

# Innehåll

<b>Sammanfattning</b>	<b>2</b>
<b>1. Inledning</b>	<b>3</b>
<b>2. Summering av konferensen ATM Year 97</b>	<b>4</b>
2.1 ATM och marknaden	5
2.2 Applikationer	6
<b>3. Bredband till arbetsplatsen – vad kommer att hända?</b>	<b>7</b>
3.1 Helt nya förutsättningar	7
3.2 Nya möjligheter för olika användningsområden?	7
3.3 Hinder för utvecklingen	8
3.4 Digitaliserade multimediaobjekt	9
3.5 Bredbandskommunikation som backbone	10
3.6 ATM till skrivbordet eller alternativa lösningar?	10
3.7 Tillgång på fiber	11
3.8 Digitaliserade videoströmmar över bredband	11
3.9 Applikationer måste fram	11
<b>4. Tekniska aspekter av ATM</b>	<b>12</b>
4.1 Inledning	12
4.2 Cellnätverk	13
4.3 Adaptionlager	15
4.4 Adressering och signalering	16
4.5 Nätverksprotokoll över ATM	22

## Sammanfattning

Bredbandskommunikation är ett nytt teknikområde som erbjuder helt nya förutsättningar i sättet att kommunicera mellan arbetspunkter (enskilda eller grupper av personer som befinner sig på en fysisk plats). Helt nya former för samarbete och samverkan kan utvecklas mellan personer som befinner sig på stora avstånd från varandra.

Industri, sjukvård, utbildning och mediaindustri är exempel på sektorer som kommer att få helt nya möjligheter att bygga upp sina verksamheter och samarbeta.

Teleindustrin måste i stora avseenden lära om helt och den traditionella teleindustrin kommer att se utrustningar som bygger på helt nya principer. Datateknik och teleindustri kommer att samarbeta på helt nya sätt i framtiden eftersom förutsättningarna för teleindustrins lösningar kommer att förändras starkt. Vinnare blir de aktörer som tar till sig och snabbt bygger upp kunskap på de nya områdena.

Samarbete mellan aktörer som kommer att använda de nya lösningarna och aktörer som måste ta fram de nya applikationerna är vitalt för att få användbara och anpassade lösningar. Bättre samarbete fordras.

Den pågående urbaniseringen och avfolkningen av landsbygden kan vändas genom att ta vara på de nya förutsättningar som kommer att erbjudas för regional utveckling. Personer med hög kompetens kommer att kunna leva och bo i olika, vad som förutsätts som perifera, regioner och kunna samarbeta med partners i storstadsområdena.

Dagsläget är att kunskap för att lära sig använda denna teknik måste byggas ut samt att byggandet av nya applikationer måste startas.

Den nya snabbare kommunikationstekniken kommer att användas i flera syften, t ex för att sammanbinda lokala nät och direkt i de lokala näten. Bredbandsteknik till arbetsplatsen diskuteras en hel del i samband med hur snabbt bredbandstekniken förväntas utvecklas. Den bedömning som flera internationella bedömare gör är att bredbandsteknik baserat på ATM den närmaste tiden kommer att återfinnas i backbone-nät. Backbone-näten kommer att sammanbinda olika lokala nät i företagen baserade på äldre teknologi. Vissa användare som arbetar mer med multimedialt baserad information och vissa former av gruppstöd kommer snart att ha ATM kopplat direkt till sina arbetsstationer.

Bedömningen är att ATM de kommande åren i ökande utsträckning kommer att bli alltmer tillgängligt direkt mot enskilda arbetsplatser. Applikations- och kunskaps-uppbyggnad kring användning är av stor vikt.

En konkurrent till ATM på bredbandsområdet är Gigabit Ethernet. Denna nätverksteknologi har dock helt andra egenskaper än ATM, då det är en utpräglad LAN-teknik, medan ATM kan utnyttjas både i LAN och WAN.

En migrering till snabbare och bättre teknologi förväntas. Garanterad bandbredd via resursreservering är en av de viktiga egenskaperna för ATM. Standarden för ATM uppfattas som den mest genomarbetade för bredbandsområdet, men något svår för vissa grupper att uppfatta. Vissa saker saknas ännu i standarden men är under framtagning.

# 1. Inledning

Följande rapport försöker beskriva hur intresse, status och trender ser ut just nu avseende bredbandstekniken och dess användning. Det gäller speciellt på den internationella arenan och särskilt avseende ATM.

Rapporten tar sin utgångspunkt i en just avslutad konferens i San José, kallad ATM Year 97. Det är i själva verket världens största ATM-konferens och den tar både upp användning och applikationer för bredbandsteknik, speciellt ATM, och olika tekniska aspekter avseende denna standard och befintliga alternativ.

