

# IPv6-foredrag

22 år, men ennå ikke den største suksessen

Trond Endrestøl

Fagskolen Innlandet, IT-avdelingen

18. oktober 2018



## Foredragets filer I

- Foredraget er mekka ved hjelp av [GNU Emacs](#), [AUCTeX](#), [pdfTeX](#) fra [MiKTeX](#), [L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X](#)-dokumentklassa [beamer](#), [Dia](#), [GIMP](#), [Inkscape](#), [Wireshark](#), [Subversion](#), [TortoiseSVN](#) og [Adobe Reader](#)
- Hovedfila bærer denne identifikasjonen:  
\$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.tex 225 2018-10-18  
17:42:21Z trond \$
- Driverfila for denne PDF-fila bærer denne identifikasjonen:  
\$Ximalas: trunk/ipv6-foredrag.handout.4on1.tex 78  
2013-12-04 09:53:24Z trond \$
- Copyright © 2018 Trond Endrestøl
- Dette verket er lisensiert med: [Creative Commons](#),  
[Navngivelse-DelPåSammeVilkår 3.0 Norge](#) (CC BY-SA 3.0)



## Foredragets filer I

- Filene til foredraget er tilgjengelig gjennom:
  - Subversion: `svn co svn://svn.ximalas.info/ipv6-foredrag`
  - Web: [svnweb.ximalas.info/ipv6-foredrag](http://svnweb.ximalas.info/ipv6-foredrag)
  - Begge metodene er tilgjengelig med både IPv4 og IPv6
- [ipv6-foredrag.foredrag.pdf](#) vises på lerretet
- [ipv6-foredrag.handout.pdf](#) er mye bedre for publikum å se på egenhånd
- [ipv6-foredrag.handout.2on1.pdf](#) og [ipv6-foredrag.handout.4on1.pdf](#) er begge velegnet til utskrift
- \*.169.pdf-filene er i 16:9-format
- \*.1610.pdf-filene er i 16:10-format



## Oversikt av hele foredraget

Del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- 2 Antall adresser
- 3 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 4 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- 5 IPv6 brukes likevel
- 6 Andre nyttige ting ved IPv6



## Oversikt av hele foredraget

### Del 2: IPv6 i inn- og utland

- 7 IPv6 ved Fagskolen Innlandet
- 8 IPv6 andre steder i Norge
- 9 IPv6 i utlandet
- 10 Google Chrome og IPvFoo
- 11 Mozilla Firefox og IPvFox



## Oversikt av hele foredraget

### Del 4: IPv6 over Ethernet

- 14 IPv6 over Ethernet
- 15 IPv6 over andre lag-2-typer



## Oversikt av hele foredraget

### Del 3: IPv6-header

- 12 IPv6-header
  - Flow Label
- 13 Utvidelsesheadere
  - Hop-by-hop Options Header
  - Destination Options Header
  - Routing Header
  - Fragment Header
  - Authentication Header
  - Encapsulating Security Payload
  - Mobility Header



## Oversikt av hele foredraget

### Del 5: Grunnleggende om adresser

- 16 Grunnleggende om adresser
- 17 Adressedemo
- 18 MAC-48-adresser
- 19 Modda IEEE EUI-64-format
- 20 Manuell grensesnittidentifikator
- 21 Tilfeldig grensesnittidentifikator
- 22 Spesialadresser
- 23 Duplicate Address Detection — DAD
- 24 IPv6-adresser i URL-er



## Oversikt av hele foredraget

### Del 6: Adresstyper

- 25 Adresstyper
- 26 Link-local-adresser
- 27 Site-local-adresser
- 28 Offentlige unicast-adresser
- 29 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 30 Anycast-adresser
- 31 Multicast-adresser



## Oversikt av hele foredraget

### Del 8: ICMPv6

- 34 ICMPv6
- 35 Multicast Listener Discovery
- 36 Neighbor Discovery
- 37 Router Renumbering
- 38 Node Information
- 39 Inverse Neighbor Discovery
- 40 Multicast Listener Report Version 2
- 41 Mobile IPv6
- 42 SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- 43 Experimental Mobility Type
- 44 Multicast Router Discovery
- 45 Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)
- 46 RPL Control Message
- 47 ILNPv6 Locator Update Message
- 48 Duplicate Address



## Oversikt av hele foredraget

### Del 7: DNS

- 32 AAAA og PTR

- 33 A6



## Oversikt av hele foredraget

### Del 9: Neighbor Discovery

- 49 Router Solicitation
- 50 Router Advertisement
- 51 Neighbor Solicitation
- 52 Neighbor Advertisement
- 53 Redirect



## Oversikt av hele foredraget

Del 10: DHCPv6

54 DHCPv6

55 Meldinger

56 DHCP Unique Identifier



## Oversikt av hele foredraget

Del 12: Konfigurasjon av IPv6

61 Cisco IOS

- IPv6-unicast-routing
- IPv6-multicast-routing
- ACL-er
- DHCPv6
- Sperre for fremmed routerannonsering
- Sperre for falske DHCPv6-servere
- Kombinert ACL for kantporter

62 Cisco AireOS

63 OS-konfig



## Oversikt av hele foredraget

Del 11: Avansert multicast

57 Multicastflaggene

58 Når T er satt til 1

59 Når PT er satt til 11

60 Når RPT er satt til 111



## Oversikt av hele foredraget

Del 13: Noen RFC-er om IPv6

64 Noen RFC-er om IPv6



# Oversikt av hele foredraget

Del 14: Noen bøker om IPv6

## 65 Noen bøker om IPv6

# Oversikt over del 1: Kort om IPv6

- 1 Hva er IPv6?
- 2 Antall adresser
- 3 Hvorfor trenger vi IPv6?
- 4 Hvorfor brukes ikke IPv6?
- 5 IPv6 brukes likevel
- 6 Andre nyttige ting ved IPv6

# Del I

## Kort om IPv6

# Kort om IPv6

Hva er IPv6?

- En lag-3-protokoll
- Erstatning for IPv4
- Har eksistert siden desember 1995, [RFC 1883](#)
- Endelig standardisert i [RFC 8200](#), juli 2017
- **Har 128-bit adresser**
- **Automatisk adressekonfigurasjon uten bruk av DHCPv6**
- Enkel grunnheader med fast lengde
- Flere utvidelsesheadere, men riktig rekkefølge er viktig
- Nye versjoner av ICMP og DHCP: ICMPv6 og DHCPv6
- Innebygd kobling mellom adressene i lagene 2 og 3
  - ARP og RARP ble funnet opp i ettertid for IPv4
  - ICMPv6 og ND håndterer koblingene mellom link-adresser og IPv6-adresser

## Kort om IPv6

### Antall adresser

- Totalt antall IPv6-adresser:
- $2^{128} = 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456$
- 1/8 av dette kan brukes til offentlige unicast-adresser:
- $2^{125} = 42.535.295.865.117.307.932.921.825.928.971.026.432$
- Fortsatt er det mange flere IPv6-unicast-adresser enn det er IPv4-adresser:
- $2^{32} = 4.294.967.296$
- Ca. **7,6 mrd.** mennesker på Jorda, og ca. halvparten av disse bruker Internett
- Mindre enn **3.702.258.432** IPv4-adresser kan bli brukt som offentlige IPv4-unicast-adresser
- Se Tronds utregning fra juli 2012: <http://ximalas.info/2012/07/20/how-many-ipv4-addresses-are-there/>
- Ingen adresser til infrastruktur hvis hver «internettperson» får sin IPv4-adresse



## Kort om IPv6

### Hvorfor trenger vi IPv6?

- Mobilmarkedet viser en enorm vekst: smarttelefoner, nettbrett m.m.
- Verden går tom for offentlige IPv4-adresser
- «**IPokalsypsen**» er her! (Geoff Huston, APNIC)
- **IANA** gikk tom **3. februar 2011**
- 4 av 5 **RIR**-er er tomme:
  - **APNIC** gikk tom **19. april 2011**
  - **RIPE NCC** gikk tom **14. september 2012**
  - **LACNIC** gikk tom **10. juni 2014**
  - **ARIN** gikk tom **24. september 2015**
- Dersom **AFRINIC** fortsetter i dagens tempo, så kan **AFRINIC** holde på til **8. juni 2019**
  - AFRINIC er i **fase 1** med **7.407.616 enkeltadresser ledig**, og vil gå til fase 2 når de har bare én /11-blokk ledig i den siste /8-blokken
  - AFRINIC vil prøve å holde én sammenhengende /11-blokk lengst mulig i reserve



## Kort om IPv6

### Hvorfor brukes ikke IPv6?

- Markedskreftene bestemmer
- Mange inntar en «vente-og-se»-holdning
  - **homenet.no** vil *ikke tilby IPv6* før «et større behov foreligger»
- Store og mellomstore selskaper:
  - Kjøper opp små selskaper og hamstrer IPv4-blokker
  - Kjøper IPv4-blokker på ettermarkedet/konkursbo:
    - Microsoft – \$7,5 mill. → Nortel + \$7,5 mill. – 666.624 IPv4-adresser → Microsoft + 666.624 IPv4-adresser
    - Altibox – \$1,3 mill. → U.K. Department for Work and Pensions + \$1,3 mill. – 131.072 IPv4-adresser → Altibox + 131.072 IPv4-adresser (Ref. 1, 2, 3)
  - Prisen for brukte IPv4-adresser har gått ned fra \$11,25/adresse til \$10/adresse
    - Ca. kr. 82,55/adresse



## Kort om IPv6

### Hvorfor brukes ikke IPv6?

- Telebransjen satser fortsatt hardt på IPv4:
  - (Edge) NAT i CPE (RFC 3022)
  - Carrier-Grade NAT (CGN) i stamnett (RFC 6264)
  - Shared Address Space etter behov i stamnett (100.64.0.0/10) (RFC 6598)
  - (Litt off-topic: HTTP/S-tunnelering av rubb og stubb)
- Glem det!
- Ende-til-ende-konnektivitet oppnås best uten noen former for adresseoversettelse
- Før eller siden blir CGN for kostbart og komplisert å vedlikeholde
  - CGN gjør det mer komplisert å **spore abonnenter**
- 4G/LTE og 5G klarer kanskje å øke IPv6-preset (RFC 6459)
- 464XLAT er en mulig **avslutningsstrategi for IPv4** (RFC 6877)
- **IPv6 er det eneste tilgjengelige og realistiske alternativet til IPv4**



## Kort om IPv6

IPv6 brukes likevel

- Apple annonserte at [IPv6](#) blir et krav for apper i «App Store» fra og med iOS 9
- Facebook hevder at newsfeeden lastes inn 30–40 % raskere med [IPv6](#)
- Microsoft hevder at man får best opplevelse med «Xbox One» med [IPv6](#)
- Mer enn 50 % av kundetrafikken hos T-Mobile US går med [IPv6](#)
- Adresserommene fra [RFC 1918](#)
  - kan bli uttømt over tid, og
  - bli problematisk ved fusjoner, bl.a. overlappinger;noe Microsoft [opplevde](#) etter fusjon med Nokia og utvidelse av Azure
- Microsoft eksperimenterte med ren IPv6 i 2016, og møtte noen hindre på veien
  - routere som ikke støtter RDNSS ([RFC 8106](#)) og gjør livet surt for Android,
  - Android som ikke støtter DHCPv6 ([RFC 3315](#)) og gjør livet surt for brukerne når RDNSS ikke er tilgjengelig, og
  - Windows 10 som hadde en feil ved DHCPv6-håndteringen.

T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

25 / 208



## Kort om IPv6

Andre nyttige ting ved IPv6

- Kortere rutingtabeller
  - Uninett annonserer disse IPv4-subnettene med BGP:

78.91.0.0/16,	<a href="#">128.39.0.0/16</a> ,	129.177.0.0/16,
129.240.0.0/15,	129.242.0.0/16,	144.164.0.0/16,
151.157.0.0/16,	152.94.0.0/16,	156.116.0.0/16,
157.249.0.0/16,	158.36.0.0/14,	161.4.0.0/16,
193.156.0.0/15,	192.111.33.0/24,	192.133.32.0/24,
	192.146.238.0/23	
  - Uninett trenger bare å annonsere dette IPv6-prefikset:
  - 2001:700::/32
  - Uninetts prefiks ble [alloktert](#) 6. april 2001(?), og er en del av 2001:600::/23 som RIPE NCC [fikk](#) av IANA, 1. juli 1999

T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

27 / 208



## Kort om IPv6

Andre nyttige ting ved IPv6

- Hierarkisk adressestruktur
  - LIR/ISP mottar som regel et /32-prefiks av RIR (eller NIR i APNIC-regionen)
  - Sluttbruker mottar som regel et /48-, /52- eller et /56-prefiks
  - Sluttbruker kan da opprette  $2^{128-48-64} = 2^{16} = 65536$ ,  $2^{128-52-64} = 2^{12} = 4096$  eller  $2^{128-56-64} = 2^8 = 256$  subnett/VLAN
- Enklere planlegging av subnett sammenlignet med IPv4
  - De fleste IPv6-subnett bruker et 64-bit prefiks
  - Autokonfigurasjon *krever* et 64-bit prefiks
  - Fast prefikslengde på 64 bit er *ikke* et absolutt krav
  - DHCPv6 eller manuell konfigurasjon må brukes når prefikslengda er ulik 64 bit

T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

26 / 208



## Kort om IPv6

Andre nyttige ting ved IPv6

- Sjekksum er overlatt til høyere og lavere lag
- Fragmentering skal gjøres hos avsender, og ikke underveis
  - Avsender må sjekke veien lengre fremme og måle smaleste krøttesti
  - Path Maximum Transmission Unit Discovery (Path MTU, PMTUD)
  - Sende noen testpakker, og redusere størrelsen og prøve på nytt dersom «Packet Too Big» mottas
- IPsec ble spesifisert som en del av IPv6
  - Finnes også for IPv4
  - Må konfigureres før den begynner å virke
  - Tilbyr:
    - Kryptert overføring (ESP), og/eller
    - Bekreftelse av avsenders identitet og beskyttelse mot gjentakelse («replay») (AH)
  - Ble omgjort fra krav til anbefaling for IPv6 av [RFC 6434](#)

