

# IPv6

## Bakgrund – Framtid – Egenskaper

---

### **Sammanfattning**

Det här arbetet tar en titt på Internet Protocol version 6, undrar vad som skiljer det från sin föregångare, och funderar kring hur det går till när ett protokoll konstrueras och sätts som standard för en hel värld.

IPv6:s historia, från odefinierat behov till färdig produkt, kommer att gås igenom. De tekniska egenskaperna studeras i detalj, och principerna för den nya tidens IP-adressering behandlas.

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b> .....	3
<b>2</b>	<b>Metod och begränsning</b> .....	3
<b>3</b>	<b>Resultat</b> .....	4
3.1	<b>Ett protokoll blir till</b> .....	4
3.1.1	Något måste göras .....	4
3.1.2	IPng Area .....	4
3.1.3	Hur mycket tid har vi? .....	5
3.1.4	Tekniska krav på IPng .....	6
3.1.5	Tre kandidater träder fram .....	7
3.1.6	Skärskådning och revidering .....	8
3.1.7	Rekommendation till IPng .....	10
3.2	<b>Teknisk beskrivning av IPv6</b> .....	11
3.2.1	Egenskaper i korthet .....	11
3.2.2	Header .....	11
3.2.3	Extension Headers .....	13
3.2.4	Svårare IP-adresser .....	14
3.2.5	Övergången till IPv6 .....	14
<b>4</b>	<b>Slutsats</b> .....	15
<b>5</b>	<b>Källförteckning</b> .....	16

## **Inledning**

Ett nätverksprotokoll som Internet Protocol är för de flesta en stor utmaning att försöka förstå sig på, även om man har en stor portion intresse och nyfikenhet i bagaget. Lyckligtvis behöver man inte förstå alla detaljer för att kunna använda och administrera det. Vad man som tekniker behöver är kunskap om hur det praktiskt fungerar och beter sig i olika situationer, och vilka som är dess starka och svaga sidor.

En av IPv4:s svaga sidor är att antalet adresser som det kan generera är för litet. Detta insåg man redan på slutet av 1980-talet, och arbetet med att konstruera en uppföljare påbörjades. Idag är den uppföljaren, som kom att heta IPv6, sedan flera år färdig, och väntar tålmodigt på att bli nästa standardprotokoll på Internet.

Hur gick det till när ett så gigantiskt projekt som att uppgradera hela kommunikationsbasen för Internet skulle genomföras? Vilka förändringar behövdes, vem föreslog dem, och vem bestämde?

Detta arbete redogör för två saker: historien bakom tillkomsten av IPv6 – som tar störst utrymme i anspråk – och en teknisk beskrivning av protokollet. Den senare innefattar även ett avsnitt om IP-adressering och ett om övergången från IPv4 till IPv6.

## **Metod och begränsning**

Materialet till det här arbetet har jag funnit på Internet, i form av RFC:er, artiklar och avhandlingar, och i böcker. Jag har valt ut det intressantaste och mest informativa, och utifrån mina kunskaper i ämnet sammanställt ett slutresultat.

Jag har varit tvungen att begränsa mig. Ämnet i sig är så komplext att om en sådan här rapport ska kunna skrivas på ett begränsat antal sidor, måste mycket tekniska detaljer lämnas därhän. Läsaren kommer att finna teknisk detaljrikedom i stora mått ändå, men jag har försökt balansera det hela för att göra arbetet överblickbart och, inte minst, läsvärt.

# Resultat

## Ett protokoll blir till

### Något måste göras

När TCP/IP utvecklades i början på 1980-talet kunde ingen föreställa sig storleken på Internet som vi ser idag. 1987 gjordes en uppskattning om att det skulle komma att behövas adressering till så många som 100.000 nätverk vid någon mer eller mindre vag punkt i framtiden. Den punkten kom vi till 1996.

Ett av problemen är att även om 32-bitars IPv4 kan adressera över 4 miljarder klienter och över 16 miljoner nätverk, så blir den faktiska adresstilldelningen inte alls så effektiv, utan snarare väldigt grovhuggen.

Internet Engineering Task Force (IETF) höll ett möte i Vancouver 1990, där det beräknades att med dåvarande hastighet skulle klass A-adresserna ta slut i mars 1994. Den då mest uppenbara lösningen, att ersätta A-adresser med flera C-adresser, innebar nya problem i form av ohållbart stora routingtabeller på backbone-routerna på Internet. Detta löstes delvis senare med hjälp av Classless Internet Domain Routing (CIDR).