Rapporten försöker beskriva signaler och trender från denna konferens för att i någon mån diskutera vad som kommer att hända med bredbandsteknikens användning och ATM den närmaste tiden.

Det finns flera protokoll för bredbandskommunikation. ATM är en standard som har kommit att accepteras från en mängd håll. Avsnitt III i denna rapport tar upp tekniska aspekter av ATM på ett djupare plan. Därför är denna standard utgångspunkten för diskussionen här.

Rapporten har 3 delar:

## **I Summering av konferensen ATM Year 97**

En beskrivning av de huvudsakliga intrycken av konferensen ATM Year 97 (kap 2).

## **II Diskussion om bredbandskommunikation till arbetsplatsen**

En diskussion avseende hur man kan tänka sig att användningen av bredbandsteknik kommer att utveckla sig (kap 3).

## **III Tekniska aspekter av ATM**

Innehåller en noggrannare beskrivning av vad ATM är och vad som är väsentliga delar av standarden, olika begrepp, m m (kap 4).

## 2. Summering av konferensen ATM Year 97

ATM Year 97 är en årlig konferens som tar upp utvecklingen inom bredbandstekniken och de viktiga standarder som nu rör sig inom området.

Bakgrunden till konferensen är att ny teknik gör det möjligt att utnyttja allt snabbare digital kommunikation. Denna utveckling kommer att ha stor inverkan på möjligheterna att skapa olika typer av applikationer som kan hantera bl a multimedial information över distans.

Kommunikationsmöjligheter och nätverk kommer att ha lika stor och t o m större betydelse än datorerna själva den närmaste tiden (Networked computing).

Datorernas kapacitet ökar, vilket innebär att de allt bättre klarar att hantera multimedial information. De moderna datorerna klarar också bättre att kommunicera med omgivningen. Bredbandskommunikationsutrustning blir allt vanligare som instickskort till arbetsstationer och persondatorer. Priserna sjunker på denna typ av utrustning.

Olika standarder har nu hunnit så långt att olika tillämplande organisationer börjar våga satsa på applikationer och strategier för infrastrukturer.

Den digitalt baserade, snabbare kommunikationen kommer att innebära en revolution för hela teleindustrin. Äldre analog kommunikationsutrustning kommer att ersättas av digital utrustning över tiden. Denna stora förändring kommer att gälla såväl för teleföretag som tar fram utrustningar som för sådana företag som sätter upp telelösningar i olika länder.

Hela teleindustrin kommer att utsättas för en mycket stor kunskapsmässig migreringsprocess. De digitala lösningarna kommer att kräva helt nya kunskaper. Man måste lära om helt. Det är därför av yttersta vikt att teleindustrin hänger på denna utveckling för att inte tappa konkurrenskraft i framtiden.

Denna utveckling kommer också att innebära ett närmare förhållande mellan företag och lösningar som traditionellt har rubricerats som datateknik och företag och lösningar som har arbetat med analog teleteknik.

Teknologin för snabbare kommunikation blir nu allt mer tillgänglig och hårdvarupriserna kommer att sjunka. Det innebär att det successivt blir möjligt för olika användande organisationer att börja fundera över hur man skall kunna utnyttja de nya kommunikationsteknikerna.

Ett antal av de stora teletekniska företagen håller nu på att förbereda sig för dessa förändringar och för helt nya produkter och användningar.

Det råder en stark diskussion om vad som kommer att bli den dominerande standarden för bredbandskommunikation framöver. Det gäller dels ATM och dels Gigabit Ethernet. ATM anses som en mer genomarbetad standard med fler möjligheter, medan Gigabit Ethernet kan vara en naturligare väg att gå vidare på om man tidigare har kört Ethernet.

I sammanhanget är det naturligtvis fråga om att lära, om man skall förstå hur ATM är uppbyggt om man tidigare endast har lärt känna Ethernet.

Dr Daniel Cooper, CEO, FORE Systems (stor växeltillverkare) rapporterar att investeringarna i ATM nu börjar ge inkomster. ATM har nu en snabbare tillväxt än Gigabit Ethernet.

Daniel Smith, CEO, Cascade Communications Corp. (stor växeltillverkare) rapporterar att ATM just nu används på de stora avstånden. Ett exempel är WAN's som nu byggs upp i Kina.

## **2.1 ATM och marknaden**

Det finns ett antal aspekter som gör att ATM är intressant för marknaden:

### **1) Skalbarhet**

Lösningar med ATM kan successivt ökas i bandbredd efterhand som användarna får ökade krav. Ökade bandbreddskrav såväl som ökningarna i nätets omfattning klaras genom att successivt tillföra kapacitet. Den samlade miljön klarar en successiv utökning utan att obehagliga trösklar uppnås och att minskad kvalitet i förbindelserna noteras.