T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

28 / 208



## IPv6 i inn- og utland



## IPv6 i inn- og utland

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- 1994: Tildelt 128.39.174.0/24 av Uninett
- 1. juni 2005: Ny IT-ansvarlig, yours truly
- Høsten 2005: Fikk reservert IPv4-serien 128.39.172.0/23
- Påska 2006: Fikk reservert IPv6-serien 2001:700:1100::/48
- Før og etter pinsehelga 2006: Fiberlinjer fra serverrommet og til sentrale punkter i hver etasje i hovedbygningen
- Sommeren 2006: Nytt Cisco-gear som Catalyst 3560G og 2960 ([Cisco IOS 12.2\(25\)SEB4](#))
  - 128.39.46.8/30 ble linknett mellom HiG/Uninett og FSI
    - 128.39.46.9 ble brukt ved HiG
    - 128.39.46.10 ble brukt ved FSI
  - 128.39.174.0/24 ble delt opp i flere subnett og satt opp som servernett og ansattnett, m.m.
  - 128.39.172.0/24 ble delt opp i flere subnett og satt opp som nett for datalab
  - 128.39.173.0/24 ble satt opp for inntil 252 IPv4-klienter på tradisjonelt studentnett



## Oversikt over del 2: IPv6 i inn- og utland

- 7 IPv6 ved Fagskolen Innlandet
- 8 IPv6 andre steder i Norge
- 9 IPv6 i utlandet
- 10 Google Chrome og IPv6
- 11 Mozilla Firefox og IPv6



## IPv6 i inn- og utland

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- 6. september 2006: IPv6-linkettet 2001:700:0:11D::/64 ble aktivert mellom HiG/Uninett og FSI
  - 2001:700:0:11D::1 ble brukt ved HiG
  - 2001:700:0:11D::2 ble brukt ved FSI
- Samme dag ble IPv6 innført for FSI-VLAN-ene 20, 30, 70 og 80:
  - FSI-VLAN 20: 2001:700:1100:1::/64 (ytre servernett)
  - FSI-VLAN 30: 2001:700:1100:2::/64 (indre servernett)
  - FSI-VLAN 70: 2001:700:1100:3::/64 (IT-kontornett)
  - FSI-VLAN 80: 2001:700:1100:4::/64 (IT-lekenett)
- Andre FSI-VLAN fikk IPv6 i ukene og månedene etterpå
- Sommeren 2007: [Genererte](#) og frivillig [registrerte](#) ULA-serien [FD5C:14CF:C300::/48](#)
  - Brukes i FSI-VLAN for internt bruk
    - Fikk første HP-skriver med IPv6-støtte og ville utnytte dette
    - Noen år senere: IPv6-adresser på kantswitchene med [Cisco IOS 12.2\(40\)SE](#)
- Høsten 2008: DHCPv6-server i kjerneswitchen med [Cisco IOS 12.2\(46\)SE](#)





## IPv6 i inn- og utland

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Høsten 2010: Enda en IPv4-serie ble innført: 128.39.194.0/24
  - 128.39.194.0/24 brukes til datalab med samme subnetting (inndeling) som den gamle 128.39.172.0/24-serien hadde i 2006
  - 128.39.172.0/23 brukes nå for inntil 508 IPv4-klienter på trådløst studentnett
- Våren 2014: Tok i bruk nye linknett fordi fig-gsw.fig.ol.no ble tilkoblet gjovik-gw1.uninett.no
  - IPv4-linknett: 128.39.70.168/30
    - 128.39.70.169 brukes ved HiG (nå NTNU i Gjøvik)
    - 128.39.70.170 brukes ved FSI
  - IPv6-linknett: 2001:700:0:8074::/64
    - 2001:700:0:8074::1 brukes ved HiG (nå NTNU i Gjøvik)
    - 2001:700:0:8074::2 brukes ved FSI
- Vinterferien 2015: La om datalabseriene, siden antallet av datalab er skikkelig knøttete
- Desember 2015: Ny kjerneswitch: Cisco Catalyst 4500E med Supervisor 8-E



T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

33 / 208

IPv4-adresser

## IPv6 i inn- og utland

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Alle FSI-VLAN har både IPv4- og IPv6-adresser (dual-stack)
- FSI-VLAN med offentlige IPv4-adresser, bruker offentlige IPv6-adresser fra 2001:700:1100::/48-serien
- FSI-VLAN med private IPv4-adresser ([RFC 1918](#)), bruker private IPv6-adresser fra FD5C:14CF:C300::/48-serien
- Private adresser brukes for alt utstyr som ikke har behov for internettforbindelse:
  - Switcher
    - Med unntak av kjerneswitchen som er L3-switch for nettverket ved FSI
  - UPS-er
  - Lights-out management
  - Skrivere
  - Virtualiseringsservere
  - VPN-klienter



T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

35 / 208

## IPv6 i inn- og utland

IPv6 ved Fagskolen Innlandet

- Oktober 2017: RDNSS i RA for alle VLAN
- Januar 2018: DNSSL i RA for alle VLAN (Cisco må kvalitetssikre dokumentasjonen sin ...)
- I dag er de fleste brukere ved FSI kasta over i nettet til Oppland fylkeskommune (OFK)
- Dette skjedde etter ombygginga av skolen i 2011–2012
- Andreklasse data er velsigna med å kunne velge mellom FSI- og OFK-nettene
- Andreklasse data velger som regel det førstnevnte, vanligvis FSI-VLAN 40 som tilbyr 128.39.194.0/26 og 2001:700:1100:8001::/64
- Førsteklasse data ønsker det samme tilbudet; så vi får se ...



T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

34 / 208

## IPv6 i inn- og utland

IPv6 andre steder i Norge

- Mesteparten av Uninett og deres kunder bruker IPv6
- [Oppland FK](#) har ingen planer om å innføre IPv6
- [Hordaland FK](#) har satt en IPv6-adresse på webserveren deres, 2a02:20a0:0:3::81:130
- [Vest-Agder FK](#) har også satt en IPv6-adresse på webserveren deres, 2001:67c:28ac:1::2
- [Nasjonal kommunikasjonsmyndighet](#) har satt en IPv6-adresse på webserveren deres, 2a02:228:105:d000::10
- [VG](#) tok IPv6 i bruk i 2010, 2001:67c:21e0::16
- [Amedia AS](#) (tidl. A-pressen) mange (nett)aviser ble tilgjengelig med IPv6 samtidig med VG
- [digi.no](#) tok i bruk IPv6, [26. februar 2015](#)
- [yr.no](#) er tilgjengelig med IPv6, 2a02:26f0:2400:19d::1f27



T. Endrestøl (FSI, IT)

IPv6-foredrag

18. oktober 2018

36 / 208

## IPv6 i inn- og utland

### IPv6 i utlandet

- **World IPv6 Day**, 8. juni 2011
  - Målet var å teste IPv6 i 24 timer
  - Mer enn 400 deltakere
  - AOL, Akamai Technologies, BBC, Cisco, Comcast, Facebook, Google, Huawei, Juniper Networks, Limelight Networks, Mapquest, Mastercard, Microsoft, T-Online, Telmex, US Department of Commerce, Vonage, Yahoo, Yandex, YouTube og ...
- **World IPv6 Launch**, 6. juni 2012
  - Denne dagen ble IPv6 slått på for alltid



## IPv6 i inn- og utland

### IPv6 i utlandet

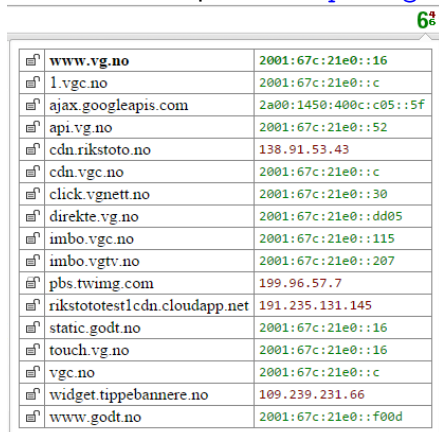
- Facebook er tilgjengelig med IPv6
  - 2a03:2880:2130:cf05:face:b00c:0:1 og
  - 2a03:2880:2110:df07:face:b00c:0:1
- Google er tilgjengelig med IPv6
  - 2a00:1450:400c:c00::5e,
  - 2a00:1450:400c:c00::8a og
  - 2a00:1450:4010:c04::63
- LinkedIn er tilgjengelig med IPv6
  - 2620:109:c007:102::5be1:f881
- Snapchat er tilgjengelig med IPv6
  - 2a00:1450:400c:c00::79
- Wikipedia er tilgjengelig med IPv6
  - 2620:0:862:ed1a::1
- YouTube er tilgjengelig med IPv6
  - 2a00:1450:400f:807::200e



## IPv6 i inn- og utland

### Google Chrome og IPvFoo

- **IPvFoo** for Google Chrome lar deg se hvilke IP-adresser som innholdet ble hentet fra
- Her er et eksempel fra <http://vg.no/>:



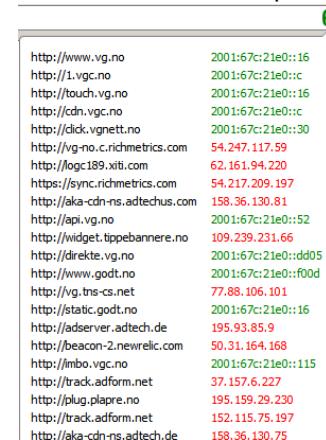
www.vg.no	2001:67c:21e0::16
l.vgc.no	2001:67c:21e0::c
ajax.googleapis.com	2a00:1450:400c:c05::5f
api.vg.no	2001:67c:21e0::52
cdn.rikstoto.no	138.91.53.43
cdn.vgc.no	2001:67c:21e0::c
click.vgnett.no	2001:67c:21e0::30
direkte.vg.no	2001:67c:21e0::dd05
imbo.vgc.no	2001:67c:21e0::115
imbo.vgtrv.no	2001:67c:21e0::207
pbs.twimg.com	199.96.57.7
rikstototest1cdn.cloudapp.net	191.235.131.145
static.godt.no	2001:67c:21e0::16
touch.vg.no	2001:67c:21e0::16
vgc.no	2001:67c:21e0::c
widget.tippebannere.no	109.239.231.66
www.godt.no	2001:67c:21e0::f00d



## IPv6 i inn- og utland

### Mozilla Firefox og IPvFox

- **IPvFox** gjør det samme for Mozilla Firefox som IPvFoo gjør for Google Chrome
- Her er enda et eksempel fra <http://vg.no/>:



http://www.vg.no	2001:67c:21e0::16
http://l.vgc.no	2001:67c:21e0::c
http://touch.vg.no	2001:67c:21e0::16
http://cdn.vgc.no	2001:67c:21e0::c
http://click.vgnett.no	2001:67c:21e0::30
http://vg-no.c.richmetrics.com	54.247.117.59
http://logc189.xiti.com	62.161.94.220
https://sync.richmetrics.com	54.217.209.197
http://aka-cdn-ns.adtechus.com	158.36.130.81
http://api.vg.no	2001:67c:21e0::52
http://widget.tippebannere.no	109.239.231.66
http://direkte.vg.no	2001:67c:21e0::dd05
http://www.godt.no	2001:67c:21e0::f00d
http://vg.tns-cs.net	77.88.106.101
http://static.godt.no	2001:67c:21e0::16
http://adserver.adtech.de	195.93.85.9
http://beacon-2.newrelic.com	50.31.164.168
http://imbo.vgc.no	2001:67c:21e0::115
http://track.adform.net	37.157.6.227
http://plug.plapre.no	195.199.29.230
http://track.adform.net	152.115.75.197
http://aka-cdn-ns.adtech.de	158.36.130.75



## IPv6-header

## Oversikt over del 3: IPv6-header

## 12 IPv6-header

- Flow Label

## 13 Utvidelsesheadere

- Hop-by-hop Options Header
- Destination Options Header
- Routing Header
- Fragment Header
- Authentication Header
- Encapsulating Security Payload
- Mobility Header

## IPv6-header

## IPv6-header

IPv4-header

Version	IHL	Type of Service	Total Length	
Identification			Flags	Fragment Offset
Time To Live		Protocol	Header Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options & Padding				

Felter som er beholdt i IPv6

Felter som er utelatt i IPv6

Navn og plassering er forskjellig for IPv6

Nytt felt i IPv6

IPv6-header

Version	Traffic Class	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
Source Address			
Destination Address			

\$Ximalas: trunk/IPv4-vs-IPv6.svg 188 2016-11-30 16:28:17Z trond \$

IPv4-header

Version	IHL	Type of Service	Total Length	
Identification			Flags	Fragment Offset
Time To Live	Protocol		Header Checksum	
Source Address				
Destination Address				
Options & Padding				

Felter som er beholdt i IPv6

Felter som er utelatt i IPv6

Navn og plassering er forskjellig for IPv6

Nytt felt i IPv6

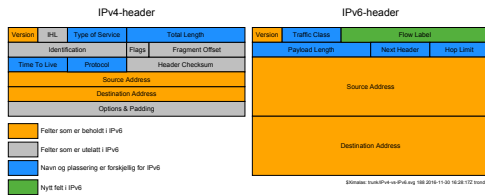
IPv6-header

Version	Traffic Class	Flow Label	
Payload Length		Next Header	Hop Limit
Source Address			
Destination Address			

\$Ximalas: trunk/IPv4-vs-IPv6.svg 188 2016-11-30 16:28:17Z trond \$

- IPv6-headeren er dobbelt så stor som IPv4-headeren (40/20 oktetter)
- IPv6-headeren har færre felter enn IPv4-headeren
- De utelatte feltene er i stor grad flyttet over til egne utvidelsesheadere

## IPv6-header



- Diagram illustrating the structure of IPv4 and IPv6 headers.