IETF bildade i november 1991 en arbetsgrupp kallad the Routing and Addressing group (ROAD), som skulle undersöka problemen med att IP-adresserna så småningom skulle komma att ta slut och vara IETF:s guide i de frågorna. Ett halvår senare presenterade ROAD sin rapport, och utfärdade rekommendationer om åtgärder indelade i typerna ”omedelbara” och ”långsiktiga”.

Man ställde sig bakom ett tidigare förslag (Fuller93) om minskning av routingtabellernas tillväxt, och rekommenderade ett utrop för formandet av arbetsgrupper som skulle undersöka olika sätt att kunna utöka antalet adresser på Internet.

Vid ett möte i Amsterdam i juli 1993 bestämde IETF en arbetsordning för hur man skulle gå tillväga för att välja det bästa förslaget på IPng (IP next generation). Mötet fokuserade på vilka kriterier som skulle styra vilken den slutliga rekommendationen skulle bli, och vem som skulle stå för den slutliga rekommendationen åt världen.

### IPng Area

Det beslutades att en temporär ”IPng Area” skulle skapas som skulle ägna sig helt och hållet åt IPng. Allison Mankin och Scott Bradner från IESG (Internet Engineering Steering Group) ombads att bli ”Area Directors”, och de fick riktlinjer för hur de skulle bedöma olika IPng-förslag och på vad de skulle basera sitt förslag till IETF. De skulle arbeta med bl. a. följande för ögonen:

- ❑ Inrätta en IPng-styrelse.
- ❑ Säkerställ att en fullständigt öppen procedur följs.

- ❑ Skapa en förståelse för brådskan och tidsbegränsningarna i arbetet som kommer av hastigheten på utdelningen av adresser och tillväxten på routingtabellerna.
- ❑ Rekommendera lämplig ändring av policyn för adresstilldelning.
- ❑ Definiera omfattningen av arbetet med IPng utifrån de tidsbegränsningar som finns.
- ❑ Utforma tydliga och precisa tekniska krav och beslutskriterier för IPng.
- ❑ Utforma en rekommendation om vilket inkommet förslag till IPng, om något, som ska väljas.

Först rekryterades IPng Areas styrelse. Medlemmarna valdes utifrån både generella och specifika tekniska kunskaper, och man ansträngde sig för att få med kunskaper över ett så brett spektrum som möjligt. Där fanns experter på routing, säkerhet, storkundsbehov, systemtillverkning, Unix, icke-Unix, routertillverkare, teoretisk forskning, protokollarkitektur, lokala-, nationella- och internationella nätverk, osv. Dessutom var flera av styrelsemedlemmarna också med i arbetsgrupperna som kom att jobba med IPng.

Styrelsen höll möten varannan vecka, deltog i mailinglistor, och höll också öppna möten på IETF:s konferenser. För att försäkra att allting försiggick helt öppet antecknades allt och publicerades efterhand på Internet.

### **Hur mycket tid har vi?**

En viktig fråga var hur länge adressering med IPv4 skulle räcka, och hur omfattande arbetet med IPng därför kunde bli. Om det visade sig att tiden som återstod var lika lång som det skulle ta att få fram en ersättare, så skulle man välja ett förslag som bara rättade till problemet med adresseringen. Men om mer tid återstod skulle man även överväga andra förbättringar i protokollet.

För att titta på detta bildade IETF en Address Lifetime Expectations (ALE) arbetsgrupp. Den skulle ”utforma en uppskattning av den återstående livstiden för IPv4:s adressutrymme, baserad på nuvarande känd och tillgänglig teknik.”

IETF uppmanade också ALE att överväga om och hur en mer strikt policy för dåvarande adresstilldelning skulle kunna generera mer tid för själva övergången till IPng.

ALE kom fram till att, med dåvarande statistik för adresstilldelning, skulle Internet använda upp IPv4:s adressutrymme någon gång mellan 2005 och 2011. Detta var en inte okontroversiell slutsats, och den ifrågasattes på mailinglistor och anklagades för att vara både för optimistisk och för pessimistisk.

En del påpekade att den utvecklingen byggde på antagandet att det inte skulle komma att ske något paradigmskifte i IP-användandet under denna tid. Om det skulle utvecklas någon ny ”killer application”, som gjorde det möjligt att kommunicera med t.ex. hushållsapparater via IP, så skulle ALE:s slutsats visa sig vara en grov överskattning av IPv4:s återstående livstid.

Andra menade att beräkningsunderlaget var felaktigt. InterNIC delar ut IP-adresser i stora sjok till regionala ISP:er, som i sin tur delar upp och ut IP-adresser till sina kunder. ALE:s beräkningar grundades på InterNIC:s utdelningar och tog ingen hänsyn till hur mycket som

faktiskt delades ut till slutanvändarna. Man gjorde det för att tillförlitligheten till InterNIC:s uppgifter var betydligt högre, men det kunde också leda till att man antog att fler adresser skulle vara upptagna än vad som kanske var fallet.