### **2) Kvalitet**

En av de viktigaste egenskaperna med ATM är att man kan erbjuda kunden en garanterad bandbredd över ett tidsintervall. Detta realiseras genom att utrustningarna i nätet kan reservera resurser för individuella förbindelser. Det innebär att den bandbredd man har beställt kommer att garanteras och de applikationer man använder kommer inte att notera störningar i videoöverföringar etc, som beror på att andra som använder samma förbindelser råkar nyttja stor bandbredd under kortare eller längre tidsrymder. Man har så att säga sin egen bandbredd. Detta krav kan vara av stor betydelse när kritiska kommunikationssessioner genomförs mellan medicinsk personal eller mellan konstruktörer som har ont om tid och där man vill undvika störningar i det professionella, tidskritiska arbetet.

En viktig aspekt avseende tillgänglig bandbredd är frågan om "bandwidth on demand". Detta är en aspekt av ATM som måste förbättras. Man måste kunna öka och minska bandbredd enligt de behov som man har vid olika tillfällen. Dessa möjligheter är inte tillräckligt realiserade idag.

### **3) Styrning**

ATM-nät kan styras och övervakas på ett tillfredsställande sätt, både vad avser WAN's och LAN's. Tekniker och verktyg finns att använda.

### **4) Debitering**

ATM är en tjänst man kan ta betalt för. Man kan identifiera hur stor trafiken är på korta och långa avstånd, och vem som sänder och tar emot trafik. Kunden kan därmed debiteras efter hur stora resurser denne faktiskt utnyttjar. Till exempel kan prissättning baseras på hur många uppkopplingar som görs och hur mycket bandbredd som utnyttjas.

### **5) Kostnader**

Kostnaderna för att operera ett nät håller nu på att bli överblickbara och bedömbara. Kostnaderna för att driva ATM-nät jämfört med andra typer av bredbandsnät är konkurrenskraftiga, men alltså gäller att ATM på grund av sin relativt höga komplexitet kräver högkompetent personal för drift och underhåll.

Eftersom ATM kan realisera att datakommunikation och telefoni integreras i en gemensam infrastruktur har telebolagen potentiellt stora resursbesparingar att vänta.

## **2.2 Applikationer**

Applikationer och användning av ATM har kommit igång på flera områden i USA. Ett område är sjukvården. En bakgrund är att man vill röntga alla kvinnor i USA för att minska risken för utvecklad bröstcancer. Om alla kvinnor i USA skall mammograferas, blir det enorma mängder data som skall kommuniceras om man utför undersökningarna nära patienterna. Bredbandskommunikation och ATM, menar man, är ett bra sätt att lösa detta.

Ett av de största ATM-näten i världen just nu är det tyska DFN, Deutsche Forschungsnetz. Det ägs av Deutsche Telecom. Det omfattar 120 switchar och 450 universitetsanslutningar.

McDonnell Douglas har byggt upp ett stort ATM-nät. Man rapporterar att ATM-nätet är kostnadseffektivt och att man har få nätproblem i det fungerande nätverket.

McDonalds är ett världsomspännande företag som bygger nya nät för att klara sin verksamhet. Man påpekar att det man ser är en "Globalization of the Markets". Tiden stannar inte på marknaderna. Näten får inte gå ner. Man måste arbeta med en hög tillförlitlighet. McDonalds öppnar 10 nya restauranger varje dag den senaste tiden. Allt skall finnas på plats. Man bedömer att man 1997 använder ATM för backbone, 2003 har man ATM till skrivborden.

En intressant fråga som uppkom under ATM Year 97 är att kompetens har en stor inverkan på vad man lättast tar åt sig om Gigabit Ethernet och ATM. Man påpekar att det traditionella IT-folket ofta driver Gigabit Ethernet, men "telefolket" kommer att driva ATM-spåret. Det har att göra med vad man är mest van vid och vad som förut har varit förhärskande standarder.

Dr Herman Hughes, Michigan State University, berättade om en ATM-förbindelse som initierats mellan USA och Japan, över hela Stilla Havet. Via denna skall man idka samarbete inom det medicinska området mellan länderna. Bl a finns tillgängligt video on demand, via servers, avseende behandlings- och operationsmetoder. Sändning av operationer i "real time" skall göras, m m. Bandbredden är 155Mb/s och videostandard är MPEG-2.

En av de ledande läkarna som arbetar med det stora mammografiprojektet i USA redovisade användning av ATM för att förflytta högupplösande bilder in till medicinska servers utplacerade på vissa platser över hela USA. Han menade att "ATM is the real enabling technology for medicine today". Han redovisade läget för ISDN-tekniken i sammanhanget som "too little, too late".