**IPv4-header**

Version	Traffic Class	Flow Label
4 bits	8 bits	24 bits
Payload Length		
Next Header		
Hop Limit		
Source Address		
Destination Address		
Options & Padding		

**IPv6-header**

Version	Traffic Class	Flow Label
4 bits	8 bits	24 bits
Payload Length		
Next Header		
Hop Limit		
Source Address		
Destination Address		

Legend:

  - Yellow: Felter som er beholdt i IPv6
  - Grey: Felter som er udeladt i IPv6
  - Green: Navn og plassering er forbeholdt for IPv6
  - Green: Nytt felt i IPv6

Source: truck IPv4 og IPv6 ang 100-2016-11-20 10:28:172 koreis

## Utvidelsesheadere

- Utvidelsesheaderne finnes i stort antall:
  - 1 Hop-by-hop Options Header
  - 2 Destination Options Header
  - 3 Routing Header
  - 4 Fragment Header
  - 5 Authentication Header
  - 6 Encapsulating Security Payload
  - 7 Mobility Header
- Se [RFC 4302](#), [RFC 4303](#), [RFC 6275](#) og [RFC 7045](#) og [RFC 8200](#)

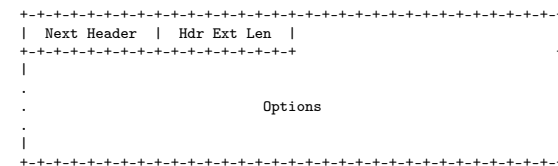
IPv6-header

## Flow Label

- Flow Label-feltet kan brukes av sanntidsapplikasjoner
- Flow Label-verdien angir pakker som tilhører samme sesjon
- Routere bør videreforsende pakker med samme verdi i Flow Label-feltet fra samme avsender på samme grensesnitt, slik at rekkefølgen bevares
- Verdien 0 (null) brukes for individuelle pakker
- Routere bør videreforsende pakker med 0 i Flow Label-feltet fra samme avsender på samme grensesnitt, slik at rekkefølgen bevares
- Tilfeldig valgte verdier brukes for pakker som hører sammen
- Flow Label-feltet kan også brukes til å smugle data sammen med legitim trafikk, eller merke slik trafikk, se avsnitt 6.1 i [RFC 6437](#)
- Se [RFC 3595](#), [RFC 6294](#), [RFC 6436](#), [RFC 6437](#) og [RFC 8200](#)

## Utvidelsesheadere

## Hop-by-hop Options Header



- Protokollnummer: 0
- Hop-by-hop Options Header må komme før andre Options Headere og før payload
- Alle ledd bør undersøke Hop-by-hop Options Header og dens innhold
- Høyhastighetsroutere vil enten ignorere H-b-H eller la en saktegående routingprosess ta seg av slike pakker

## Utvidelsesheadere

## Hop-by-hop Options Header

- Valgene Pad1 og PadN er definert i RFC 8200
- Andre valg: Jumbo Payload (RFC 2675), RPL Option (RFC 6553), Tunnel Encapsulation Limit (RFC 2473), Router Alert (RFC 2711), Quick-Start (RFC 4782), CALIPSO (RFC 5570), SMF\_DPD (RFC 6621), Home Address (RFC 6275), ILNP nonce (RFC 6744), Line-Identification Option (RFC 6788), IP\_DFF (RFC 6971)
- Ref.: <http://www.iana.org/assignments/ipv6-parameters/ipv6-parameters.xhtml>

## Utvidelsesheadere

## Routing Header

```

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Next Header | Hdr Ext Len | Routing Type | Segments Left |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|
| .
| .
| .
| .
|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

- Protokollnummer: 43

## Utvidelsesheadere

## Destination Options Header

```

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
| Next Header | Hdr Ext Len |                                     |
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
|
|
|
|
|
|
|
|
|
|
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+

```

- Protokollnummer: 60

## Utvidelsesheadere

## Fragment Header

[illegible]

- Protokollnummer: 44

## Utvidelsesheadere

### Authentication Header

```

0      1      2      3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
| Next Header | Payload Len |      RESERVED      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Security Parameters Index (SPI)      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Sequence Number Field      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                     |
+      Integrity Check Value-ICV (variable)      |
|                                     |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+

```

- Protokollnummer: 51

## Utvidelsesheadere

### Encapsulating Security Payload

```

0      1      2      3
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Security Parameters Index (SPI)      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Sequence Number      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Payload Data* (variable)      |
~                                     |
|                                     |
+      +-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                     |
|      Padding (0-255 bytes)      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Pad Length | Next Header |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Integrity Check Value-ICV (variable)      |
~                                     |
|                                     |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+

```

- Protokollnummer: 50

## Utvidelsesheadere

### Mobility Header

```

+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
| Payload Proto | Header Len | MH Type | Reserved |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|      Checksum      |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+
|                                     |
|                                     |
|      Message Data      |
|                                     |
+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+-+

```

- Protokollnummer: 135

## Del IV

### IPv6 over Ethernet

### 14 IPv6 over Ethernet

### 15 IPv6 over andre lag-2-typer

## IPv6 over Ethernet

Programmet [Wireshark](#) fremstilte følgende lag-2-informasjon om en utsendt IPv6-pakke:

```
Ethernet II, Src: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40), Dst: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
  Destination: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
    Address: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
      ....0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      ....0. .... = IG bit: Individual address (unicast)
  Source: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)
    Address: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)
      ....0. .... = LG bit: Globally unique address (factory default)
      ....0. .... = IG bit: Individual address (unicast)
  Type: IPv6 (0x86dd)
```

- Presentert som heksadesimale oktetter/byter:
- 00 17 E0 77 14 57 00 26 18 F2 72 40 86 DD
  - 00 17 E0 77 14 57 er MAC-48-adressa til mottakeren, routeren
  - 00 26 18 F2 72 40 er MAC-48-adressa til avsenderen, klienten
  - 86 DD angir at et IPv6-datagram følger etter i lag 3

- [RFC 2464](#) definerer frameformatet for IPv6-datagrammer over Ethernet
- IPv6-datagrammer fraktes i standard Ethernetformat, [RFC 894](#)
  - Først angis mottakerens MAC-48-adresse
  - Deretter angis avsenders MAC-48-adresse
  - Frametypen settes til 86DD (heksadesimalt)
  - Deretter følger IPv6-header og resten av datagrammet
- Standard MTU for IPv6 over Ethernet er 1500 oktetter
- Minste tillatte MTU for IPv6 er 1280 oktetter
- Er største tilgjengelige MTU mindre enn 1280 oktetter, så må lagene under IPv6 sørge for fragmentering og sammensetting av IPv6-datagrammene ([RFC 8200](#))

## IPv6 over andre lag-2-typer

- FDDI: [RFC 2467](#)
- Token Ring: [RFC 2470](#)
- Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) networks: [RFC 2491](#)
- ATM: [RFC 2492](#)
- ARCnet: [RFC 2497](#)
- Frame Relay: [RFC 2590](#)
- IEEE 1394 (FireWire): [RFC 3146](#)
- Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN): [RFC 4919](#)
- Personal Area Networks (PAN): [RFC 4944](#)
- Point-to-point protocol (PPP): [RFC 5072](#)
- Brevduer: [RFC 6214](#), basert på [RFC 1149](#)

## Grunnleggende om adresser

## Grunnleggende om adresser

- 128 bit
- Heksadesimal notasjon
- 16 og 16 bit grupperes og skilles med kolon
- Ledende nuller kan sløyfes
- To eller flere *sammenhengende* 16-bitblokker med nuller kan slås sammen til :: (dobbelkolon), bare én gang pr. adresse
- Prefikslengde angis ved å sette på en skråstrek og oppgi riktig antall av signifikante bit fra venstre mot høyre i adressa
  - Dette er helt likt CIDR-notasjon for IPv4 ([RFC 4632](#))

## Oversikt over del 5: Grunnleggende om adresser

- 16 Grunnleggende om adresser
- 17 Adressedemo
- 18 MAC-48-adresser
- 19 Modda IEEE EUI-64-format
- 20 Manuell grensesnittidentifikator
- 21 Tilfeldig grensesnittidentifikator
- 22 Spesialadresser
- 23 Duplicate Address Detection — DAD
- 24 IPv6-adresser i URL-er

## Grunnleggende om adresser

## Adressedemo

- Uninett:  
2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000
- FSI:  
2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000:0000
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E



## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Hierarkisk struktur

- Uninett:  
2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000
- FSI:  
2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000:0000
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E



## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: La oss forenkle adressene

- Uninett:  
2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000:0000
- FSI:  
2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000:0000
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E



## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Ledende nuller

- Uninett:  
2001:0700:0000:0000:0000:0000:0000:0000
- FSI:  
2001:0700:1100:0000:0000:0000:0000:0000
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0000:0000:0000:0000
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:0700:1100:0003:0221:70FF:FE73:686E



## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Fjernet ledende nuller

- Uninett:  
2001:700:0:0:0:0:0:0
- FSI:  
2001:700:1100:0:0:0:0:0
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:0:0:0:0
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E



## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: La oss forenkle litt til

- Uninett:  
2001:700:0:0:0:0:0:0
- FSI:  
2001:700:1100:0:0:0:0:0
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:0:0:0:0
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: To eller flere sammenhengende 16-bitblokker med bare 0

- Uninett:  
2001:700:0:0:0:0:0:0
- FSI:  
2001:700:1100:0:0:0:0:0
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:0:0:0:0
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Erstattet med dobbelkolon

- Uninett:  
2001:700::
- FSI:  
2001:700:1100::
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Kompakt form

- Uninett:  
2001:700::
- FSI:  
2001:700:1100::
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E

## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Vis prefikslengde

- Uninett:  
2001:700::/32
- FSI:  
2001:700:1100::/48
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::/64
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E/128



## Grunnleggende om adresser

Adressedemo: Kompakte adresser med prefikslengde

- Uninett:  
2001:700::/32
- FSI:  
2001:700:1100::/48
- IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3::/64
- Tronds D531 i IT-avdelingen@FSI:  
2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E/128



## Grunnleggende om adresser

MAC-48-adresser

- MAC-48-adresser har følgende oppbygging, gitt av [IEEE 802-2001](#):
  - CC:cc:cc:nn:nn:nn (heksadesimalt)
  - Den første halvparten er produsentnummer: CC:cc:cc
  - Den andre halvparten er løpenummer: nn:nn:nn
- Den første oktetten i produsentnummeret, CC, har en spesiell oppbygging:
  - CCCCCCug (binært)
  - Når u-bitet er satt til 0 (null), så gjelder formatet som er oppgitt her, altså CC:cc:cc:nn:nn:nn (heksadesimalt)
  - Når u-bitet er satt til 1, så er alle C- og c-sifrene løpenummer, mens u- og g-bitene beholder sine spesielle betydninger
  - Når g-bitet er 0 så angir adressa en individuell node, og når g-bitet er 1 så er adressa en multicastgruppe



## Grunnleggende om adresser

MAC-48-adresser

- Gitt denne MAC-48-adressa: 00:21:70:73:68:6E
- CC-oktetten har verdien 00 (heksadesimalt)
- På binær form er dette 00000000 (CCCCCug)
- Vi ser at både u- og g-bitene er satt til 0
- Dette er en MAC-48-adresse som:
  - følger det vanlige mønsteret med produsent- og løpenummer
  - angir en individuell node
  - er produsert av «Dell Inc» ifølge OUI-lista hos [IEEE](#) (søk i fila etter 00-21-70)



## Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- Unicast-adresser består av 2 ting:
  - 1 Prefiks
  - 2 Grensesnittidentifikator
- Bestemt av RFC 4941
- Grensesnittidentifikatorer er alltid på 64 bit
  - Dette gjelder ikke for adresser som starter på 000 (binært)
- Grensesnittidentifikatorer kan lages automatisk fra MAC-48-adresser
- Grensesnittidentifikatorer kan også angis manuelt eller velges tilfeldig
- Angis grensesnittidentifikatoren manuelt, så angis som regel en fullstendig IPv6-adresse
- Grensesnittidentifikatorer følger IEEE EUI-64-formatet med to unntak:
  - 1 Universal/local-bitet brukes med *invertert* betydning/verdi
    - Gruppebitet mister sin vanlige betydning i forbindelse med grensesnittidentifikatorer
  - 2 Oktettene på midten skal være FF:FE ved automatisk konvertering fra MAC-48 til EUI-64



## Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- Grensesnittidentifikatorer lages fra MAC-48-adresser etter oppskriften i RFC 4291:
  - Gitt denne MAC-48-adressa: 00:21:70:73:68:6E
  - Invertér universal/local-bitet: 02:21:70:73:68:6E
    - Før: 00 (heksadesimalt) = 00000000 (binært)
    - Etter: 00000010 (binært) = 02 (heksadesimalt)
  - Sett inn FF:FE på midten: 02:21:70:FF:FE:73:68:6E
  - Ta bort overflødig kolon og nuller: 221:70FF:FE73:686E
  - Høyreskift hele stasen: ::221:70FF:FE73:686E
  - Nå er grensesnittidentifikatoren klar til å bli kombinert med ønsket prefiks
  - Prefiks annonsert av router: 2001:700:1100:3::/64
  - Fullstendig adresse: 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E



## Grunnleggende om adresser

Modda IEEE EUI-64-format

- OBS! Arbeidsuhell!
- Det skulle egentlig ha vært FF:FF i stedet for FF:FE
  - MAC-48 → EUI-64 skal bruke FF:FF
  - EUI-48 → EUI-64 skal bruke FF:FE
- Se <http://standards.ieee.org/develop/regauth/tut/eui.pdf>
- Fordi IPv6 bruker universal/local-bitet med invertert betydning/verdi, så er arbeidsuhellet akseptert
- Se RFC 4291
- IEEE 802.15 WPAN, IEEE 1394 FireWire, og ZigBee bruker EUI-64-adresser i lag 2



## Grunnleggende om adresser

Manuell grensesnittidentifikator

- Manuell grensesnittidentifikator innebærer at universal/local-bitet som regel er satt til 0
- De øvrige 63 bitene kan være hva som helst, bare verdien ikke skaper adressekollisjon i samme VLAN
- Normalt bruker man manuelle grensesnittidentifikatorer satt til lave verdier
- For eksempel ::53 (DNS-tjener, kanskje)
- Samme eksempel, men med et vilkårlig prefiks: 2001:db8:1234:8::53



## Grunnleggende om adresser

### Manuell grensesnittidentifikator

- Lav verdi for grensesnittidentifikatorer gjør at universal/local-bitet blir satt til null:
  - ::53 (heksadesimalt)
  - ::0:0:0:53 (heksadesimalt)
  - ::0000000000000000:00 ... 00:0000000001010011 (binært)
  - Veldig praktisk for lokalgitte adresser, ikke sant?
- *Uten* invertering av universal/local-bitet, måtte vi bruke manuelle grensesnittidentifikatorer på denne måten:
  - ::0200:0:0:53 (heksadesimalt)
  - ::0000001000000000:00 ... 00:0000000001010011 (binært)
  - Tungvint og upraktisk, ikke sant?
- Se her:
  - 2001:db8:1234:1:0200:0:0:53 vs
  - 2001:db8:1234:1::53
  - Ja til den siste, nei til den forrige



## Grunnleggende om adresser

### Manuell grensesnittidentifikator

- Det er ingenting i veien for å «kode» IPv4-adressa inn i IPv6-adressa:
- 2001:700:1100:3:128:39:174:67 (excelsior.fig.ol.no)
- Man må bare passe på verdien til universal/local-bitet
- 128 = 0 1 2 8 = 0000 0001 0010 1000 (heks, heks, bin)
- u-bitet er 0, altså en lokalgitte adresse
- Dette gikk bra!



## Grunnleggende om adresser

### Manuell grensesnittidentifikator

- Verdiene
    - 0 = 0000,
    - 1 = 0001,
    - 4 = 0100,
    - 5 = 0101,
    - 8 = 1000,
    - 9 = 1001,
    - C = 1100, og
    - D = 1101,
- medfører 0 i u-bitet



## Grunnleggende om adresser

### Tilfeldig grensesnittidentifikator

- Konstant grensesnittidentifikator truer personvernet
- Eksempel med Tronds gamle Dell Latitude D531:
  - 2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E (IT-avdelingen@FSI)
  - 2001:700:1D00:8:221:70FF:FE73:686E (public-nettet@NTNU)
- RFC 4941 beskriver bruk av tilfeldig grensesnittidentifikator
- Med tilfeldig grensesnittidentifikator:
  - 2001:700:1100:3:B9D9:B729:6CDD:4E5 (IT-avdelingen@FSI)
  - 2001:700:1D00:8:B9D9:B729:6CDD:4E5 (public-nettet@NTNU)
- Disse byttes ut typisk hver dag:
  - 2001:700:1100:3:F503:1E6F:5F2F:F5F2 (IT-avdelingen@FSI)
  - 2001:700:1D00:8:F503:1E6F:5F2F:F5F2 (public-nettet@NTNU)
- Man må bare passe på u/l-bitet og passe seg for adressekollisjon



## Grunnleggende om adresser

### Tilfeldig grensesnittidentifikator

- RFC 4941 angir en metode for generering av tilfeldig grensesnittidentifikator:
  - 1 Sett sammen historisk verdi fra forrige runde (eller et tilfeldig 64-bit heltall) med den konstante grensesnittidentifikatoren til et 128-bit heltall
  - 2 Beregn MD5-hash av resultatet fra trinn 1
  - 3 Bruk de 64 *mest* signifikante bitene og sett det sjuende mest signifikante bitet til null (dette indikerer en lokalgitt grensesnittidentifikator)
  - 4 Sammenlign den nye tilfeldige grensesnittidentifikatoren med lista over reserverte identifikatorer; oppdages en uakseptabel identifikator, gå til trinn 1 og bruk de 64 *minst* signifikante bitene fra trinn 2 som historisk verdi
  - 5 Ta i bruk den nye tilfeldige grensesnittidentifikatoren
  - 6 Lagre de 64 *minst* signifikante bitene fra trinn 2 som historisk verdi for bruk den neste gangen denne algoritmen brukes



## Grunnleggende om adresser

### Spesialadresser

- Loopbackadressa: 0:0:0:0:0:0:0:1/128 eller ::1/128
  - Velkjent adresse for å snakke med tjenester i samme node
  - Tilsvarende 127.0.0.1/32 i IPv4



## Grunnleggende om adresser

### Spesialadresser

- Nulladressa:
  - 0:0:0:0:0:0:0:0/128 eller ::/128
    - Brukes av klienter som ennå ikke vet sin egen adresse (DHCPv6)
    - Brukes av tjenester som godtar forespørsler fra alle grensesnitt (sjekk ut [bind\(2\)](#)-systemkallet i «Juniks»)
  - 0:0:0:0:0:0:0:0/0 eller ::/0
    - Brukes for å angi default route
  - Tilsvarende 0.0.0.0/32 og 0/32, og 0.0.0.0/0 og 0/0 i IPv4



## Grunnleggende om adresser

### Spesialadresser

- Dokumentasjonsprefiks: 2001:db8::/32
  - Brukes for beskrivelse av IPv6-oppsett i lærebøker og annen generell dokumentasjon ([RFC 3849](#))
  - Forbudt å bruke på det offentlige internettet
  - Bør blokkeres i *inngående* og *utgående* ACL-er for internettgrensesnittet til routere



## Grunnleggende om adresser

### Spesialadresser

- IPv4-mapped IPv6 addresses: `::FFFF:w.x.y.z`
  - Hvor `w.x.y.z` er den opprinnelige IPv4-adressa skrevet på vanlige måte for IPv4-adresser
  - Eksempel: `::FFFF:128.39.174.1`
  - Brukes i systemer som har både IPv4- og IPv6-adresser, men hvor den enkelte tjeneste bare bruker IPv6-socketer og har slått av `IPV6_V6ONLY` med `setsockopt(2)` for lyttesocketen
  - Forbudt av sikkerhetshensyn i enkelte OS-er som [OpenBSD](#), se OpenBSDs [ip6\(4\)](#)
  - Tjenestene må da åpne separate lyttesoketer for IPv4 og IPv6
- [RFC 6890](#) og [RFC 8190](#) inneholder en oversikt over alle spesialadresser for IPv4 og IPv6



## Grunnleggende om adresser

### Duplicate Address Detection — DAD

- Når en unicast-adresse er generert skal man alltid sjekke at ingen andre bruker den samme adressa ([RFC 4862](#))
- Dette gjøres ved å sende en «ICMPv6 Neighbor Solicitation-melding» til den genererte adressas «Solicited-node multicast address»
- ICMPv6-meldinga inneholder den genererte adressa i feltet for «Target Address» ([RFC 4861](#))
- En «Solicited-node multicast address» er på formen `FF02::1:FFaa:bbcc`, hvor `aabbcc` er de 24 minst signifikante bitene fra den opprinnelige adressa ([RFC 4291](#))
- Sett at den genererte adressa er `2001:700:1100:3:221:70FF:FE73:686E`
- «Solicited-node multicast address» vil da være `FF02::1:FF73:686E`
- Vanligvis kommer det ikke noe svar på slike ICMPv6-meldinger



## Grunnleggende om adresser

### Duplicate Address Detection — DAD

- ... trodde vi ...
- «[Danger, Will Robinson!](#)»
- Det er et stort potensiale for Denial of Service — DoS ([RFC 3756](#))
- En «slabbedask» kan velge å svare på DAD og nekte oss å bruke *enhver* adresse
- Svaret kommer i form av en «ICMPv6 Neighbor Advertisement»-melding som forteller oss at en annen node bruker den samme adressa ([RFC 4862](#))
- Resultat: «slabbedasken» kan bruke nettverket uforstyrret
- Dersom det er 2 eller flere «slabbedasker» i samme nettverk, hva da?
- Problemet kan løses med «SEcure Neighbor Discovery» (SEND), [RFC 3971](#), og [RFC 6494](#), [RFC 6495](#) og [RFC 6980](#)



## Grunnleggende om adresser

### IPv6-adresser i URL-er

- `http://[2001:db8:x:y::z]/bla/bla`
- `http://[2001:db8:x:y::z]:portnummer/bla/bla`
- `https://[2001:db8:x:y::z]/bla/bla`
- `https://[2001:db8:x:y::z]:portnummer/bla/bla`
- Osv.



## Adresstyper

## Adresstyper

- Det finnes flere adresstyper med forskjellige bruksområder:
  - Unicast-adresser:
    - Link-local-adresser
    - Site-local-adresser
    - Offentlige unicast-adresser
    - Unike, lokale, aggregerbare adresser
  - Anycast-adresser
  - Multicast-adresser
- Merk at broadcast er avskaffa og er i stor grad erstatta med link-local-multicast

## Oversikt over del 6: Adresstyper

- 25 Adresstyper
- 26 Link-local-adresser
- 27 Site-local-adresser
- 28 Offentlige unicast-adresser
- 29 Unike, lokale, aggregerbare adresser
- 30 Anycast-adresser
- 31 Multicast-adresser

## Adresstyper

### Link-local-adresser

- Definert: [RFC 4291](#)
- Bruksområde:
  - Lokal kommunikasjon internt i VLAN-et
  - Sentral for autokonfigurasjon (av unicastadresser)
  - Blir ikke videresendt av routere til andre VLAN eller til internett
  - Kan brukes i ad-hoc-nett
- Prefiks: FE80::/10
- De neste 54 bitene skal settes til null
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: FE80::221:70FF:FE73:686E



## Adresstyper

### Site-local-adresser

- Definert: [RFC 3513](#)
- Bruksområde: private adresser på lik linje med [RFC 1918](#)
- Prefiks: `FEC0::/10`
- De neste 54 bitene brukes til subnet-ID
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: `FEC0::DEAD:BEEF:1337`
- **Ikke** bruk site-local-adresser ([RFC 3879](#))
- Site-local-adresser er erstatta med ULA ([RFC 4193](#))



## Adresstyper

### Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Definert: [RFC 4193](#)
- Bruksområde: ende-til-ende-kommunikasjon internt i nettverket
- Veldig praktisk å ha faste, interne adresser uavhengig av offentlig prefiks tildelt av ISP
- Prefiks: `FC00::/7`
- Det åttende mest signifikante bitet skal settes til 1 inntil videre
- Det reelle prefikset er dermed `FD00::/8`
- Prefikset `FC00::/8` er reservert inntil videre



## Adresstyper

### Offentlige unicast-adresser

- Definert: [RFC 4291](#) og [RFC 3587](#)
- Bruksområde: ende-til-ende-kommunikasjon på det offentlige internett
- Prefiks: `2000::/3`
- De neste bitene allokeres hierarkisk, minimum i 4-bitblokker, men gjerne i 8- eller 16-bitblokker
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Det er vanlig at kundene blir tildelt /48-, /56- eller /62-bits prefiks av ISP-ene:
  - /48-bits prefiks gir  $128 - 64 - 48 = 16$  subnetbit  $\rightarrow 2^{16} = 65536$  subnett
  - /56-bits prefiks gir  $128 - 64 - 56 = 8$  subnetbit  $\rightarrow 2^8 = 256$  subnett
  - /62-bits prefiks gir  $128 - 64 - 62 = 2$  subnetbit  $\rightarrow 2^2 = 4$  subnett
- Eksempel: `2001:700:1100:1::1/128`



## Adresstyper

### Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Reelt prefiks: `FD00::/8`
- De neste 40 bitene genereres tilfeldig, gjerne som beskrevet i [RFC 4193](#)
- De neste 16 bitene brukes til subnet-ID
- De siste 64 bitene er grensesnittidentifikator i modda EUI-64-format
- Eksempel: `FD5C:14CF:C300:31::1/128`



## Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- SixXS tilbyr bl.a.:
  - Generering av ULA-prefiks: <http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/>
  - Registrering av ULA-prefiks: <http://www.sixxs.net/tools/grh/ula/list/>
- George Michaelson, seniorforsker ved APNIC, har oppdaget ULA-adresser i fri dressur ute på internett:
  - Tydeligvis klarer ikke folk å lese RFC-ene og holde seg til de fastsatte reglene
  - [http://www.sixxs.net/archive/docs/IEPG2013\\_ULA\\_in\\_the\\_wild.pdf](http://www.sixxs.net/archive/docs/IEPG2013_ULA_in_the_wild.pdf)



## Adresstyper

Unike, lokale, aggregerbare adresser

- Her er algoritmen fra RFC 4193 for å generere de 40 tilfeldige bitene:
  - 1 Uttrykk nåværende øyeblikk som et 64-bit heltall i NTP-format (RFC 5905)
  - 2 Bruk en EUI-64-identifikator fra systemet som kjører denne algoritmen
    - Mangler du en EUI-64-identifikator, så kan du lage en fra en 48-bit MAC-adresse som angitt i RFC 4291
    - Kan du ikke lage en EUI-64-identifikator, så bruk en annen unik verdi som serienummeret til systemet
  - 3 Sett sammen de to 64-bit heltallene til et 128-bit heltall
  - 4 Beregn en SHA-1-hash som beskrevet i RFC 3174. Resultatet er et heltall på 160 bit
  - 5 Bruk de 40 minst signifikante bitene som global identifikator
- Har man tilgang på tilfeldige tall av god kvalitet, så kan man bruke de i stedet for metoden over



## Adresstyper

Anycast-adresser

- Definert: RFC 4291
- Bruksområde: felles adresse for distribuerte tjenester, routerne bestemmer hvilken server som er nærmest og sender trafikken dit
- Prefiks: ingen, allokeres fra dine egne unicast-adresser og markeres som en anycast-adresse hos routerne og serverne
- Alle IPv6-adresser hvor alle bit i grensesnittidentifikatoren satt til null, er reservert som «Subnet-Router anycast address»
- Denne anycast-adressa brukes når man vil kontakte én av potensielt flere routere i subnettet der du er
- Eksempel: 2001:700:1100:1::/128 **anycast**
- Se også RFC 2526



## Adresstyper

Multicast-adresser

- Definert: RFC 4291
- Bruksområde: én-til-mange-kommunikasjon
- Prefiks: FF::/8
- Flaggfelt 1  $f$  og rekkevidde  $r$  er innebygget i adressa: FF $f$  $r$ ::/16
- Flaggfelt 2: RFC 7371
- Eksempel: FF0E::/128 (global multicast-adresse for NTP)



## Adresstyper

### Multicast-adresser

- Flaggene heter XRPT
- Flagget T angir med 0 at adressa er velkjent (definert av [IANA](#)), og med 1 at adressa er midlertidig (lokalt definert)
- Flagget P angir med 1 at adressa inneholder et unicast-prefiks og skal følge reglene i [RFC 3306](#)
- Flagget R angir med 1 at adressa også inneholder et møtepunkt («rendezvous point») og skal følge reglene i [RFC 3956](#)
- Flaggene P og R gjør det enkelt å lage egne multicast-adresser for internt bruk i organisasjonen
- [RFC 7371](#) utvider to av multicastadrestypene med et nytt 4-bit flaggfelt
- Bruk av flaggene R, P og T gjennomgås i detalj i del 11



## Adresstyper

### Multicast-adresser

- Følgende rekkevidder er definert i [RFC 4921](#) og [RFC 7346](#):
  - 0: reservert
  - 1: interface-local
  - 2: link-local
  - 3: realm-local
  - 4: admin-local
  - 5: site-local
  - 6: ikke definert
  - 7: ikke definert
  - 8: organization-local
  - 9: ikke definert
  - A: ikke definert, brukt av Uninett til å [begrense](#) trafikken innenfor «Uninettet»
  - B: ikke definert
  - C: ikke definert
  - D: ikke definert
  - E: global
  - F: reservert



## Adresstyper

### Multicast-adresser

- Noen kjente IPv6-multicastadresser:
  - FF02::1 All nodes on the local network segment
  - FF02::2 All routers on the local network segment
  - FF02::5 OSPFv3 All SPF routers
  - FF02::6 OSPFv3 All DR routers
  - FF02::8 IS-IS for IPv6 routers
  - FF02::9 RIP routers
  - FF02::A EIGRP routers
  - FF02::D PIM routers
  - FF02::16 MLDv2 reports
  - FF02::1:2 All DHCP servers and relay agents on the local network segment
  - FF02::1:3 All LLNMR hosts on the local network segment
  - FF05::1:3 All DHCP servers on the local network site
  - FF0x::C Simple Service Discovery Protocol
  - FF0x::FB Multicast DNS
  - FF0x::101 Network Time Protocol
  - FF0x::108 Network Information Service
  - FF0x::114 Used for experiments



## Adresstyper

### Multicast-adresser

- Kobling av multicast-adresser til lag-2-adresser:
  - Eksempel:
    - IPv6: FF02::1 = FF02::0000:0001
    - MAC-48: 33:33:00:00:00:01
    - De 32 minst signifikante bitene kopieres fra IPv6-adressa og til MAC-48-adressa
    - Dette gir en viss overlapp for de multicast-adresser som tilfeldigvis slutter på de samme 32 bitene
    - Det går ganske bra i praksis
    - Se [RFC 2464](#) og [RFC 6085](#)



## DNS

## DNS

## AAAA og PTR

- Navn-til-IPv6-adresser bruker AAAA-poster
  - Eksempel:  
\$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN AAAA 2001:700:1100:1::4
- IPv6-adresser-til-navn bruker PTR-poster plassert i ip6.arpa.
  - Eksempel:  
\$ORIGIN 1.0.0.0.0.0.1.1.0.0.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa.  
4.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0 IN PTR svabu.fig.ol.no.
- Se [RFC 3596](#)

## Oversikt over del 7: DNS I

## 32 AAAA og PTR

## 33 A6

## DNS

## A6

- A6-poster var foreslått som erstatning for AAAA-poster av [RFC 2874](#), men ble endret til eksperimentell av [RFC 3363](#), og senere til historisk av [RFC 6563](#)
- [RFC 3364](#) diskuterer fordeler og ulemper med AAAA og A6
- En A6-post består av 2–3 ting:
  - 1 Prefikslengde fra og med 0 til og med 128
  - 2 Utdrag av IPv6-adressa
  - 3 Navn som henviser til resten av adressa
- Settes prefikslengda til:
  - 0, så er det **ikke** lov å oppgi noen henvisning, fordi dette navnet er det øverste eller det eneste nivået i en kjede
  - 128, så er det **ikke** lov å oppgi noen IPv6-adresse, fordi man henviser til et helt annet navn, tydeligvis et overflødig alternativ til CNAME

- Avsnittene 3.1.1 og 3.1.3 i [RFC 2874](#) er ikke enige med hverandre når prefikslengda settes til 128
  - Avsnitt 3.1.1:  
*The address suffix component SHALL NOT be present if the prefix length is 128.*
  - Avsnitt 3.1.3:  
*The IPv6 address MAY be be[sic] absent if the prefix length is 128.*
- Med andre ord, avsnitt 3.1.1 forbyr IPv6-adresse når prefikslengda er 128, mens avsnitt 3.1.3 sier at IPv6-adresse *kan utelates* i det samme tilfellet
- Er det noe rart at noen av oss kan bli forvirra?
- Vil du leke med A6 i et lukket miljø, så sjekk ut ISC BIND 9.2.x

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6
- Forklaring:
  - svabu.fig.ol.no. oppgir ::4, mangler de 64 mest signifikante bitene og henviser til ext-servere.ip6.fig.ol.no.

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN ip6.uninett.no.  
uninett IN A6 0 2001:700::  
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6
- Vi vil vite IPv6-adressa for svabu.fig.ol.no. og vi vil bruke A6-poster for å finne svaret

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6  
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.
- Forklaring:
  - ext-servere.ip6.fig.ol.no. oppgir 0:0:0:1::, mangler de 48 mest signifikante bitene og henviser til fig.ip6.uninett.no.

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6  
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.

\$ORIGIN ip6.uninett.no.  
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett

- Forklaring:
  - fig.ip6.uninett.no. oppgir 0:0:1100::, mangler de 32 mest signifikante bitene og henviser til uninett.ip6.uninett.no.

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6  
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.

\$ORIGIN ip6.uninett.no.  
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett  
uninett IN A6 0 2001:700::

- Forklaring:
  - Kjeden slutter med uninett.ip6.uninett.no. og her angis de 32 mest signifikante bitene, 2001:700::

- Et tenkt eksempel med A6:
- \$ORIGIN fig.ol.no.  
svabu IN A6 64 ::4 ext-servere.ip6  
ext-servere.ip6 IN A6 48 0:0:0:1:: fig.ip6.uninett.no.

\$ORIGIN ip6.uninett.no.  
fig IN A6 32 0:0:1100:: uninett  
uninett IN A6 0 2001:700::

- Vi har påvist følgende adressekjede:
  - 0000:0000:0000:0000::4 svabu.fig.ol.no.
  - 0000:0000:0000:0001:: ext-servere.ip6.fig.ol.no.
  - 0000:0000:1100:0000:: fig.ip6.uninett.no.
  - 2001:0700:0000:0000:: uninett.ip6.uninett.no.
- Bitvis-OR gir den fullstendige adressa 2001:700:1100:1::4

## Del VIII

### ICMPv6

## Oversikt over del 8: ICMPv6 I

- 34 ICMPv6
- 35 Multicast Listener Discovery
- 36 Neighbor Discovery
- 37 Router Renumbering
- 38 Node Information
- 39 Inverse Neighbor Discovery
- 40 Multicast Listener Report Version 2
- 41 Mobile IPv6
- 42 SEcure Neighbor Discovery (SEND)
- 43 Experimental Mobility Type
- 44 Multicast Router Discovery
- 45 Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)
- 46 RPL Control Message
- 47 ILNPv6 Locator Update Message
- 48 Duplicate Address



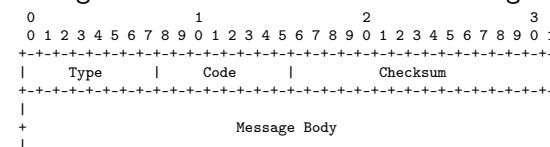
## ICMPv6

- Fra [RFC 4443](#)
- Feilmeldinger:
  - 1: Destination Unreachable
  - 2: Packet Too Big
  - 3: Time Exceeded
  - 4: Parameter Problem
  - 100: Private eksperimenter
  - 101: Private eksperimenter
  - 127: Reservert for utvidelse av feilmeldingene
- Informative meldinger:
  - 128: Echo request (ping)
  - 129: Echo reply (pong)
  - 200: Private eksperimenter
  - 201: Private eksperimenter
  - 255: Reservert for utvidelse av informative meldinger



## ICMPv6

- Feilrapportering- og feilsøkingstjeneste for IPv6
- Definert: [RFC 4443](#) og [RFC 4844](#)
- ICMPv6-meldinger inneholder to tall som forteller noe om budskapets mening og innhold:
  - Type: hovednummer
  - Code: undernummer, settes til 0 når det ikke er definert noen undernummer
- I tillegg er det felter for sjekksum og andre opplysninger som er unike for hver type (og underkode) av meldingene
- Den generelle formen for ICMPv6-meldinger vises under



## ICMPv6

### Multicast Listener Discovery

- Definert: [RFC 2710](#)
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
  - 130: Multicast Listener Query
  - 131: Multicast Listener Report
  - 132: Multicast Listener Done
- Brukes for å fortelle routere hvilke multicastadresser man er interessert i



# ICMPv6

## Neighbor Discovery

- Definert: [RFC 4861](#)
- Angir fem nye ICMPv6-meldinger:
  - 133: Router Solicitation
  - 134: Router Advertisement
  - 135: Neighbor Solicitation
  - 136: Neighbor Advertisement
  - 137: Redirect
- Sentral ved autokonfigurering av adresser
- Brukes for å bekrefte at nodene er oppegående og bestemme lag-2-adressene til mottakere
- Neighbor Discovery gjennomgås i detalj i del 9



# ICMPv6

## Node Information

- Definert: [RFC 4620](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 139: Node Information Query
  - 140: Node Information Reply
- [RFC 4620](#) angir følgende underkoder for type 139:
  - 0: Datafeltet inneholder en IPv6-adresse
  - 1: Datafeltet inneholder et navn
  - 2: Datafeltet inneholder en IPv4-adresse
- [RFC 4620](#) angir følgende underkoder for type 140:
  - 0: Vellykket svar
  - 1: Svaret vil ikke bli avslørt
  - 2: Underkoden i forespørselen er ukjent



# ICMPv6

## Router Renumbering

- Definert: [RFC 2894](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 138: Router Renumbering
- [RFC 2894](#) angir følgende underkoder:
  - 0: Router Renumbering Command
  - 1: Router Renumbering Result
  - 255: Sequence Number Reset



# ICMPv6

## Inverse Neighbor Discovery

- Definert: [RFC 3122](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 141: Inverse Neighbor Discovery Solicitation
  - 142: Inverse Neighbor Discovery Advertisement
- Gjør det mulig for én node å lære IPv6-adressen(e) til en annen node i samme VLAN, når man bare vet lag-2-adressa til den andre noden





# ICMPv6

## Multicast Listener Report Version 2

- Definert: [RFC 3810](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 143: Version 2 Multicast Listener Report
- Utvider MLDv1 ([RFC 2710](#)) med slik at bare bestemte avsendere er interessante (Source-Specific Multicast, [RFC 3569](#))



# ICMPv6

## SEcure Neighbor Discovery (SEND)

- Definert: [RFC 3971](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 148: Certification Path Solicitation
  - 149: Certification Path Advertisement
- Med SEND unngås DoS-problemene til Neighbor Discovery
- Routerne deler ut kryptografisk genererte adresser ([RFC 3972](#))
- Dette krever sertifikatstruktur (RPKI, [RFC 6494](#)) i routere og i klienter
- Implementert i Cisco IOS XE for Catalyst 4500E
- Ikke spesielt aktuelt for FSI, annet enn for ansattnett, på grunn av den administrative byrden



# ICMPv6

## Mobile IPv6

- Definert: [RFC 6275](#)
- Angir fire nye ICMPv6-meldinger:
  - 144: Home Agent Address Discovery Request
  - 145: Home Agent Address Discovery Reply
  - 146: Mobile Prefix Solicitation
  - 147: Mobile Prefix Advertisement
- Brukes for å tilrettelegge for digitale nomader



# ICMPv6

## Experimental Mobility Type

- Definert: [RFC 4065](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 150: Experimental Mobility Type
- «The Seamoby Candidate Access Router Discovery (CARD) protocol [[RFC 4066](#)] and the Context Transfer Protocol (CTXP) [[RFC 4067](#)] are experimental protocols designed to accelerate IP handover between wireless access routers»



# ICMPv6

## Multicast Router Discovery

- Definert: [RFC 4286](#)
- Angir tre nye ICMPv6-meldinger:
  - 151: Multicast Router Advertisement
  - 152: Multicast Router Solicitation
  - 153: Multicast Router Termination
- Catalyst 4500E har full støtte for multicast
- Ved FSI er det bare IPv6-automatikken som bruker IPv6-multicast
- Ghost kan bruke IPv4-multicast ved mottak av «image»
- FSI har ikke signert tjenestebilag for Uninetts IP-TV som bruker IPv4-multicast
- VLC 2.2.6 for Windows støtter ikke IPv6-multicast og dokumentasjonen er skral



# ICMPv6

## RPL Control Message

- Definert: [RFC 6550](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 155: RPL Control Message
- IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks



# ICMPv6

## Fast Handovers for Mobile IPv6 (FMIPv6)

- Definert: [RFC 5568](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 154: FMIPv6, Fast handovers, Mobile IPv6
- Se også <http://fmipv6.org/>



# ICMPv6

## ILNPv6 Locator Update Message

- Definert: [RFC 6743](#)
- Angir én ny ICMPv6-melding:
  - 156: ILNPv6 Locator Update Message
- Identifier-Locator Network Protocol
- En eksperimentell måte å håndtere digitale nomader



- Definert: [RFC 6775](#)
- Angir to nye ICMPv6-meldinger:
  - 157: Duplicate Address Request
  - 158: Duplicate Address Confirmation
- Neighbor Discovery Optimization for IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks (6LoWPANs)

## Oversikt over del 9: Neighbor Discovery I

- 49 Router Solicitation
- 50 Router Advertisement
- 51 Neighbor Solicitation
- 52 Neighbor Advertisement
- 53 Redirect

## Neighbor Discovery

- Definert: [RFC 4861](#)
- Angir fem nye ICMPv6-meldinger:
  - 133: Router Solicitation
  - 134: Router Advertisement
  - 135: Neighbor Solicitation
  - 136: Neighbor Advertisement
  - 137: Redirect
- Sentral ved autokonfigurering av adresser
- Brukes for å bekrefte at nodene er oppegående og bestemme lag-2-adressene til mottakere

## Neighbor Discovery

# Neighbor Discovery

## Router Solicitation