ALE:s beräkningar ansågs alltså inte helt pålitliga, men indikerade ändå att tiden IPv4 hade kvar att leva skulle räcka till för att även hinna utveckla, testa och få med förbättringar i protokollet.

## **Tekniska krav på IPng**

I november 1992 höll IETF ett möte i Washington D.C. där man arbetade med att formulera de tekniska kriterierna för hur ett förslag till IPng skulle se ut. För att få ytterligare input innan man bestämde sig utfärdade man ett upprop (RFC 1550), som syftade till att nå ut och ge en så bred respons som möjligt, för att man verkligen skulle förstå hur ett nätverksprotokoll med största möjliga spridning borde se ut.

Det kom in 21 rapporter som svar på uppropet, från näringsgrenar och företag som skulle komma att bli de största leverantörerna av nätverkstjänster i framtiden: kabel-TV- och mobiltele-industrin, elkraftsbolag m fl. Det kom in svar som behandlade militära tillämpningar, mobila tillämpningar, bokföring, routing, säkerhet, allmän acceptans, införande, mm.

Dessa rapporter, tillsammans med de tidigare kriterierna och ytterligare diskussioner i IPng Area och på mailinglistorna, användes av Frank Kastholz och Craig Partridge för att formulera dokumentet Kasten94: "Technical Criteria for Choosing IP the Next Generation".

Dokumentet användes för att bedöma förslagen till IPng, och ställde följande krav på protokollen:

- ❑ Fullständig specifikation – Förslaget måste fullständigt beskriva det föreslagna protokollet. Beslut om IPng måste tas med hänvisning till existerande dokument, inte till framtida arbete.
- ❑ Arkitektonisk enkelhet – Protokollet ska vara så enkelt som möjligt. Funktioner som utförs bättre av något annat lager än IP-lagret ska inte finnas med.
- ❑ Skalning – Protokollet måste klara identifiering och adressering av minst  $10^{*9}$  nätverk, och helst många fler.
- ❑ Topologisk flexibilitet – Arkitekturen och protokollet måste tillåta många olika nätverkstopologier. Den fysiska strukturen får inte antas vara ett träd.
- ❑ Prestanda – Ska vara state of the art. De vid tidpunkten bästa och snabbaste mediumerna måste kunna utnyttjas maximalt.
- ❑ Robust service – Nätverkstjänsterna med tillhörande routing och protokoll måste vara robusta.
- ❑ Införande – Protokollet måste ha en tydlig och enkel övergångsplan från IPv4.

- ❑ Mediaoberoende – Protokollet måste fungera på ett internetwork med många olika LAN, MAN och WAN-media, med skiftande hastigheter från ett par bps till hundratals Gbps.
- ❑ Enkel konfiguration – Protokollet måste tillåta enkel och i stora delar distribuerad konfiguration och funktion. Automatisk konfigurering av hosts och routers är ett krav.
- ❑ Säkerhet – IPng måste tillhandahålla ett säkert nätverkslager.
- ❑ Unika namn – IPng måste tilldela unika namn åt alla objekt i IP-lagret, över hela Internet. Dessa namn kan, men behöver inte ha, routing-, lokal- eller topologisk betydelse.
- ❑ Stöd för multicast – Protokollet måste stödja både unicast och multicast paketförmedling. Dynamisk och automatisk routing av multicast är också ett krav.
- ❑ Utökning – Protokollet måste vara utbyggbart; det måste kunna utvecklas efter framtida behov på Internet, och den utvecklingen måste kunna ske utan krav på stora mjukvaruuppdateringar.
- ❑ Kontrollprotokoll – Protokollet måste ha stöd för elementära test- och felsökningsprotokoll, som ping och traceroute.
- ❑ Stöd för tunnling – Protokollet måste tillåta användare att bygga privata nätverk ovanpå Internets infrastruktur. Både privata IP-baserade nätverk och privata icke-IP-baserade nätverk, t.ex. AppleTalk, måste stödjas.

Redan innan IPng Area bildades hade IETF lagt mycket tid på att försöka lösa problemen med adressering och routing på Internet. Många förslag hade förts fram, och olika arbetsgrupper hade tillsatts. En del av dessa gick efterhand ihop i större och tyngre grupper. De representerade alla olika sätt att se på problematiken och försökte optimera olika aspekter på möjliga lösningar.