### **3. Bredband till arbetsplatsen – vad kommer att hända?**

#### **3.1 Helt nya förutsättningar**

De nya möjligheterna innebär att man kan transportera mycket stora datamängder från en arbetsplats till en annan. Detta också mellan arbetsplatser som ligger på stora geografiska avstånd ifrån varandra. Denna utveckling skapar helt nya möjligheter och det innebär att man kan utnyttja rörlig bild, ljud och multimedial information på ett nytt sätt när man kommunicerar mellan människor eller mellan grupper.

Denna form av överföring behöver ofta kunna genomföras med hög kvalitet.

Vissa former av bredbandsteknik erbjuder en kontinuerlig och säker tillgång på överföringskapacitet när man verkligen behöver den. Det gäller t ex för den s k ATM-standard. Garanterad bandbredd är en aspekt som kan påverka val av kommunikationsteknologi för ett visst behov.

Att kommunicera stora datamängder till en enskild arbetsstation innebär inte att användaren förväntas läsa text snabbare. Det innebär att man kan arbeta med helt andra media för att representera information i mycket större omfattning än tidigare. Hög kvalitet i rörlig bild kräver speciellt stor överföringskapacitet. Likaså går det åt mycket stora lagringsutrymmen för sådana multimediala objekt.

För att illustrera detta kan vi titta litet närmare på vad det innebär att skicka avbrottsfri video till en arbetsstation. Vi kan studera fallet att vi skickar video med en kvalitet som är något sämre än vad VHS-bandspelaren erbjuder.

För att video inte skall uppfattas som ryckig för det mänskliga ögat bör vi skicka 25 bilder per sekund. En MJPEG-komprimerad bild innebär 30 Kbyte för varje översänd bild. Vi skall skicka 25 sådana per sekund. Det innebär att vi måste skicka 6 Mbit per sekund till arbetsstationen. Bara för att klara videoströmmen. Hög kvalitet på multimedia som skall kommuniceras kräver alltså en hel del av nätverk och datorer.

Förmågan att komprimera i realtid, utan ett särskilt komprimeringssteg, är också en väsentlig aspekt för att kunna kommunicera och lagra multimedia som t ex video. Det är viktigt att kunna komprimera på ett snabbt och effektivt sätt för att vinna ekonomi i lagring och nätverk. Det förstår man lätt om man inser att om vi skulle sända okomprimerad video i exemplet ovan så skulle arbetsstationen få ta emot ca 250 Mbit per sekund. För en enda video.

Vad som driver utvecklingen är att tekniken numera finns framme för kommunikation och kompression. Det finns ett ökande intresse för att förstå tekniker och hur man skall kunna nyttja dessa i olika applikationer. Ett antal aktörer inom olika applikationsområden har börjat intressera sig för hur man skulle kunna använda sig av tekniken, men man är fortfarande i ett initialt, sökande skede.

### **3.2 Nya möjligheter för olika användningsområden?**

ATM kommer i ökande utsträckning dras fram till arbetsplatser. Det gäller t ex i första läget sådana användare i organisationerna som arbetar mycket med multimedia och som behöver kommunicera mycket med andra. Möjligheterna att använda bredbandsteknik kommer troligen att innebära helt nya förutsättningar för många branscher.

Många företag har verksamheter fördelade på många orter i världen. Det finns ett övergripande intresse av att samarbetet mellan enheter på dessa orter kan fungera bättre.

Det kan man åstadkomma bl a genom att man kan se och höra varandra med god kvalitet via videokonferenssystem och genom att man kan ta del av gemensamt arbetsmaterial och gemensamma resultat som man är beroende av. Stora effekter kan uppnås genom kortare ledtider i utvecklingsprocesserna. Problem och justeringar genomförs t ex under virtuella möten med gemensamma modeller och gemensamt arbetsmaterial.

Inom industrin finns en hel mängd nya tillämpningsområden. T ex kan undervisning om hur olika komplexa servicemoment kan genomföras bedrivs på distans. Detta kan ske med hög pedagogisk ambitionsnivå, med hjälpmedel som rörlig bild, ljud etc.

Inom sjukvården kan diagnostik och ingrepp ske med assistans från specialister placerade på långa distanser ifrån det ställe där patienten befinner sig. Nya behandlingsmetoder med direkt assistans i enskilda fall kan åstadkommas genom hög kvalitet i bild och ljud via bredbandsförbindelser.

Mediaindustrin står inför en övergång till helt digitaliserad hantering av program och programutvecklingsprocess. Mediaföretag placerade på olika orter och i olika länder kan samarbeta med varandra runt TV-, radio- och andra mediaproduktioner. Höga kvalitetskrav, som t ex sändningskvalitet hos video, kan hanteras.

Helt nya förutsättningar för den regionala utvecklingen skapas med denna teknik genom att arbetspunkter kan sättas upp i normalt otillgängliga arbetsmarknader och ett nära samarbete kan bedrivs med människor placerade på andra orter. Kompetens kan fördelas och nyttjas där den finns. Regioner kan satsa på nischkunskap, o s v.