```
Internet Control Message Protocol v6
Type: Router Solicitation (133)
Code: 0
Checksum: 0xc065 [correct]
Reserved: 00000000
ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:21:70:73:68:6e)
Type: Source link-layer address (1)
Length: 1 (8 bytes)
Link-layer address: Dell_73:68:6e (00:21:70:73:68:6e)
```

- Avsenders IPv6-adresse er enten ::/0 eller en av utgående grensesnitts IPv6-adresser
- Mottakers IPv6-adresse er vanligvis FF02::2
- «Hop Limit» i IPv6-headeren skal settes til 255
- Det er god sedvane å angi sin egen lag-2-adresse i ICMPv6-meldinga



# Neighbor Discovery

## Router Advertisement

```
Internet Control Message Protocol v6
Type: Router Advertisement (134)
Code: 0
Checksum: 0xfa8c [correct]
Cur hop limit: 64
Flags: 0x48
0... .... = Managed address configuration: Not set
1... .... = Other configuration: Set
..0. .... = Home Agent: Not set
...0 1... = Prf (Default Router Preference): High (1)
.... 0... = Proxy: Not set
.... ..0. = Reserved: 0
Router lifetime (s): 1800
Reachable time (ms): 0
Retrans timer (ms): 0
ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:17:e0:77:14:57)
Type: Source link-layer address (1)
Length: 1 (8 bytes)
Link-layer address: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
ICMPv6 Option (MTU : 1500)
Type: MTU (5)
Length: 1 (8 bytes)
Reserved
MTU: 1500
```

- Avsenders IPv6-adresse må være routerens link-local-adresse for utgående grensesnitt
- Mottakers IPv6-adresse er enten adressa til den noden som sendte «Router Solicitation» eller til FF02::1 for generell annonsering
- «Hop Limit» i IPv6-headeren skal settes til 255



# Neighbor Discovery

## Router Advertisement