Inga av dessa förslag var fel, och inte heller var några rätt. De skulle alla fungera på något sätt för att komma över hindren som skapas av Internets tillväxt. IPng Areas roll var här att se till att IETF förstod de olika förslagen, lärde sig av dem, och kunde bestämma sig för vilket av dem som bäst löste de grundläggande problemen och erbjöd den bästa grunden att bygga vidare på.

### **Tre kandidater träder fram**

Av de grupper som arbetade var och en på sitt, slogs ihop i olika konstellationer och växte, återstod det till slut tre stycken vars förslag IPng Area hade att på allvar utvärdera: CATNIP, SIPP och TUBA. Något av deras skapares beskrivningar följer här.

#### **CATNIP**

”Common Architecture for the Internet (CATNIP) är tänkt som ett sammanhållande protokoll. CATNIP:s design tillåter att vilket transportlager som helst, t.ex. TP4, CLTP, TCP, UDP och SPX, går över vilket nätverkslager som helst, t.ex. CLNP, IPv4, IPX och CATNIP.

Målet är att tillhandahålla en gemensam grund för Internet-, OSI- och Novellprotokollen, såväl som att få tekniken att fungera med nästa generations krav på Internetprestanda och storlek.”

### **SIPP**

”Simple Internet Protocol Plus (SIPP) är en ny version av IP som har skapats för att vara ett evolutionärt steg framåt från IPv4. Målet har inte varit att ta ett radikalt steg bort från IPv4. Funktioner som fungerade i IPv4 har behållits i SIPP, funktioner som inte fungerade har tagits bort. Det kan installeras som en normal mjukvaruuppgradering, och erbjuder en plattform för nya Internetfunktioner som kommer att krävas i en snar framtid.

SIPP utökar IP-adressens storlek från 32 bitar till 64 bitar, för att stödja fler nivåer i adresshierarkin och många fler adresserbara noder. SIPP:s adressering kan utökas ytterligare i enheter om 64 bitar, i kombination med en ny adresstyp kallad ”klusteradresser” som identifierar topologiska regioner snarare än enskilda noder.

SIPP ändrar i IP-headern så att paketförmedlingen blir effektivare, bl.a. med en ny funktion som tillåter etikettering av paket efter vilket ”trafikflöde” de tillhör. Olika flöden kan få olika behandling, såsom varierande grader av Quality of Service.”

### **TUBA**

”TCP/UDP over CLNP-Addressed Networks (TUBA) avser att minimera riskerna med att migrera till ett nytt adressområde. Därför föreslår vi att Applikations- och Transportlagren behålls oförändrade och att bara 32-bitarsadresseringen byts ut mot större adresser. Det innebär bara att IP byts ut mot CLNP (ConnectionLess Network Protocol). TCP, UDP och de traditionella TCP/IP-applikationerna kan köras över CLNP.

TUBA kommer att utöka möjligheterna med Internet-routing genom adressering som stöder mer hierarki än nuvarande IPv4. Vidare specificerar TUBA fortsatt användande av transportprotokollen, i synnerhet TCP och UDP, men som inkapslade i CLNP-paket. Detta tillåter i sin tur fortsatt användande av applikationsprotokollen, såsom FTP, SMTP, TELNET, etc.”

### **Skärskådning och revidering**

IPng Area:s styrelse skärskådade och diskuterade de tre förslagen, både internt och på mailinglistor på Internet. Alla medlemmarna fick i uppdrag att själva utvärdera förslagen inför ett tvådagarsmöte utanför Chicago i maj 1994.

Mötet började med en rundabordsdiskussion mellan styrelsen och inbjudna gäster från de tre förslagens arbetsgrupper. Man gjorde där upp en tabell som visade hur väl IPng Area tyckte förslagen motsvarade kraven i IPng Criteria-dokumentet. En bit av den återges här. ”Ja” betyder att förslaget svarar mot kriteriet, ”Nej” betyder att det inte gör det, ”Oftast” att det gör det för det mesta, ”Blandat” betyder att styrelsen hade olika uppfattningar och att ingen övervägde, och ”Okänt” betyder att förslagen inte tagit upp eller bemött kriteriet.



Specifikation	CATNIP	SIPP	TUBA
fullständig spec.	nej	ja	oftast
enkelhet	nej	nej	nej
skalning	ja	ja	ja
topologisk flex.	Ja	ja	ja
prestanda	blandat	blandat	blandat
robust service	blandat	blandat	ja
införande	blandat	nej	blandat
mediaoberoende	ja	ja	ja
enkel konfiguration	okänt	blandat	blandat
säkerhet	okänt	blandat	blandat
unika namn	blandat	blandat	blandat

**Tabell 1. Hur förslagen svarade mot kriterierna.**

Alla medlemmarna tyckte att CATNIP inte var fullständigt specificerad, men att många av idéerna var innovativa. Några tyckte att CATNIP visade upp den bästa visionen av alla förslagen. Men arbetsgruppen ansågs inte ha utformat tillräckligt detaljerade planer för att gå iland med sammanslagningen av de tre protokollen.