### **3.3 Hinder för utvecklingen**

Vi kan anta att en ökad användning av multimedial information kommer att medföra ett stort intresse av att också kommunicera sådan information till olika ställen. Kommer sådan information att kunna kommuniceras och tas del av direkt via den egna arbetsplatsen eller via någon grupparbetsplats?

Vilket intresse kommer att uppstå? Bedömningen är att intresset kommer att öka.

Det finns dock ett antal faktorer som kommer att spela in för hur snabbt detta intresse för att använda bredbandskommunikation till arbetsplatserna kommer att infrias. Tre sådana faktorer är:

- kostnad,
- tillgång på applikationer, och
- kunskap att använda.



### **3.3.1 Kostnad**

Idag är kostnaderna för att använda bredbandskommunikation, speciellt över stora avstånd, förhållandevis höga. Detta är en hämmande faktor. Ett antagande är dock att dessa priser kommer att sjunka i takt med att efterfrågan och konkurrens ökar.

ATM-nätverkskort finns allmänt tillgängliga för arbetsstationer och PC, men kostnaden måste ner till mindre än 1000\$ per maskin, påpekar Harry Norris, Natural MicroSystems och Jack Reinhart, Product Manager, FORE Systems, Inc. Vidare måste det finnas mjukvarupaket och hårdvara som är lätta att installera på de enskilda arbetsstationerna för att antalet användare som använder ATM direkt till arbetsplatsen skall öka.

### **3.3.2 Tillgång på applikationer**

För att man skall kunna använda en ny teknik, i detta fall bredbandstekniken, fordras att det finns tillgång till applikationer för att nyttja tekniken. En viktig aspekt i detta sammanhang är, att applikationerna verkligen utnyttjar egenskaperna i bredbandstekniken och gör dessa tillgängliga för användaren. Exempelvis kan det finnas applikationer som nyttjar en långsammare kommunikationsteknologi, men som ändå kan använda bredbandstekniken. Men det är inte säkert att detta alltid är en bra lösning.

Att utnyttja egenskaperna i bredbandstekniken innebär att större krav ställs på datorer och kommunikationsutrustning.

### **3.3.3 Kunskap att använda**

En ytterligare faktor när det gäller att kunna använda en ny teknik är att man skall kunna inse hur de nya hjälpmedlen kan användas i olika situationer. Det gäller att kunna koppla ihop olika typer av behov med tänkbara eller befintliga applikationer. Detta är en kunskap som, när det gäller bredbandstekniken, ännu inte har etablerats i någon större utsträckning.

Att bilda insikt och att fånga upp kunskap om hur man kan använda nya möjligheter för olika behovssituationer är en process som tar sin tid. Det kräver ofta problem- och möjlighetsanalyser, insikter om egenskaper hos nya hjälpmedel, o s v.

Innan vi går vidare för att diskutera hur användning av bredbandskommunikation till arbetsplatsen kommer att gestalta sig, skall vi titta litet på flera områden för bredbandsteknikens användning.

## **3.4 Digitaliserade multimediala objekt**

Att hantera video, ljud och bild via bredbandsteknik implicerar alltid att man hanterar digitaliserade objekt.

För att hantera rörlig bild, ljud och andra multimediala objekt måste arbetsstationer och persondatorer ha en viss kapacitet för hanteringen av sådana objekt.

Att digitalisera i realtid kräver stor behandlingskapacitet om man kontinuerligt skall digitalisera en analog videoström. För detta får man ofta ta till särskild hårdvara, speciellt om kravet på en högre resolution finns med.

I samband med att man digitaliserar, brukar man också komprimera resulterande data. Detta är ofta väsentligt för att videobjekten inte skall bli orimligt stora om man lagrar dem eller om man skall skicka dem över en förbindelse.

Ju mer man komprimerar, desto större kvalitetsförsämring får man i bilden. Det blir således en avvägning mellan kvalitetskrav och vad man kan satsa i kommunikationskapacitet och lagringsutrymme, som avgör vilken komprimeringsgrad man kommer att använda i det enskilda fallet.

### **3.5 Bredbandskommunikation som backbone**

Bredbandsteknik kommer att användas för att lokala nät skall kunna kopplas samman med varandra med hög kapacitet. Organisationer med verksamhet på flera orter kan koppla ihop sina geografiskt åtskilda LAN till ett enhetligt virtuellt LAN. Med hjälp av ATM kan detta göras på ett bra sätt. Tekniker för detta kommer att belysas i kapitel 4. Marknaden för denna typen av tjänster kommer att växa.

En viktig egenskap hos ATM för nätverksoperatörer (t ex Internetproviders) är att bandbredd kan levereras i den omfattning den efterfrågas, till skillnad från situationen med traditionella "leased lines" där vissa standardkapaciteter erbjuds (64 Kbits/s, 2 Mbits/s, 34 Mbits/s, o s v).

