymään automaattisesti:

```
$ service ip6tables restart
$ chkconfig ip6tables on
```

## IPv6-tuki sovellusohjelmistoissa

Seuraavassa muutamia esimerkkejä palveluista, joissa IPv6 on tuettu ja todettu toimivaksi. Esimerkeissä käytetään lähtökohtaisesti alustana RHEL5:sta, joten konfiguraatiotiedostojen sijainti on pitkälti RHEL-riippuvainen vaikkakin konfiguraatiot ovat helposti sovellettavissa myös muihin ympäristöihin.

### Nimipalvelu

#### Käänteisnimipalvelu

IPv6-prefiksin delegointia varten nimipalvelimille täytyy lisätä määrittäykset IPv6-avaruudelle. Esimerkissä käytetään ns. "hidden master" -mallia, jossa julkiset nimipalvelimet hakevat

IPv6-käänteiszonon tiedot "hidden master" -palvelimelta ja julkiset palvelimet esitetään ulospäin autoratiivisina. Kolmantena autoratiivisena palvelimena on Funetin ns-secondary.funet.fi.

Käänteisnimipalvelu ei tarvitse IPv6-tukea nimipalvelimilta.

Uuden IPv6-käänteiszonon määrittelyt (/var/named/chroot/var/named/slaves/rev-2001:708:30.zone):

```
$ORIGIN .
$TTL 3600      ; 1 hour
0.3.0.0.8.0.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa IN SOA ns3.tky.fi. hostmaster.tky.fi. (
                                2008112200 ; serial
                                3600      ; refresh (1 hour)
                                600       ; retry (10 minutes)
                                1209600   ; expire (2 weeks)
                                3600      ; minimum (1 hour)
                                )
                                NS      ns3.tky.fi.
                                NS      ns4.tky.fi.
                                NS      ns-secondary.funet.fi.
```

BIND9-konfiguraatio (/var/named/chroot/etc/named.conf) juuri luotua IPv6-käänteiszonea varten:

```
zone "0.3.0.0.8.0.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa" {
    type slave;
    notify explicit;
    also-notify {
        128.214.248.132;
    };
    file "slaves/rev-2001:708:30.zone";
    masters {
        82.130.0.x;
    };
};
```

Konfiguraatiomuutosten käyttöönotto ja testaus (RHEL5):

```
# nimipalveluohjelmiston uudelleenkäynnistys
$ service named restart

# testaus
$ dig @82.130.0.5 0.3.0.0.8.0.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa SOA +short
ns3.tky.fi. hostmaster.tky.fi. 2008112200 3600 600 1209600 3600
```

Kun käänteiszonon toimivuus on varmistettu, ilmoitetaan Funetille nimipalvelimet, joihin delegointi voidaan liittää.

## IPv6-tuki nimipalvelukyselyille

Tuki IPv6-kyselyitä varten vaatii listen-on-ipv6 -option lisäämisen ja tarvittaessa suodatusten mukauttamisen BIND9-nimipalvelinohjelmiston konfiguraatioihin. Ennen lisäystä on syytä varmistaa, että palvelin on konfiguroitu käyttämään IPv6:sta ja että palomuurissa (ip6tables) on tarvittavat aukot (53/udp ja 53/tcp). Muutokset konfiguraatioihin (/var/named/chroot/etc/named.conf):

```
# rekursiivisten kyselyiden suodatusten mukauttaminen
acl RECURSION {
    # ...
    ::1;
    2001:708:30::/48;
};

# optio, jolla IPv6-tuki otetaan käyttöön
options {
    # ...
    listen-on-v6 {any;};
    allow-recursion {
        RECURSION;
    };
};
```

## Autoratiivisen nimipalvelimen IPv6-tuki

IPv6:sta osaavan nimipalvelimen tiedot voi julkaista lisäämällä nimipalvelimille AAAA-tietueen (/var/named/chroot/var/named/slaves/ky.fi.zone):

```
tky.fi.          3600 IN NS ns3.tky.fi.
tky.fi.          3600 IN NS ns4.tky.fi.
ns3.tky.fi.      3600 IN A 82.130.0.5
ns3.tky.fi.      3600 IN AAAA 2001:708:30:10::2
ns4.tky.fi.      3600 IN A 82.130.63.5
ns4.tky.fi.      3600 IN AAAA 2001:708:30:20::2
```