Dessutom menade man att CATNIP hade för dåligt stöd för multicasting, och inte specifikt tog upp så viktiga frågor som säkerhet och autokonfiguration.

Många recensenter tyckte om SIPP, och som en av dem uttryckte det var SIPP ett ”estetiskt vackert protokoll, väl format att helt och fullt svara mot dagens kända nätverkskrav.”

SIPP-arbetsgruppen hade varit den flitigaste under det gångna året och hade producerat en myriad av dokument där de beskrivit nästan alla aspekter som behövdes för en fullständig protokollbeskrivning.

Problemet var SIPP:s övergångsplan. Den helt dominerande uppfattningen var att den var så dålig att den inte skulle kunna fungera på Internet. Den största diskussionen handlade om SIPP:s 64-bitarsadresser, och om det skulle vara tillräckligt för att klara de framtida behoven på Internet. Eftersom ingen hade erfarenhet av adressering- och routingkoncepten av den typ som föreslogs i SIPP, kände de flesta att man var ute på osäker mark med de idéerna.

TUBA möttes av mycket mer blandade reaktioner än något av de andra förslagen. Kraven på skalning, topologisk flexibilitet och mediaoberoende klarade det utan problem, men om det gjorde det på övriga krav rådde det väldigt delade meningar om.

Den stora fördelen med TUBA var att den byggde på CLNP, och att det redan fanns en mycket stor andel routrar på Internet som klarade CLNP. Dock fanns det problem med effektiviteten i protokollet gentemot CLNP, och egentligen skulle CLNP behöva modifieras för att det skulle fungera som det var tänkt.

Flera i IPng Area påpekade att om TUBA skulle baseras på ett ändrat CLNP så skulle fördelen med en redan existerande infrastruktur gå förlorad.

Stora problem fanns med alla tre förslagen. IPng:s styrelse ansåg att både SIPP och TUBA skulle, i större eller mindre grad, kunna fungera på Internet. Men några av deras problem måste lösas innan de skulle vara redo att ersätta IPv4, och ännu fler om de ville bli ett protokoll för framtidens Internet.

CATNIP ansågs vara för ofärdigt för att kunna övervägas.

Två av medlemmarna i SIPP-arbetsgruppen, Steve Deering och Paul Francis, satte sig och arbetade fram några ändringar i sitt förslag. Den viktigaste var att de ändrade från 64- till 128-bitars adressering.

Efter omfattande diskussioner publicerades en reviderad version av SIPP, och den skickades till IPng-styrelsen för ny genomgång.

### **Rekommendation till IPng**

IPng Area:s förslag till IETF blev en syntes av olika ansträngningar för att lösa IPng-frågan. Mycket av det grundläggande protokollet kom från SIPP, autokonfigurationen och övergångsdelarna var influerade av TUBA, och ytterligare andra delar plockades från andra förslag.

Innan IPng Area la fram sitt slutgiltiga förslag till IETF påpekade de att man gjorde två antaganden:

1. Att IPng Criteria-dokumentet representerade de kriterier som skulle gälla vid bedömningen.
2. Att en rekommendation skulle göras nu, och att IETF:s arbete därefter skulle inrikta sig på att arbeta med denna rekommendation för att få fram ett IPng-protokoll.

Huvudämnet på mailinglistorna den senaste tiden hade varit huruvida det var rätt att lägga fram en rekommendation just då. En del ansåg att ytterligare forskning skulle kunna lösa frågor som ännu kändes osäkra, medan andra ansåg att ett beslut nu om ett specifikt protokoll skulle göra att bilden klarnade och att man kunde koncentrera sig på den verkliga uppgiften.

Dessutom menade man att forskning och tillägg ju kan göras när som helst, och därför skulle det "rätta tillfället" för att sätta igång med arbetet aldrig infinna sig.

Alltså: Enligt IPng Area skulle det inte vara av avgörande betydelse om man väntade ett halvår eller ett år innan förslaget till IPng presenterades för IETF. Det skulle vara mer effektivt om man bestämde sig och kunde koncentrera sig på ett enda förslag.

Den stora frågan för IPng Area var längden på adresserna: Det framfördes bra tekniska argument för att man borde använda 8 byte, 16 byte och 20 byte. Ett förslag argumenterade för att man skulle använda varierande längd, för att få med alla varianterna.