Nätverksoperatörerna kan spara pengar på att samma backbonenät kan utnyttjas till såväl telefoni som datatrafik.

### **3.6 ATM till skrivbordet eller alternativa lösningar?**

En intressant fråga vad gäller tillämpningen av ATM-tekniken ute i verksamheter är huruvida ATM kommer att nyttjas ända ut till varje arbetsstation, eller om det kommer att nyttjas fram till en anslutningspunkt någonstans i företagets lokaler för vidare distribution med någon alternativ LAN-teknik. Den förhärskande uppfattningen är att ATM huvudsakligen kommer att utnyttjas som bärare i backbonenätverken, samt i företagets interna backbonenät om det rör sig om stora organisationer, men att sista biten ut till arbetsplatserna kommer någon traditionell LAN-teknik (Ethernet, Fast Ethernet) tillämpas. Anledningen till detta är att det finns så stor mängd *legacy-LAN* installerade att en migrering till ATM för de lokala nätverken skulle vara mycket dyrare än en gradvis migrering från exempelvis ett delat Ethernet till ett växlat Fast Ethernet.

Ett problem med denna situation är att traditionella LAN-tekniker inte medger resursreservering och därmed inte kan ge kvalitetsgarantier. Det går emellertid att komma förbi detta problem. Ansatsen är att det lokala nätverket överdimensioneras för att tillgodose bandbreddskraven från användarna i "värstafallsituationen" så att resursreservering inte är nödvändig. Företagets backbonenät å andra sidan kan dimensioneras utifrån en analys av företagets genomsnittsbehov och resursreservering tillämpas för att garantera kvalitet till realtidsapplikationer. För att en applikation som körs på en maskin ansluten i ett legacy-

LAN skall kunna garanteras kvalitet från ett ATM-backbonenät vid extern kommunikation måste kvalitetsparametrar kunna signaleras mellan applikationen och ATM-anslutningsenheten. Detta kan realiseras med RSVP-protokollet (resource reservation protocol). Notera att denna typ av kvalitetsförsäkring bygger på att det lokala nätet aldrig blir överbelastat.

### **3.7 Tillgång på fiber**

Bredbandskommunikation sker ofta via optiska fibrer med enorm kapacitet. Utvecklingen inom fiberoptiken är ett av skälen till att nätverksteknologin utvecklats så snabbt.

Olika aktörer, som operatörer, energibolag och tågtransportföretag, blir allt frikostigare med att lägga ner fiber när man ändå gräver för olika ändamål. Detta har medfört att det i vissa länder ofta finns gott om fiberkapacitet, kapacitet som ännu inte används men som utgör en potential.

För att man skall komma igång med bredbandskommunikation krävs att olika utrustningar kopplas på fiberna. För att detta skall ske måste det finnas intresserade kunder. Teleföretagen undviker att investera om det inte finns kunder. För att man sedan skall kunna använda utrustningen krävs fungerande applikationer för olika ändamål. Detta är en process som måste initieras.

### **3.8 Digitaliserade videoströmmar över bredband**

Analog video har länge överförts över stora avstånd av TV-bolagen. Digital video kan överföras med bredbandsnäten och det innebär att man kan samutnyttja förbindelser till flera saker tillsammans med konventionell dataöverföring eller tillsammans med annan multimedial information.

Bredbandstekniken har därför inneburit att särskild utrustning blivit tillgänglig som möjliggör att video kan överföras över bredband genom att t ex video packas direkt ner i ATM-celler och skickas till en annan ort i ett bredbandsnät. Sådana paketerade lösningar finns idag att tillgå och erbjuder bra kvalitet i videoöverföringar med TV-kvalitet.

För att klara det behöver man dock inte involvera konventionella datorer och arbetsstationer, utan specialbyggd hårdvara ansluts direkt till ett bredbandsnät. Av bredare intresse är att kunna samla upp videobjekt, lagra dem samt göra dem tillgängliga i ett nätverk via multimediala databaser och servers som kan tillhandahålla multimedial information tillsammans med andra data.

### **3.9 Applikationer måste fram**

Man påpekar från många håll att applikationer måste fram som verkligen utnyttjar egenskaperna hos bredbandstekniken.

Exempelvis kan man inte använda applikationer som är byggda för ISDN och alltid tro att dessa skall ge mycket bättre kvalitet när de flyttas över till ATM. Detta beror på att dessa applikationer är utvecklade för att ge optimal prestanda vid låga bandbredder och kvaliteten skalas inte nödvändigtvis upp i takt med bandbreddstillgången. ISDN-baserade

videokonferenssystem komprimerar till exempel bild och ljud mycket kraftigt för att informationen skall kunna skickas i realtid över förbindelsen. De kompressionsalgoritmer som utnyttjas (typiskt H.261) är inte lämpade att leverera högkvalitativ video vid höga bandbredder, utan andra videoformat måste tillämpas (t ex MJPEG).