Konfiguraatiomuutosten testaus:

```
$ dig @ns1.hut.fi tky.fi ns

; <<> DiG 9.4.2-P2 <<> @ns1.hut.fi tky.fi ns
; (1 server found)
;; global options: printcmd
;; Got answer:
;; ->HEADER<- opcode: QUERY, status: NOERROR, id: 25130
;; flags: qr rd ra; QUERY: 1, ANSWER: 2, AUTHORITY: 0, ADDITIONAL: 4

;; QUESTION SECTION:
;tky.fi.                IN      NS

;; ANSWER SECTION:
tky.fi.                 1492    IN      NS      ns3.tky.fi.
tky.fi.                 1492    IN      NS      ns4.tky.fi.

;; ADDITIONAL SECTION:
ns3.tky.fi.             1492    IN      A       82.130.0.5
ns3.tky.fi.             555     IN      AAAA    2001:708:30:10::2
ns4.tky.fi.             1492    IN      A       82.130.63.5
ns4.tky.fi.             555     IN      AAAA    2001:708:30:20::2

;; Query time: 0 msec
;; SERVER: 130.233.224.1#53(130.233.224.1)
;; WHEN: Fri Feb 6 20:41:14 2009
;; MSG SIZE rcvd: 148
```

## IPv6-tuki Linux-asiakskoneissa

Nimipalvelukyselyt IPv6:n yli otetaan käyttöön lisäämällä resolverin konfiguraatioon (/etc/resolv.conf) nimipalvelimien IPv6-osoitteet:

```
nameserver 2001:708:30:10::2
nameserver 2001:708:30:20::2
```

## SSH

### OpenSSH-palvelun IPv6-tuki

OpenSSH:n IPv6-tuen käyttöönotto vaatii !ListenAddress -option lisäämisen SSH-palvelimen konfiguraatioon (/etc/ssh/sshd\_config):

```
!ListenAddress ::
```

Muutoksen jälkeen SSH-palvelu on syytä käynnistää uudelleen.

```
$ service sshd restart
```

SSH-yhteyksiä varten on myös syytä tarkastaa, että hosts.allow on konfiguroitu sallimaan yhteydet:

```
sshd : [2001:708:30:]/48 : allow
ALL : UNKNOWN : deny
ALL : localhost localhost.localdomain localhost6 localhost6.localdomain6 : allow
ALL : ALL : deny
```

### OpenSSH-asiakkaan IPv6-tuki

OpenSSH suosii oletusarvoisesti IPv6:sta, jos palvelimella on AAAA-tietue nimipalvelussa. SSH-palvelun IPv6-tuen voi varmistaa pakottamalla SSH-asiakkaan käyttämään yhteydenottoon IPv6:sta:

```
$ ssh -6 tunnus@palvelin.tky.fi
```

## Apache

Apache tukee IPv6:sta, jos vaan ohjelmisto on määritetty kuuntelemaan IPv6-pyyntöjä. Konfiguraatiosta (/etc/httpd/conf/httpd.conf) tulee tarkistaa, että palvelin kuuntelee IPv6:sta:

**Listen 80**

Lisäksi mahdollisiin IP-osoitteisiin pohjautuviin pääsynestokontroleihin (/etc/httpd/conf/httpd.conf, .htaccess, ...) tulee lisätä vastaava IPv6-avaruus.

```
Allow from 127.0.0.1
Allow from 82.130.0.0/18
Allow from ::1
Allow from 2001:708:30::/48
```

Muutosten jälkeen Apache täytyy käynnistää uudelleen:

```
$ service httpd restart
```

## Aikapalvelu

### Aikapalvelimen NTP-ohjelmiston IPv6-tuki (unicast ja multicast)

NTP-aikapalvelu IPv6:n yli toimii kohtuullisesti sekä unicastilla että multicastilla ainakin nykyaikaisissa Linux-jakeluissa. Seuraavia konfiguraatioita on testattu RHEL5-palvelimella ja Ubuntu-asiakkailla. NTP IPv6 multicastilla vaatii NTP-ohjelmiston päivityksen uudempaan RHEL5-koneissa (kolmannen osapuolen 4.2.4p4-2), jotta IPV6 multicast toimii. Testatuista Ubuntu-asiakkaista 8.04 toimii, mutta uudempi 8.10 ei, koska käyttöjärjestelmäversiossa on ongelmia IPv6:n kanssa.