Total enighet uppnåddes aldrig, men IPng:s styrelse ansåg att en klar majoritet förespråkade en fast längd på 16 byte. Detta skulle innebära den bästa kompromissen mellan effektivitet, funktionalitet, flexibilitet, och global acceptans.

Den slutgiltiga rekommendationen blev att protokollet som beskrivits i dokumentet ”Simple Internet Protocol Plus (SIPP), 128 bit version” skulle rekommenderas att bli grunden att bygga IPng på, och att valda delar av de andra förslagen skulle användas för särskilda egenskaper i det nya protokollet.

Det beslutades att versionsnumret för IPng skulle bli 6, och att protokollet skulle kallas IPv6.

IETF konstruerade ett IP-protokoll efter dessa rekommendationer och riktlinjer. Den nuvarande specifikationen beskrivs i RFC 2460 från december 1998.

## **Teknisk beskrivning av IPv6**

### **Egenskaper i korthet**

#### **Utökade adresseringsmöjligheter**

Inte bara fler adresser är möjliga med IPv6, utan även andra förbättringar har gjorts, t.ex. med autokonfigureringen.

#### **Enklare headerformat**

En del fält i IPv4:s header har tagits bort helt, andra har blivit valfria i IPv6.

#### **Stöd för extension headers**

IPv6 kan låta en del headerinformation ingå i extension headers. Detta ökar mängden data som headern kan innehålla utan att ta upp plats i själva headern. För det mesta behöver inte dessa extensions behandlas av routers, vilket ytterligare snabbar upp trafiken.

#### **Flow labeling**

IPv6:s datagram kan markeras att tillhöra en specifik flow level. En flow level är en datagramklass med särskilda behov, t.ex. kan en real-time service tillhöra en helt annan flow level än ett e-postmeddelande.

#### **Större säkerhet**

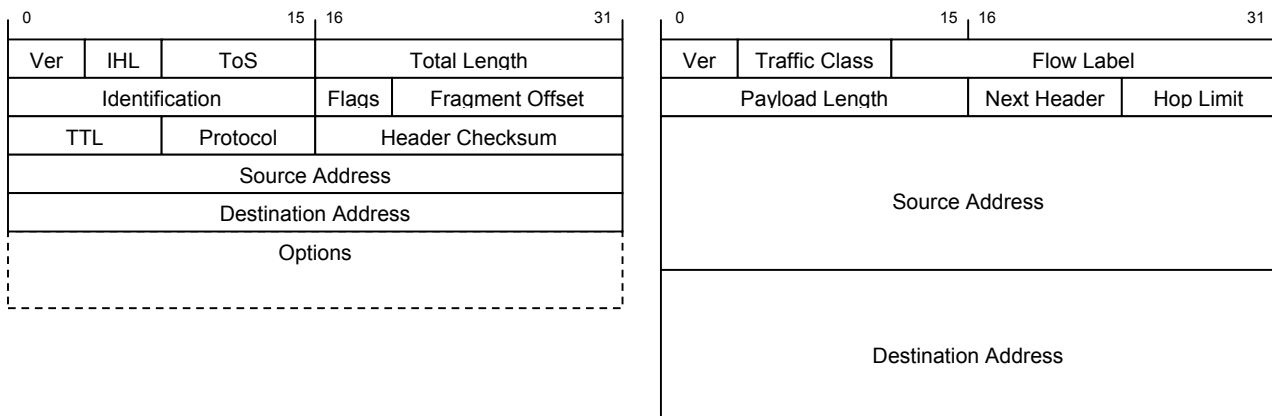
IPv6 har bättre stöd för autentisering, kryptering och integritet.

### **Header**

IPv6:s header ser annorlunda ut än i IPv4. Några fält är borttagna, andra är ändrade på ett eller annat sätt. (se tabell 2 nästa sida)

Borttagna fält	Fält som bytt namn i IPv6	Nya fält i IPv6
<p><b>Header Length</b> - inte nödvändig eftersom IPv6 har en fixerad 40 bytes header.</p> <p><b>Options</b> - IPv6 använder speciella extension headers istället.</p> <p><b>Header Checksum</b> - verifiering sker även i andra skikt, så man tog bort detta och vann prestanda.</p> <p><b>Type of Service</b> - inte mycket använt och därför borttaget.</p> <p><b>Datagram Identification</b> - löstes på annat sätt.</p> <p><b>Flags Field, Fragment Offset Field</b> – överflödiga.</p>	<p><b>Datagram Length --&gt; Payload Length</b> anger datagrammets längd, utan att inkludera IPv6 header eftersom den alltid har samma storlek.</p> <p><b>Protocol --&gt; Next Header</b> - anger vilken header som följer, vanligtvis TCP eller UDP, men kan även vara en eller flera extension headers.</p> <p><b>TTL, Time to Live --&gt; Hop Limit</b> - IPv6 mäter hopp istället för sekunder. En router tar bort en sekund från TTL när ett paket passerar, men om paket står flera sekunder på kö så kan TTL minskas till noll och paketet försvinner.</p>	<p><b>Flow Label</b> - klassificerar paket</p> <p><b>Class</b> - sätter en etikett på paket som ska behandlas av IPv6 routers, RFC 1809.</p>