## 4. Tekniska aspekter av ATM

### 4.1 Inledning

ATM, Asynchronous Transfer Mode, är en kommunikationsstandard som utvecklades av ITU-T (före detta CCITT) samt en tillverkarsammanslutning med namnet ATM Forum. Standarden definierar vad som brukar kallas nästa generations nätverk för integrerade tjänster (ISDN), eller Broadband ISDN. Syftet är att ta fram en teknik som kan integrera telefoni och datakommunikation i en gemensam digital infrastruktur. Idag måste telebolagen till stor del upprätthålla två separata system. Mycket av dagens datakommunikation går över telefonlinjer via modem. Telefonnätet är optimerat för att transportera tal, inte datatrafik, vilket gör att dagens explosion av internetabonnemang till hemmen utgör en stor påfrestning.

Förutom att integrera tele- och datakommunikation är ATM tänkt att kunna erbjuda mer sofistikerade tjänster än vad dagens nätverk kan. Till exempel skall nätverket kunna ge kvalitetsgarantier, vilket kan illustreras med följande exempel. Antag att en videokonferenssession skall hållas mellan två (eller flera) parter vid en viss tidpunkt. Detta kan idag realiseras över Internet, men det finns inga sätt att garantera att det vid det givna tillfället finns tillräckliga resurser tillgängliga. Bandbreddskraven kan till exempel eventuellt inte tillgodoses på grund av att nätverket är nedlastat av annan (eventuellt mindre viktig) kommunikation. Med ATM kan nätverket reservera resurser när konferensen inleds och sedan garantera att dessa resurser, till exempel bandbredd och maximal fördröjning, finns tillgängliga så länge konferenssessionen varar. Olika trafik-klasser kan definieras så att kommunikation av olika karaktär kan hanteras på lämpligt sätt. Till exempel är kraven för en videokonferenssession mycket olika de för en filöverföring, eller en e-posttransmission.

ATM är en förbindelseorienterad teknik, vilket innebär att en förbindelse mellan sändare och mottagare etableras innan data sänds, för att senare kopplas ner då kommunikationen är avslutad. Detta kan jämföras med hur det vanliga telefonnätet fungerar: När man lyfter luren och slagit numret kopplas en förbindelse upp varvid resurser allokeras i nätet och när man lägger på kopplas den ner igen och resurserna frigörs. Vid datakommunikation har hittills den förbindelselösa paradigmen varit dominerande. När en dator skall kommunicera med en annan skickas ett paket adresserat till mottagaren iväg på nätet och detta förmedlas vidare av mellanliggande noder för att slutligen nå destinationen. Transporten är "best effort", d v s nätet gör så gott det kan för att förmedla paketet, men vid hård belastning kan paket gå förlorade. Detta kan kontrolleras med högre ordningens protokoll som sänder om förlorade paket så att en tillförlitlig överföring kan åstadkommas. Fördelen med förbindelseorientering är framförallt vid situationer då transmissionen har realtidskrav, t ex vid interaktiv kommunikation, eftersom resurser kan reserveras då förbindelsen etableras. Förbindelselösa tekniker lämpar sig väl för kommunikation som är mindre tidsberoende som filöverföringar och dylikt. En effekt av att tillämpa förbindelseorientering, som nätoperatörerna ser som en stor fördel, är möjligheten att debitera kunden (nätabonnenten) efter hur mycket resurser denne faktiskt utnyttjar.

## 4.2 Cellnätverk

ATM tillhör en typ av nätverk som kallas cellnätverk. Namnet kommer av att data skickas i korta paket av fix längd som kallas för celler. Fördelen med att ha en fix paketlängd är att statistiska modeller för trafiken förenklas, vilket gör konstruktion av växlar enklare och mer effektiv. Givet att cellens längd är fix är det önskvärt att den inte är för lång eftersom segmentering av data i celler innebär att i genomsnitt halva sista cellen blir tom. En liten cellstorlek minskar detta spill. Dessutom är det fördelaktigt med en kort cell för att implementera telefoni över ATM, emedan det minskar fördröjningar. Å andra sidan kommer kontrollinformationen som varje cell förses med att uppta en stor del av varje cell vilket medför dålig utnyttjandegrad.

### 4.2.1 ATM-cellen

Enligt ATM-specifikationen skall en cell vara 53 bytes lång varav de 5 första utgör ett huvud med kontroll- och adresseringsinformation. Datainnehållet i en cell är följaktligen 48 bytes. Detta ger en overhead på ca 9.4% vilket är tämligen mycket. Valet av cellens längd är i mångt och mycket en kompromiss mellan data- och telekombranschen och det betraktas ganska allmänt som att en något längre cell vore att föredra.