```
Internet Control Message Protocol v6
Type: Router Advertisement (134)
Code: 0
Checksum: 0xfa8c [correct]
Cur hop limit: 64
Flags: 0x48
0... .... = Managed address configuration: Not set
1... .... = Other configuration: Set
..0. .... = Home Agent: Not set
...0 1... = Prf (Default Router Preference): High (1)
.... 0... = Proxy: Not set
.... ..0. = Reserved: 0
Router lifetime (s): 1800
Reachable time (ms): 0
Retrans timer (ms): 0
ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:17:e0:77:14:57)
Type: Source link-layer address (1)
Length: 1 (8 bytes)
Link-layer address: Cisco_77:14:57 (00:17:e0:77:14:57)
ICMPv6 Option (MTU : 1500)
Type: MTU (5)
Length: 1 (8 bytes)
Reserved
MTU: 1500
```

- Routeren er snill og oppgir:
  - Autokonfigurasjon av adresser skal utføres
  - Andre opplysninger er tilgjengelig med DHCPv6
  - Dette er ingen «Home Agent»
  - Routerens preferansenivå er «High»
  - Annonseringens levetid er 1800 s = 30 min
  - Routerens lag-2-adresse
  - Linkens MTU-verdi



# Neighbor Discovery

## Router Advertisement

```
ICMPv6 Option (Prefix information : 2001:700:1100:3::/64)
Type: Prefix information (3)
Length: 4 (32 bytes)
Prefix Length: 64
Flag: 0xc0
1... .... = On-link flag(L): Set
1... .... = Autonomous address-configuration flag(A): Set
..0. .... = Router address flag(R): Not set
...0 0000 = Reserved: 0
Valid Lifetime: 2592000
Preferred Lifetime: 604800
Reserved
Prefix: it.ip6.fig.ol.no (2001:700:1100:3::)
```

- Routeren oppgir følgende om 2001:700:1100:3::/64
  - Prefikset er direkte tilgjengelig
  - Autokonfigurasjon med prefikset er tillatt
  - Genererte adresser er gyldige i 30 dager, med foretrukket levetid på 7 dager



# Neighbor Discovery

## Router Advertisement

```
ICMPv6 Option (Recursive DNS Server 2001:700:1100:1::3 2001:700:1100:1::3)
Type: Recursive DNS Server (25)
Length: 5 (40 bytes)
Reserved
Lifetime: 400
Recursive DNS Servers: 2001:700:1100:1::3 (2001:700:1100:1::3)
Recursive DNS Servers: 2001:700:1100:1::2 (2001:700:1100:1::2)
```

```
ICMPv6 Option (DNS Search List Option fig.ol.no)
Type: DNS Search List Option (31)
Length: 3 (24 bytes)
Reserved
Lifetime: 400
Domain Names: fig.ol.no\000
Padding
```

### RDNSS — Recursive DNS Server

- Routeren kan også oppgi DNS-serveradresser i routerannonsering
- Se [RFC 8106](#)
- Dette kan sameksistere med DHCPv6
- DHCPv6 kan i tillegg angi DNS-domenet for ukvalifiserte navn
- Microsoft Windows 10 Creators Update (1703) vil [angivelig](#) bruke RDNSS dersom DNS-opplysninger ikke kan hentes fra DHCPv6



# Neighbor Discovery

## Neighbor Solicitation

```
Internet Protocol Version 6, Src: 2001:700:1100:3:226:18ff:fe2:7240, Dst: ff02::1:ff52:67e2
0110 .... = Version: 6
.... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
.... 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
Payload length: 32
Next header: ICMPv6 (58)
Hop limit: 255
Source: pc226-02-w7.fig.ol.no (2001:700:1100:3:226:18ff:fe2:7240)
Destination: ff02::1:ff52:67e2
Internet Control Message Protocol v6
Type: Neighbor Solicitation (135)
Code: 0
Checksum: 0x4571 [correct]
Reserved: 00000000
Target Address: monitor2.fig.ol.no (2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2)
ICMPv6 Option (Source link-layer address : 00:26:18:f2:72:40)
Type: Source link-layer address (1)
Length: 1 (8 bytes)
Link-layer address: AsustekC_f2:72:40 (00:26:18:f2:72:40)
```

- I dette tilfellet ville
  - 1 2001:700:1100:3:226:18FF:FEF2:7240 sjekke om
  - 2 2001:700:1100:3:20B:DBFF:FE52:67E2 fortsatt var i live
- Forespørselen ble sendt til «Solicited-node multicast-adressa» FF02::1:FF52:67E2



# Neighbor Discovery

## Neighbor Advertisement

```
Internet Protocol Version 6, Src: 2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2, Dst: 2001:700:1100:3:226:18ff:fe2:7240
0110 .... = Version: 6
.... 0000 0000 .... = Traffic class: 0x00000000
.... 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
Payload length: 32
Next header: ICMPv6 (58)
Hop limit: 255
Source: monitor2.fig.ol.no (2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2)
Destination: pc226-02-w7.fig.ol.no (2001:700:1100:3:226:18ff:fe2:7240)
Internet Control Message Protocol v6
Type: Neighbor Advertisement (136)
Code: 0
Checksum: 0x157e [correct]
Flags: 0x60000000
0... .. = Router: Not set
.1.. .. = Solicited: Set
..1. .... = Override: Set
...0 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Reserved: 0
Target Address: monitor2.fig.ol.no (2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2)
ICMPv6 Option (Target link-layer address : 00:0b:db:52:67:e2)
Type: Target link-layer address (2)
Length: 1 (8 bytes)
Link-layer address: DellEsgP_52:67:e2 (00:0b:db:52:67:e2)
```



# Neighbor Discovery

## Neighbor Advertisement

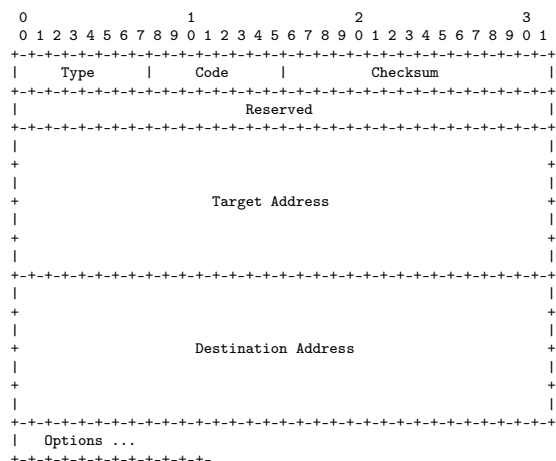
```
Internet Control Message Protocol v6
Type: Neighbor Advertisement (136)
Code: 0
Checksum: 0x157e [correct]
Flags: 0x60000000
0... .. = Router: Not set
.1.. .. = Solicited: Set
..1. .... = Override: Set
...0 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Reserved: 0
Target Address: monitor2.fig.ol.no (2001:700:1100:3:20b:dbff:fe52:67e2)
ICMPv6 Option (Target link-layer address : 00:0b:db:52:67:e2)
Type: Target link-layer address (2)
Length: 1 (8 bytes)
Link-layer address: DellEsgP_52:67:e2 (00:0b:db:52:67:e2)
```

- 2001:700:1100:3:20B:DBFF:FE52:67E2 sendte svar tilbake til 2001:700:1100:3:226:18FF:FEF2:7240 med klar beskjed om at
  - Den er ikke en router
  - Dette er et svar på en forespørsel og ikke en tilfeldig annonsering
  - Gamle opplysninger om 2001:700:1100:3:20B:DBFF:FE52:67E2 skal slettes
  - Lag-2-adressa er stadig 00:0B:DB:52:67:E2



# Neighbor Discovery

## Redirect



- ICMPv6 redirect blir avvist ved FSI



## Oversikt over del 10: DHCPv6

### 54 DHCPv6

### 55 Meldinger

### 56 DHCP Unique Identifier



## Del X

## DHCPv6



## DHCPv6

- DHCPv6 er definert i [RFC 3315](#) med oppdateringer fra [RFC 3319](#), [RFC 3633](#), [RFC 3646](#), [RFC 3736](#), [RFC 4361](#), [RFC 5007](#), [RFC 5494](#), [RFC 6221](#), [RFC 6422](#), [RFC 6603](#), [RFC 6644](#), [RFC 7083](#), [RFC 7227](#), [RFC 7283](#) og [RFC 7550](#)
- Kommunikasjonen foregår først med multicast og UDP, og kan senere bytte til unicast og UDP
- Klientene bruker port 546, mens serverne og relay-agentene bruker port 547
- Klientene bruker sin egen link-local-adresse som avsender og multicast-adressa FF02::1:2 som mottaker
- Relay-agentene videresender til multicast-adressa FF05::1:3, med mindre de kjenner og vil bruke unicast-adressa til serveren
- En on-link-server eller -relay-agent svarer med sin link-local-adresser som avsender og klientens link-local-adresse som mottaker



## DHCPv6

### Meldinger

- Solicit
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å oppdage servere
- Advertise
  - Fra server/relay til klient
  - Brukes for å varsle klienten om tjenestetilbudet
- Request
  - Fra klient til spesifikk server
  - Bruker for å etterspørre om adresser og andre opplysninger fra en bestemt server
- Confirm
  - Fra server/relay til klient
  - Brukes for å bestemme om tidligere oppgitt adresse fortsatt er gyldig



## DHCPv6

### Meldinger

- Renew
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å fornye leieavtalen og oppdatere andre opplysninger
- Rebind
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes til annonsering i etterkant av en renew-melding, dersom det ikke kom noe svar på fornyelsen



## DHCPv6

### Meldinger

- Reply
  - Fra server til klient
  - Serveren sender tildelt adresse og andre opplysninger i en reply-melding som svar på solicit-, request-, renew- og rebind-meldinger
  - Serveren sender konfigurasjonsparametre i en reply-melding som svar på en information-request-melding
  - Serveren sender en reply-melding som svar på en confirm-melding for å bekrefte eller avkrefte at adressa tilordnet klienten er gyldig eller ikke
  - Serveren sender en reply-melding for å kvittere for mottatt release- eller decline-meldinger
- Release
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å frigjøre en utleid adresse



## DHCPv6

### Meldinger

- Decline
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å fortelle at en eller flere utdelte adresser allerede er tatt i bruk i nabolaget til klienten
- Reconfigure
  - Fra server til klient
  - Brukes for å gjøre klienten oppmerksom på nye opplysninger og at klienten må gjennomføre renew/reply- eller information-request/reply-transaksjoner for å få de nye opplysningene
- Information-request
  - Fra klient til server/relay
  - Brukes for å be om konfigurasjonsparametre uten å bli tildelt en adresse



## DHCPv6

### Meldinger

- Relay-forward
  - Fra relay til relay/server
  - Brukes av relay for å videresende forespørsler fra klienter eller andre relay til en ny relay eller server
- Relay-reply
  - Fra server/relay til relay
  - Brukes av server for å videresende svar tilbake til klienter gjennom relay(kjeden)



## DHCPv6

### DHCP Unique Identifier, DUID

- DUID finnes i tre varianter:
  - Type 1: Linklagsadresse med tidspunkt for generering, DUID-LLT
  - Type 2: Unik identifikator basert på Enterprise-nummer utdelt av IANA, DUID-EN
  - Type 3: Linklagsadresse, DUID-LL



## DHCPv6

### DHCP Unique Identifier, DUID

- Klientene identifiseres med DHCP Unique Identifier, DUID, som har variabel lengde og format
- Klientene kan ha flere nettverksgrensesnitt
- Hvert grensesnitt har i tillegg sin Identity Association Identifier, IAID, lengde 32 bit
- Klientene oppgir aktuell DUID og IAID i forespørslene
- DHCPv6-serverne har sine egne DUID og IAID, og oppgir disse i svarene



## DHCPv6

### DHCP Unique Identifier, DUID

- Type 1 kan se slik ut:  
00 01 00 01 13 10 43 9B 00 26 18 F2 72 40
  - 00 01 angir at dette er DUID type 1.
  - 00 01 angir at det kommer en MAC-48-adresse til slutt
  - 13 10 43 9B angir klokkeslettet målt i sekunder siden 1. januar 2000 UTC
    - I dette tilfellet: 0x1310439B s, 319832987 s, 10.1351038909 år etter 1. januar 2000 UTC, altså 18. februar 2010, kl. 18:29:47 UTC
  - 00 26 18 F2 72 40 er MAC-48-adressa for systemet som dette eksempelet er hentet fra
- Type 3 kan se slik ut:  
00 03 00 01 00 26 18 F2 72 40
  - 00 03 angir at dette er DUID type 3.
  - 00 01 angir at det kommer en MAC-48-adresse til slutt
  - 00 26 18 F2 72 40 er MAC-48-adressa for systemet som dette eksempelet er hentet fra





- Type 1 er vanlig i Windows, og lagres i Dhcpv6DUID i `HKEY_LOCAL_MACHINE\SYSTEM\CurrentControlSet\services\TCPIP6\Parameters`
- Denne verdien må slettes før man lager et image av oppsettet, ellers vil alle maskinene identifisere seg som den samme klienten
- Type 3 er enklere og mer forutsigbart, og er det beste valget for statisk tildeling av IPv6-adresse via DHCPv6, spesielt med tanke på reinstallasjon av OS
- Jeg har ikke funnet noen måte å tvinge en bestemt DUID-type i Windows, annet enn å sette Dhcpv6DUID manuelt eller gjennom skript, og naturlig nok restarte Windows etterpå
- [Dibbler](#) og Unix-systemer er tradisjonelt langt snillere, og lar oss angi i konfigurasjonen de gangene vi ønsker DUID-LL istedet for DUID-LLT



## Oversikt over del 11: Avansert multicast

### 57 Multicastflaggene

### 58 Når T er satt til 1

### 59 Når PT er satt til 11

### 60 Når RPT er satt til 111



## Avansert multicast



## Avansert multicast

### Multicastflaggene

- Flaggene heter XRPT ([RFC 7371](#))
- Flagget T angir med 0 at adressa er velkjent (definert av [IANA](#)), og med 1 at adressa er midlertidig (lokalt definert)
- Flagget P angir med 1 at adressa inneholder et unicast-prefiks og skal følge reglene i [RFC 3306](#)
- Flagget R angir med 1 at adressa også inneholder et møtepunkt («rendezvous point») og skal følge reglene i [RFC 3956](#)
- Flaggene P og R gjør det enkelt å lage egne multicast-adresser for internt bruk i organisasjonen
- Flagget X er reservert for fremtidig bruk
- [RFC 7371](#) delegerer 4 av de 8 reserverte bitene i multicastadressene som fremtidige flaggbit, rrrr
- Delegeringa er bare gyldig når flaggene PT eller RPT er påskrudd



## Avansert multicast

Når T er satt til 1