**Tabell 2. Skillnaden på headern i IPv4 och IPv6.**



**Figur 1. En jämförelse mellan headern i IPv4 och IPv6.**

Headern i IPv6 är alltid 40 byte lång. Det gör att den är mer hanterlig vid routing, men också mer begränsad i sin funktion. Detta löses med hjälp av extension headers.

## Extension Headers

Utökning av header sker med hjälp av fältet "Next Header" som förutom TCP/UDP kan innehålla någon av IPv6 Extension headers. Paket kan innehålla ingen, en eller flera extension headers. När man har flera rekommenderas att dessa är förlagda i en viss ordning, IPv6 Extension Header Order.

Ordningen bör vara:

1. Ipv6 Header
2. Hop-by-Hop Extension Header
3. Destination Options Extension Header, första
4. Routing Extension Header
5. Fragment Extension Header
6. Authentication Extension Header
7. Encapsulating Security Payload Extension Header, ESP
8. Destination Options extension Header, andra
9. Upper-layer Header

Varje header får bara förekomma en gång, förutom Destination Options. Om headern är avsedd för mottagaren så läser inte routrarna på vägen dessa.

<b>IPv6 Header</b> Next Header: 43	<b>Routing Header</b> Next Header: 44	<b>Fragment Header</b> Next Header: TCP	<b>TCP Header</b>	<b>Data</b>
---------------------------------------	--	--	-------------------	-------------

**Figur 2. Utökning med extension headers i IPv6.**

### *Hop-by-Hop Extension Header*

Next header värde 0. Innehåller information till noder längs routen. Fältet Options innehåller en eller flera TLV, Type-Length-Value.

### *Destinations Options Extension Header*

Next header värde 60. Övriga parametrar till mottagaren.

### *Routing Extension Header*

Next header värde 43. Specificerar router. Innehåller en eller flera Address-fält.

### *Fragment Extension Header*

Next header värde 44. IPv6 klarar av fragmentering på ett annat vis jämfört med IPv4. Klienten tar med hjälp av MTU discovery reda på hur stora paket som nätverket kan hantera. Om MTU (Maximum Transmission Unit) inte är tillräcklig läggs en Fragment header till som gör att fragmentering kan göras för att matcha MTU.

### *Authentication Extension Header*

Används för att verifiera att sändaren är den han utger sig för att vara. Sändare och mottagare använder sig av en gemensam algoritm, MD5, Message Digest version 5.

### *Typical Encrypted Security Extension Header*

ESP används för att kryptera data. Default algoritm är DES-CBC.

### **Svårare IP-adresser**

IP-adresserna i IPv4 består ju av de fyra binära oktetterna, omskrivna till decimaltal separerade med punkter: 192.168.45.67

Decimaltalen används för att de är lättare att läsa och komma ihåg än binärvarianten:

11000000.10101000.00101101.01000011

IPv6 använder 16 byte till sina adresser. Även om man använder decimalomskrivning av 128 bitar blir det inte särskilt mycket lättare att komma ihåg eller läsa dem:

111.121.35.99.114.121.97.0.0.88.250.201.211.109.130.117

Alltså måste adressskrivningen förenklas ytterligare. Ett sätt att göra det är att först göra ännu en omskrivning, till hexadecimal. Då får man åtta hexadecimala tal (representerande 16 bitar var) separerade med kolon:

FE80:0000:0000:0000:0200:F8FF:FE22:26C8

Sedan utelämnar man inledande nollor och nollsträngar (markerade med dubbelkolon), vilket låter sig göra då IPv6:s metod för adresstilldelning leder till många nollsträngar:

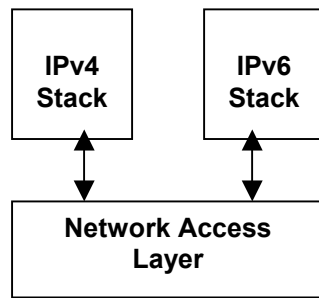
FE80::200:F8FF:FE22:26C8

Fortfarande är en IPv6-adress svårare att greppa än en traditionell IPv4, och det är för tidigt att säga hur administratörer kommer att hantera dem. Det finns alternativa sätt att skriva dem, och många menar också att DNS kommer att utvecklas och användas ännu mer i framtiden.