Seuraavat esimerkit ovat yksinkertaistettuja ilman NTP-protokollan tarjoamaa todennustukea. Todennuksesta löytyy lisätietoa osoitteesta <http://support.ntp.org/bin/view/Support/ConfiguringAutokey>

NTP-palvelun konfiguraatio (/etc/ntp.conf):

```
restrict      default ignore
restrict      -6 default ignore
restrict      127.0.0.1
restrict      -6 ::1
# client networks
restrict      82.130.0.0 mask 255.255.192.0 nomodify notrap nopeer
restrict      -6 2001:708:30:: mask ffff:ffff:ffff:: nomodify notrap nopeer
# ntp servers
server        130.233.224.52 iburst prefer
restrict      130.233.224.52
server        130.233.224.60 iburst
restrict      130.233.224.60
# local fallback server
server        127.127.1.0
fudge         127.127.1.0 stratum 10
# multicast
broadcast     224.0.1.1 ttl 3
broadcast     -6 ff05::101 ttl 3
# options
driftfile     /var/lib/ntp/drift
broadcastdelay 0.008
keys          /etc/ntp/keys
```

Muutoksen jälkeen NTP-palvelu täytyy käynnistää uudelleen:

```
$ service ntpd restart
```

### Asiakaskoneen NTP-ohjelmiston IPv6-tuki (unicast ja multicast)

Asiakaskoneessa aikapalvelun käyttö IPv6:n yli vaatii aikapalvelimien lisäämisen NTP-ohjelmiston konfiguraatioihin (/etc/ntp.conf). Seuraavassa esimerkki asiakaskoneen konfiguraatiosta käyttäen IPv6 unicastia:

```
restrict      default ignore
restrict      -6 default ignore
restrict      127.0.0.1
restrict      -6 ::1
# ntp servers
```



```

server      -6 2001:708:30:10::2
restrict    -6 2001:708:30:10::2 nomodify notrap noquery
server      -6 2001:708:30:20::2
restrict    -6 2001:708:30:20::2 nomodify notrap noquery
# local fallback server
server      127.127.1.0
fudge       127.127.1.0 stratum 10
# options
driftfile   /var/lib/ntp/drift
broadcastdelay 0.008
keys        /etc/ntp/keys

```

Vastaava esimerkki käyttäen IPv6 multicastia:

```

restrict    default ignore
restrict   -6 default ignore
restrict    127.0.0.1
restrict   -6 ::1
# ntp servers
multicastclient -6 ff05::101
restrict   -6 2001:708:30:10::2 nomodify notrap noquery
restrict   -6 2001:708:30:20::2 nomodify notrap noquery
# local fallback server
server      127.127.1.0
fudge       127.127.1.0 stratum 10
# options
driftfile   /var/lib/ntp/drift
broadcastdelay 0.008
keys        /etc/ntp/keys
disable     auth

```

Muutosten jälkeen NTP-asiakas täytyy käynnistää uudelleen:

```
$ service ntpd restart
```

Muutokset voi testata ntpq -komennolla, seuraavassa esimerkki asiakkaasta käyttäen IPv6 multicastia:

```

$ ntpq -pn
  remote           refid      st t when poll reach  delay  offset  jitter
=====
LOCAL(0)          .LOCL.      10 l   49   64  377   0.000   0.000   0.001
*2001:708:30:10:  130.233.224.52  3 m   59   64  376   0.143   0.092   0.014
+2001:708:30:20:  130.233.224.52  3 m   39   64  376   0.200   0.001   0.013

```