```
| 8 | 4 | 4 | 112 bits |
+---+---+---+
| 11111111|0001|scop| group ID |
+---+---+---+
```

- Adresseformatet er gitt av [RFC 4291](#)
- De 12 mest signifikante bitene må beholdes som vist
- Rekkevidden settes til ønsket, lovlig verdi
- De 112 øvrige bitene kan settes fritt
- Eksempel:
  - FF12:DEAD:BEEF:CAFE:0:FACE:BOOC:1
  - En midlertidig, link-local multicast-adresse



## Avansert multicast

Når PT er satt til 11

```
| 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 64 | 32 |
+---+---+---+---+---+---+
| 11111111|0011|scop|ff2|rsvd| plen | network prefix | group ID |
+---+---+---+---+---+---+
```

- Adresseformatet er gitt av [RFC 3306](#) og [RFC 7371](#)
- De 12 mest signifikante bitene må beholdes som vist
- Rekkevidden settes til ønsket, lovlig verdi, og rekkevidden skal ikke overskride *utbredelsen* av det angitte nettverksprefikset
- Feltene «ff2» og «rsvd» må være nullet ut inntil videre
- Feltet «plen» settes til **prefikslengden til nettverksprefikset for subnettett ditt**,  $0 < plen \leq 64$
- **Nettverksprefikset** er unicast-prefikset for subnettett ditt
- «Group ID» settes i tråd med retningslinjene til [RFC 3307](#)



## Avansert multicast

Når PT er satt til 11

```
| 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 64 | 32 |
+---+---+---+---+---+---+
| 11111111|0011|scop|ff2|rsvd| plen | network prefix | group ID |
+---+---+---+---+---+---+
```

- Eksempler:
  - FF3E:0030:2001:700:1100:0:1337:1337
  - Den første adressa er begrenset til internett (global, 48-bit)
  - FF38:0030:2001:700:1100:0:1337:1337
  - Den andre adressa er begrenset til FSI, gitt at FSI er utgangspunktet (organizational-local, 48-bit)
  - FF32:0040:2001:700:1100:3:1337:1337
  - Den tredje adressa er begrenset til IT-avdelingen ved FSI, gitt at IT-avdelingen er utgangspunktet (link-local, 64-bit)



## Avansert multicast

Når RPT er satt til 111

```
| 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 64 | 32 |
+---+---+---+---+---+---+
| 11111111|0111|scop|ff2|RIID|plen| network prefix | group ID |
+---+---+---+---+---+---+
```

- Adresseformatet er gitt av [RFC 3956](#) og [RFC 7371](#)
- De 12 mest signifikante bitene må beholdes som vist
- Rekkevidden settes til ønsket, lovlig verdi, og rekkevidden skal ikke overskride *utbredelsen* av det angitte nettverksprefikset
- Feltet «ff2» må være nullet ut inntil videre
- Feltet «RIID» settes til **møtepunktets grensesnittidentifikator**, fra 1 til F
  - Feltet «RIID» kan ikke være 0, for dette skaper konflikt med «Subnet-Router Anycast Address» fra [RFC 3513](#)
- Feltet «plen» settes til **prefikslengden til nettverksprefikset for subnettett ditt**,  $0 < plen \leq 64$
- **Nettverksprefikset** er unicast-prefikset for subnettett ditt
- «Group ID» settes i tråd med retningslinjene til [RFC 3307](#)



## Avansert multicast

Når RPT er satt til 111

```
| 8 | 4 | 4 | 4 | 4 | 8 | 64 | 32 |
+---+---+---+---+---+---+---+---+
|11111111|0111|scop|ff2 |R|ID|plen| network prefix | group ID |
+---+---+---+---+---+---+---+---+
```

### • Eksempel:

- FF78:0130:2001:700:1100:0:1337:1337
  - Denne adressa er begrenset til **organization-local**
  - Nettopprefikset er **2001:700:1100::/48**
  - Møtepunktets adresse er **2001:700:1100::1**
  - Møtepunktets adresse må konfigureres på et loopbackgrensesnitt i Fagskolens ytterste IPv6-multicast-router
  - interface Loopback1
    - ipv6 address 2001:700:1100::1/128**



## Oversikt over del 12: Konfigurasjon av IPv6

### 61 Cisco IOS

- IPv6-unicast-routing
- IPv6-multicast-routing
- ACL-er
- DHCPv6
- Sperre for fremmed routerannonsering
- Sperre for falske DHCPv6-servere
- Kombinert ACL for kantporter

### 62 Cisco AireOS

### 63 OS-konfig



## Del XII

## Konfigurasjon av IPv6



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (nye Catalyst-switcher)

- 1 configure terminal
- 2 **ipv6 unicast-routing**
- 3 no ipv6 source-route
- 4 end

(Er unødvendig i nyere IOS)



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (gamle Catalyst-switcher)

- ❶ configure terminal
- ❷ sdm prefer dual-ipv4-and-ipv6 default (Rekonfigurere TCAM)
- ❸ end
- ❹ reload
- ❺ configure terminal
- ❻ ip routing (Nødvendig for IP-routing i det hele tatt)
- ❼ ipv6 unicast-routing
- ❽ no ipv6 source-route (Er unødvendig i nyere IOS)
- ❾ end



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (routerporter)

- ❶ interface TenGigabitEthernet1/2
- ❷ description Linknett mellom FSI og Uninett/NTNU i Gjøvik
- ❸ no switchport
- ❹ ipv6 address 2001:700:0:8074::2/64
- ❺ ipv6 nd ra suppress
- ❻ no ipv6 redirects
- ❼ no ipv6 unreachablees
- ❽ ipv6 multicast boundary scope 8
- ❾ ipv6 traffic-filter InetIPv6Inn in
- ❿ ipv6 traffic-filter InetIPv6Ut out



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (husholdningskommandoer)

- ❶ Default route:  
ipv6 route ::/0 TenGigabitEthernet1/2 2001:700:0:8074::1 name FiG-Uninett
- ❷ Nullroute linknettet, og offisielle og private adresser:  
ipv6 route 2001:700:0:8074::/64 Null0  
ipv6 route 2001:700:1100::/48 Null0  
ipv6 route FD5C:14CF:C300::/48 Null0
- ❸ Statisk routing av returtrafikk til VPN-klientene:  
ipv6 route FD5C:14CF:C300:A001::/64 Vlan21 2001:700:1100:F001::2  
ipv6 route FD5C:14CF:C300:A002::/64 Vlan21 2001:700:1100:F001::3  
ipv6 route FD5C:14CF:C300:A003::/64 Vlan21 2001:700:1100:F001::4



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (sluttbrukernett)

- ❶ interface Vlan40
- ❷ description Klasserom 100
- ❸ ipv6 address FE80::1 link-local
- ❹ ipv6 address 2001:700:1100:8001::1/64
- ❺ ipv6 nd other-config-flag
- ❻ ipv6 nd router-preference High
- ❼ ipv6 nd ra dns-search-list domain fig.ol.no
- ❽ ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::3
- ❾ ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::2
- ❿ no ipv6 redirects
- ⓫ no ipv6 unreachablees
- ⓬ ipv6 dhcp server offisiell
- ⓭ ipv6 traffic-filter Vlan40IPv6InnFra in
- ⓮ ipv6 traffic-filter Vlan40IPv6UtTil out



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (trådløst sluttbrukernett)

- 1 `interface Vlan50`
- 2 `description Trådløst studentnett`
- 3 `ipv6 address FE80::1 link-local`
- 4 `ipv6 address 2001:700:1100:5::1/64`
- 5 `ipv6 nd other-config-flag`
- 6 `ipv6 nd router-preference High`
- 7 `ipv6 nd ra solicited unicast`
- 8 `ipv6 nd ra dns-search-list domain fig.ol.no`
- 9 `ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::3`
- 10 `ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::2`
- 11 `no ipv6 redirects`
- 12 `no ipv6 unreachable`
- 13 `ipv6 dhcp server offisiell`
- 14 `ipv6 traffic-filter Vlan50IPv6InnFra in`
- 15 `ipv6 traffic-filter Vlan50IPv6UtTil out`



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-unicast-routing (servernett uten autokonfig)

- 1 `interface Vlan20`
- 2 `description Ytre servernett`
- 3 `ipv6 address FE80::1 link-local`
- 4 `ipv6 address 2001:700:1100:1::1/64`
- 5 `ipv6 nd prefix default 2592000 604800 no-autoconfig`
- 6 `ipv6 nd other-config-flag`
- 7 `ipv6 nd router-preference High`
- 8 `ipv6 nd ra dns-search-list domain fig.ol.no`
- 9 `ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::3`
- 10 `ipv6 nd ra dns server 2001:700:1100:1::2`
- 11 `no ipv6 redirects`
- 12 `no ipv6 unreachable`
- 13 `ipv6 dhcp server offisiell`
- 14 `ipv6 traffic-filter Vlan20IPv6InnFra in`
- 15 `ipv6 traffic-filter Vlan20IPv6UtTil out`



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (moderne kommandoer)

- 1 Global konfigurasjon:  
`ipv6 multicast-routing`
- 2 Begrense utbredelse av intern multicasttrafikk  
`interface TenGigabitEthernet1/2`  
`ipv6 multicast boundary scope 8`  
Bare trafikk med rekkevidde større enn 8 slipper ut på internett, og inn fra internett



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (ACL-metoden)

- 1 Kan du ikke bruke `ipv6 multicast boundary scope`, så må du bruke ACL-er og sperre for uaktuelle rekkevidder og *alle* mulige kombinasjoner av flagg! (Bare for å være føre var.)
- 2 Derfor burde flagg og rekkevidde ha omvendt rekkefølge i multicastadressene, men det toget har forlenget gått ...



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (ACL-metoden)

- Alle flagg, og rekkevidde lik 3

```
deny ipv6 any FF03::/16
deny ipv6 any FF13::/16
deny ipv6 any FF23::/16
deny ipv6 any FF33::/16
deny ipv6 any FF43::/16
deny ipv6 any FF53::/16
deny ipv6 any FF63::/16
deny ipv6 any FF73::/16
deny ipv6 any FF83::/16
deny ipv6 any FF93::/16
deny ipv6 any FFA3::/16
deny ipv6 any FFB3::/16
deny ipv6 any FFC3::/16
deny ipv6 any FFD3::/16
deny ipv6 any FFE3::/16
deny ipv6 any FFF3::/16
```

- Alle flagg, og rekkevidde lik 4

```
deny ipv6 any FF04::/16
deny ipv6 any FF14::/16
deny ipv6 any FF24::/16
deny ipv6 any FF34::/16
deny ipv6 any FF44::/16
deny ipv6 any FF54::/16
deny ipv6 any FF64::/16
deny ipv6 any FF74::/16
deny ipv6 any FF84::/16
deny ipv6 any FF94::/16
deny ipv6 any FFA4::/16
deny ipv6 any FFB4::/16
deny ipv6 any FFC4::/16
deny ipv6 any FFD4::/16
deny ipv6 any FFE4::/16
deny ipv6 any FFF4::/16
```



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (ACL-metoden)

- Alle flagg, og rekkevidde lik 5:

```
deny ipv6 any FF05::/16
deny ipv6 any FF15::/16
deny ipv6 any FF25::/16
deny ipv6 any FF35::/16
deny ipv6 any FF45::/16
deny ipv6 any FF55::/16
deny ipv6 any FF65::/16
deny ipv6 any FF75::/16
deny ipv6 any FF85::/16
deny ipv6 any FF95::/16
deny ipv6 any FFA5::/16
deny ipv6 any FFB5::/16
deny ipv6 any FFC5::/16
deny ipv6 any FFD5::/16
deny ipv6 any FFE5::/16
deny ipv6 any FFF5::/16
```

- Alle flagg, og rekkevidde lik 6:

```
deny ipv6 any FF06::/16
deny ipv6 any FF16::/16
deny ipv6 any FF26::/16
deny ipv6 any FF36::/16
deny ipv6 any FF46::/16
deny ipv6 any FF56::/16
deny ipv6 any FF66::/16
deny ipv6 any FF76::/16
deny ipv6 any FF86::/16
deny ipv6 any FF96::/16
deny ipv6 any FFA6::/16
deny ipv6 any FFB6::/16
deny ipv6 any FFC6::/16
deny ipv6 any FFD6::/16
deny ipv6 any FFE6::/16
deny ipv6 any FFF6::/16
```



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (ACL-metoden)

- Alle flagg, og rekkevidde lik 7:

```
deny ipv6 any FF07::/16
deny ipv6 any FF17::/16
deny ipv6 any FF27::/16
deny ipv6 any FF37::/16
deny ipv6 any FF47::/16
deny ipv6 any FF57::/16
deny ipv6 any FF67::/16
deny ipv6 any FF77::/16
deny ipv6 any FF87::/16
deny ipv6 any FF97::/16
deny ipv6 any FFA7::/16
deny ipv6 any FFB7::/16
deny ipv6 any FFC7::/16
deny ipv6 any FFD7::/16
deny ipv6 any FFE7::/16
deny ipv6 any FFF7::/16
```

- Alle flagg, og rekkevidde lik 8:

```
deny ipv6 any FF08::/16
deny ipv6 any FF18::/16
deny ipv6 any FF28::/16
deny ipv6 any FF38::/16
deny ipv6 any FF48::/16
deny ipv6 any FF58::/16
deny ipv6 any FF68::/16
deny ipv6 any FF78::/16
deny ipv6 any FF88::/16
deny ipv6 any FF98::/16
deny ipv6 any FFA8::/16
deny ipv6 any FFB8::/16
deny ipv6 any FFC8::/16
deny ipv6 any FFD8::/16
deny ipv6 any FFE8::/16
deny ipv6 any FFF8::/16
```



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: IPv6-multicast-routing (ACL-metoden)

- Hadde bare flagg og rekkevidde byttet plass i spesifikasjonen:

```
deny ipv6 any FF30::/12
deny ipv6 any FF40::/12
deny ipv6 any FF50::/12
deny ipv6 any FF60::/12
deny ipv6 any FF70::/12
deny ipv6 any FF80::/12
```

- Dette ville bare gitt 6 regler i ACL-ene

- Det er en sterk kontrast til de 96 reglene som vi må bruke i ACL-ene når vi ikke kan bruke ipv6 multicast boundary scope 8



## Konfigurasjon av IPv6 I

Cisco IOS: ACL-er

- ❶ configure terminal
- ❷ ipv6 access-list *access-list-name*
- ❸ deny | permit *protocol* {*source-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *source-ipv6-address*} [*operator port-number*] {*destination-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *destination-ipv6-address*} [*operator port-number*] [*dest-option*] [*dest-option-type value*] [*dscp value*] [*flow-label value*] [*fragments*] [*hbh*] [*log*] [*log-input*] [*mobility*] [*mobility-type value*] [*reflect access-list-name*] [*routing*] [*routing-type value*] [*sequence value*] [*time-range name*] [*undetermined-transport*]



## Konfigurasjon av IPv6 II

Cisco IOS: ACL-er

- ❹ deny | permit tcp {*source-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *source-ipv6-address*} [*operator port-number*] {*destination-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *destination-ipv6-address*} [*operator port-number*] [*ack*] [*dest-option*] [*dest-option-type value*] [*dscp value*] [*established*] [*fin*] [*flow-label value*] [*hbh*] [*log*] [*log-input*] [*mobility*] [*mobility-type value*] [*psh*] [*reflect access-list-name*] [*routing*] [*routing-type value*] [*rst*] [*sequence value*] [*syn*] [*time-range name*] [*urg*]



## Konfigurasjon av IPv6 III

Cisco IOS: ACL-er

- ❺ deny | permit udp {*source-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *source-ipv6-address*} [*operator port-number*] {*destination-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *destination-ipv6-address*} [*operator port-number*] [*dest-option*] [*dest-option-type value*] [*dscp value*] [*flow-label value*] [*hbh*] [*log*] [*log-input*] [*mobility*] [*mobility-type value*] [*reflect access-list-name*] [*routing*] [*routing-type value*] [*sequence value*] [*time-range name*]



## Konfigurasjon av IPv6 IV

Cisco IOS: ACL-er

- ❻ deny | permit icmp {*source-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *source-ipv6-address*} {*destination-ipv6-prefix/prefix-length* | any | host *destination-ipv6-address*} [{*icmp-type* [*icmp-code*]} | *icmp-message*] [*dest-option*] [*dest-option-type value*] [*dscp value*] [*flow-label value*] [*log*] [*log-input*] [*mobility*] [*mobility-type value*] [*reflect access-list-name*] [*routing*] [*routing-type value*] [*sequence value*] [*time-range name*]
  - ❼ evaluate *reflexive-access-list-name* [*sequence value*]
  - ❽ remark *comment*
  - ❾ exit
- Husk:
- operator* ∈ {gt | lt | neq | eq | range}
- reflect er bare gyldig for permit-regler



## Konfigurasjon av IPv6 V

Cisco IOS: ACL-er

```
10 interface interface-id
11 ipv6 traffic-filter access-list-name {in | out}
12 end
```



## Konfigurasjon av IPv6 VII

Cisco IOS: ACL-er

- Ønsker du logging av blokkert trafikk, men vil samtidig ikke blokkere Neighbor Discovery, så må du gjøre slik:

```
1 remark Øvrige regler kommer før denne linja
2 permit icmp any any nd-na
3 permit icmp any any nd-ns
4 permit icmp any any router-advertisement
5 permit icmp any any router-solicitation
6 deny ipv6 any any log
7 remark Her kommer de skjulte, implisitte reglene
8 permit icmp any any nd-na
9 permit icmp any any nd-ns
10 permit icmp any any router-advertisement
11 permit icmp any any router-solicitation
12 deny ipv6 any any
```



## Konfigurasjon av IPv6 VI

Cisco IOS: ACL-er

- Alle IPv6-ACL-er har følgende 5 regler innebygget (eng. implicit) på slutten:
  - 1 permit icmp any any nd-na
  - 2 permit icmp any any nd-ns
  - 3 permit icmp any any router-advertisement
  - 4 permit icmp any any router-solicitation
  - 5 deny ipv6 any any
- Disse reglene tillater Neighbor Discovery, og blokkerer all annen IPv6-trafikk
- Dine egne regler kommer *alltid* før de 5 reglene over, og kanskje må du kopiere de innebygde reglene og gjøre dine egne justeringer, for eksempel slå på logging av blokkert trafikk



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: DHCPv6

- ipv6 dhcp pool offisiell
  - dns-server 2001:700:1100:1::3
  - dns-server 2001:700:1100:1::2
  - domain-name fig.ol.no
  - sntp address 2001:700:1100:1::2
  - sntp address 2001:700:1100:1::3
  - sntp address 2001:700:1100:1::4
  - information refresh 0 2
- interface Vlan40
  - ipv6 dhcp server offisiell





## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: DHCPv6

- ipv6 dhcp pool ULA
  - dns-server 2001:700:1100:1::3
  - dns-server 2001:700:1100:1::2
  - domain-name fig.netlocal
  - sntp address 2001:700:1100:1::2
  - sntp address 2001:700:1100:1::3
  - sntp address 2001:700:1100:1::4
  - information refresh 0 2
- interface Vlan31
  - ipv6 dhcp server ULA



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: DHCPv6

- ipv6 dhcp pool dynamisk-utdeling-vlan60
  - address prefix 2001:700:1100:6::/64
  - dns-server 2001:700:1100:1::3
  - dns-server 2001:700:1100:1::2
  - domain-name fig.ol.no
  - sntp address 2001:700:1100:1::2
  - sntp address 2001:700:1100:1::3
  - sntp address 2001:700:1100:1::4
  - information refresh 0 2
- interface Vlan60
  - ipv6 address 2001:700:1100:6::1/64
  - ipv6 nd managed-config-flag
  - ipv6 nd other-config-flag
  - ipv6 nd router-preference High
  - ipv6 dhcp server dynamisk-utdeling-vlan60



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: Sperre for fremmed routerannonsering

- Fremmed routerannonsering må sperres i **inngående** retning på **kantporter**
- Nyere IOS har egne kommandoer for dette:
  - interface range GigabitEthernet3/1 - 48
    - ipv6 nd rguard
- Eldre IOS må bruke port-ACL-er for å oppnå det samme:
  - ipv6 access-list sperre-fremmed-RA
    - ① deny icmp any any router-advertisement
    - ② permit ipv6 any any
  - interface range GigabitEthernet3/1 - 48
    - ipv6 traffic-filter sperre-fremmed-RA in



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: Sperre for falske DHCPv6-servere

- Falske DHCPv6-servere må sperres på veg **inn i kantportene**, og det beste er å bruke port-ACL-er:
  - ipv6 access-list sperre-falske-dhcpv6-servere
    - ① deny udp any eq 547 any
    - ② permit ipv6 any any
  - interface range GigabitEthernet3/1 - 48
    - ipv6 traffic-filter sperre-falske-dhcpv6-servere in



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco IOS: Kombinert ACL for kantporter

- Kombinert ACL for kantporter
  - ipv6 access-list kantporter
    - 1 deny icmp any any router-advertisement
    - 2 deny udp any eq 547 any
    - 3 permit ipv6 any any
  - interface range GigabitEthernet3/1 - 48
    - ipv6 traffic-filter kantporter in



## Konfigurasjon av IPv6

Cisco AireOS

- Cisco AireOS forlanger at routeren oppgis med link-local-adresse
- Routeren vil vanligvis bruke en autogenerert link-local-adresse
  - For eksempel: FE80::86B2:61FF:FE44:2F7F
- Denne adressa vil forandre seg ved utskiftning av routeren
- Det er lurt å sette en fast link-local-adresse i routeren:
  - 1 interface Vlan100
  - 2 ipv6 address FE80::1 link-local
  - 3 ipv6 address FD5C:14CF:C300:100::1/64
- Deretter konfigureres WLAN-kontrolleren omtrent slik:
  - 1 config interface vlan management 100
  - 2 config ipv6 interface address management primary fd5c:14cf:c300:100::2 64 fe80::1



## Konfigurasjon av IPv6

OS-konfig

- De fleste moderne operativsystemer har IPv6-støtte
- Windows 2000 har en eksperimentell IPv6-protokoll, men mangler DNS-oppslag for AAAA
- IPv6 må installeres manuelt i Windows XP og Server 2003
  - DNS-oppslag sendes alltid over IPv4
  - Noe av AD-trafikken sendes alltid over IPv4
  - RDP-server i XP og Server 2003 kan bare bruke IPv4
- IPv6 er påskrudd i Windows Vista, Server 2008 og nyere versjoner
  - DNS-oppslag kan nå sendes over IPv6
  - Nyere Windows kan fint fungere med bare IPv6
  - Windows (Server) eldre enn 8 og 2012 må ha IPv4 i tillegg til IPv6 for å kommunisere med Microsofts globale oppdateringsservere; dette skyldes manglende AAAA for download.windowsupdate.com
- Linux og \*BSD har hatt IPv6-støtte i lang tid
- Autokonfig med tilfeldig grensesnittidentifikator er det mest vanlige for skrivebordssystemer
- Manuell konfigurasjon er mest vanlig for infrastruktur



## Konfigurasjon av IPv6

OS-konfig

- Windows:
  - netsh interface ipv6 set address "navn-på-grensesnitt" IPv6-adresse
  - netsh interface ipv6 set route ::/0 "navn-på-grensesnitt" routerens-IPv6-adresse
- Eksempel:
  - netsh interface ipv6 set address "Lokal tilkobling" 2001:700:1100:8001::1337
  - netsh interface ipv6 set route ::/0 "Lokal tilkobling" 2001:700:1100:8001::1
- Konfigurasjon gjennom grafisk grensesnitt i «Kontrollpanelet» er også mulig
- netsh er utfasa i nyere Windows-versjoner i favør av PowerShell



- \*BSD:
  - `ifconfig navn-på-grensesnitt inet6 IPv6-adresse prefixlen prefikslengde`
  - `route add -inet6 default routerens-IPv6-adresse`
- Eksempel:
  - `ifconfig em0 inet6 2001:700:1100:8001::1337 prefixlen 64`
  - `route add -inet6 default 2001:700:1100:8001::1`
- Slike innstillinger lagres permanent i `/etc/rc.conf`:
  - `ifconfig_em0_ipv6="inet6 2001:700:1100:8001::1337 prefixlen 64"`
  - `ipv6_defaultrouter="2001:700:1100:8001::1"`
- Aktivisering av midlertidige adresser:
  - `sysctl net.inet6.ip6.use_tempaddr=1`
  - `sysctl net.inet6.ip6.prefer_tempaddr=1`
- Lagres vanligvis som to linjer i `/etc/sysctl.conf`:
  - `net.inet6.ip6.use_tempaddr=1`
  - `net.inet6.ip6.prefer_tempaddr=1`

## Noen RFC-er om IPv6

## Oversikt over del 13: Noen RFC-er om IPv6

### 64 Noen RFC-er om IPv6

## Noen RFC-er om IPv6

- IPv6-spesifikasjon: [RFC 8200](#), [RFC 5095](#), [RFC 5722](#), [RFC 5871](#), [RFC 6437](#), [RFC 6564](#), [RFC 6935](#) og [RFC 6946](#)
- ICMPv6: [RFC 4443](#) og [RFC 4884](#)
- Neighbor Discovery: [RFC 4861](#), [RFC 5942](#) og [RFC 6980](#)
- Krav til IPv6-noder: [RFC 6434](#)
- Path MTU: [RFC 1981](#)
- DHCPv6: [RFC 3315](#), [RFC 3319](#), [RFC 3633](#), [RFC 3646](#), [RFC 3736](#), [RFC 4361](#), [RFC 5494](#), [RFC 6221](#), [RFC 6422](#), [RFC 6644](#) og [RFC 7083](#)
- Overføring av IPv6-pakker over Ethernet: [RFC 2464](#) og [RFC 6085](#)
- Adressearkitektur: [RFC 4291](#), [RFC 5952](#) og [RFC 6052](#)
- Unicastadresser: [RFC 3587](#)
- ULA: [RFC 4193](#)

## Noen RFC-er om IPv6

- Autokonfigurering av adresser: [RFC 4862](#)
- Tilfeldig grensesnittidentifikator: [RFC 4941](#)
- Prefiks-baserte multicastadresser: [RFC 3306](#), [RFC 3956](#) og [RFC 4489](#)
- IPsec: [RFC 4301](#), [RFC 4302](#), [RFC 4303](#), [RFC 4304](#), [RFC 4307](#), [RFC 4308](#), [RFC 4309](#), [RFC 4312](#), [RFC 4835](#) og [RFC 5996](#)
- For programmerere av nettverksprogrammer: [RFC 3493](#), [RFC 3542](#) og [RFC 4038](#)
- Grunnleggende krav til IPv6-routere hos sluttbrukere (CER): [RFC 7084](#)
- Valg av router når man har flere prefiks: [RFC 8028](#)



## Oversikt over del 14: Noen bøker om IPv6

### 65 Noen bøker om IPv6



## Del XIV

## Noen bøker om IPv6

- «IPv6 Fundamentals: A Straightforward Approach to Understanding IPv6, 2nd Edition» av Rick Graziani, Cisco Press, 2017, ISBN-13: 978-1-58714-477-6
- «IPv6 for Enterprise Networks» av Shannon McFarland, Muninder Sambi, Nikhil Sharma og Sanjay Hooda, Cisco Press, 2011, ISBN-13: 978-1-58714-227-7
- «IPv6 Address Planning: Designing an Address Plan for the Future» av Tom Coffeen, O'Reilly Media, 2014, ISBN-13: 978-1-49190-276-9
- «TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols, 2nd Edition» av Kevin R. Fall og W. Richard Stevens, Addison-Wesley Professional, 2011, ISBN-13: 978-0-32133-631-6
- «Unix Network Programming, Volume 1: The Sockets Networking API, 3rd Edition» av W. Richard Stevens, Bill Fenner, Andrew M. Rudoff, Addison-Wesley Professional, 2003, ISBN-13: 978-0-13141-155-5



## Noen bøker om IPv6