### **Övergången till IPv6**

Bytet från IPv4 till IPv6 kommer naturligtvis att ske under en lång övergångsperiod. En fullständig ombyggnad av Internet har aldrig varit aktuellt, utan utvecklingen av IPng har hela tiden gått ut på att den ska kunna existera parallellt med IPv4.

IPv6 arbetar sida vid sida med IPv4, på samma sätt som IPv4 fungerar tillsammans med IPX/SPX, NetBEUI, eller någon annan protokollstack. Komponenterna som behövs för att multiplexa IPv4 och IPv6 opererar sedan på lagret under, Network Access Layer. (se figur 3 nästa sida)



**Figur 3. Multiplexing av IPv4 och IPv6.**

IETF har givit i uppdrag åt NGTRANS (Next Generation Transission Working Group) att med högsta prioritet arbeta med frågorna kring övergången från IPv4 till IPv6, vilket de har gjort sedan december 1994. De har genom åren publicerat många förslag och RFC:er där de beskriver verktyg och mekanismer för införandet av IPv6 i olika scenarier.

En given fråga har varit var någonstans man ska börja. Två huvudstrategier har föreslagits:

- ❑ Uppgradera först alla IPv4 routrar på ryggradsnäten till IPv6, och för sedan ut förändringen genom näten ända till sista noden också är uppgraderad.
- ❑ Vänd på förloppet, och börja med ytterkanterna på topologin. När uppgraderingen av LAN och intranet sprider sig över näten, flyttas gränsen mellan IPv4 och IPv6 längre och längre inåt och till slut omfattas också det sista ryggradsnätet.

En första övergångsfas har börjat i många laboratorier och institutioner. Ett IPv6-nät som redan finns kallas 6bone. Det använder tunnlar för att skicka IPv6 inuti IPv4-paket, och är utbyggt mellan många länder.

Stöd för IPv6 finns numera också i hårdvara och operativsystem. Ciscos routrar har det, Windows, Linux och MacOS likaså.

## Slutsats

Trots att det är tio år sedan IETF beslutade hur IPng skulle se ut och arbetet med utvecklingen och införandet har pågått intensivt sedan dess, är det få som har arbetat med eller ens sett IPv6. Det säger något om vilken otroligt stor uppgift det är att försöka uppgradera den komponent som hela världens datakommunikation bygger på.

Det kommer att dröja många år än innan övergången är klar, men när det är gjort kommer vi att ha tillgång till ett väsentligt förbättrat nätverksprotokoll och en IP-adressmängd så stor att vi inte behöver vara rädda att den inte ska räcka till.

Många nya tillämpningar ligger i startgroparna och kommer att ta fart när IPv6 har blivit standard på Internet. De flesta elektroniska komponenter kan komma att bli tilldelade IP-adresser i framtiden, och då kan arbetet börja på riktigt med t.ex. de ”intelligenta husen”, vilket förutsätter att husägaren kan kommunicera bekymmersfritt med såväl kylskåp, tvättmaskin som värmepanna.

En sak jag har funnit fascinerande när jag gått igenom IETF:s arbete med att ta fram det som kom att bli IPv6 är tidsaspekten. Deras slutsatser om att IPv4-adresserna var på väg att ta slut och att arbetet måste få högsta prioritet när man väl valt väg, låter logiskt och helt i linje med min egen föreställning om Internets utveckling. Men när jag ser på årtalen som det handlar om inser jag att allt utspelade sig innan Internet ”slog igenom”, och jag hade nog trott att det handlade om slutet på 1990-talet snarare än början om jag inte vetat. (Den första grafiska webbläsaren – Mosaic – kom 1993.)

Om tio år står vi kanske inför någon ny stor utmaning, som det då visar sig att människor har förutsett och arbetat med sedan länge, och att de kanske påbörjade det arbetet just idag.

## Källförteckning

### Internet

<http://www.faqs.org/rfcs/rfc1752.html>

<http://domino.idg.se/cs/artikel.nsf/674b84618b948c0cc12567d20050feb7/5991416297dc489ec12568c5003b3301?OpenDocument>

[http://www.e.kth.se/~e94\\_cen/exjobb/index.shtml](http://www.e.kth.se/~e94_cen/exjobb/index.shtml)

<http://www.dnobb.info/artiklar/net/tcp/ip4o6.php>

### Böcker

Joe Casad: Teach Yourself TCP/IP in 24 Hours  
Sams 2001  
ISBN: 0-672-32085-1