Cellhuvudet har två något olika format beroende på var i nätverket cellen befinner sig. Man skiljer i ATM-standarden mellan användarutrustningar och intermediära växlar. Gränssytan som kopplar en användarutrustning till ett nätverk kallas UNI (User Network Interface). Motsvarande gränssyta mellan två växlar i nätverket kallas NNI (Network Network Interface). ATM-cellens huvud innehåller följande fält:

1	2	3	4	5	6	7	8
GFC/VPI				VPI			
VPI				VCI			
VCI							
VCI				PTI		CLP	
CRC							

Det enda som skiljer cellhuvudena åt vid UNI och NNI är GFC-fältet som endast är definierat vid UNI. Vid NNI tillhör dessa bitar VPI-fältet. De olika fältens betydelse beskrivs nedan.

#### Generic Flow Control (GFC)

Detta fält definieras endast för UNI. Vid NNI tillhör dess bitar VPI-fältet. Tanken med

GFC-fältet är att det skall användas som ett sorts prioritetsparameter då vissa typer av trafik skall multiplexeras till ett ATM-nätverk. Fältet används sällan och dess berättigande är ifrågasatt.

### Virtual Path Identifier (VPI) och Virtual Circuit Identifier (VCI)

VPI- och VCI-fälten innehåller ATM-cellens adresseringsinformation, d v s identifierar hur cellen skall vidarebefordras av en växel. Den adress som fås genom kombination av dessa fält har endast lokal signifikans och olika VPI/VCI-värden kan utnyttjas vid varje hopp på cellens väg till sin destination. När en förbindelse mellan två ändnoder etableras associerar varje växel på vägen en VPI/VCI-adress med ett koppel mellan två portar (eller flera vid multicasttrafik). Detta kan göras antingen manuellt via permanenta virtuella kretsar (Permanent Virtual Circuits, PVC) eller dynamiskt via ett signaleringsprotokoll (Switched Virtual Circuits, SVC). Växlarna håller reda på dessa koppel tills förbindelsen kopplas ner.

Adressens tudelade struktur gör det möjligt att låta vissa växlar enbart betrakta VPI-fältet. Logiskt sett kan ett antal förbindelser grupperas till en *virtual path* genom att de ges samma VPI-värde. En *virtual channel connection* (VCC) definieras av en sekvens VPI/VCI-värden som definierar en förbindelse mellan en sändare och en destination. En mängd VCCer som alla har samma VPI utgör en *virtual path connection* (VPC).

### Payload Type Indicator (PTI)

Det tre bitar långa PTI-fältet används för att skilja celler med användardata från celler innehållande administreringsinformation (s k OAM-celler, Operation And Maintenance). Den första biten skall vara en etta om cellen innehåller användardata och noll för OAM-celler. Andra biten används för att ange huruvida cellen träffat på överbelastning tidigare i nätet. Tredje och sista biten används för olika ändamål i olika OAM-funktioner.

### Cell Loss Priority (CLP)

En cell med CLP-biten satt till ett skall i händelse av att en växel måste kasta celler kastas före celler med CLP-biten satt till noll. Normalt garanterar nätverket den bandbredd som en förbindelse begärt vid uppkopplingen. Hela den bandbredd som garanterats utnyttjas förmodligen inte hela tiden. Ett sätt att kunna dra nytta av denna outnyttjade bandbredd är att tillåta annan trafik utan garantier och markera dessa celler som lågprioriterad med CLP-biten.

### Cyclic Redundancy Code (CRC)

Checksumman för en cell gäller endast cellhuvudet och beräknas med polynomet  $x^8 + x^3 + x + 1$ , vilket kan rätta enbitsfel och upptäcka många flerbitsfel. Observera att checksumman måste räknas om för varje hopp eftersom cellhuvudet ändras (t ex VPI/VCI-fälten).

## 4.2.2 Summering

Följande tabell summerar funktionen av ett ATM-cellhuvuds fält.

Förkortning	Namn	Beskrivning
GFC	Generic Flow Control	Endast vid UNI. Tänkt att användas för att ange olika prioritetsnivåer då vissa specialutrustningar kopplas till ett nätverk.
VPI	Virtual Path Identifier	Adressering mellan noder.
VCI	Virtual Channel Identifier	Adressering mellan noder.

PTI	Payload Type Indicator	Skiljer mellan användartrafik och administrerings- och övervakningsinformation.
CLP	Cell Loss Priority	Anger om cellen ska tillhöra de som kastas först vid överbelastning
CRC	Cyclic Redundancy Code	Checksumma

### 4.2.3 ATM Operation And Maintenance

Särskilda celler som markeras som OAM-celler i cellhuvudets PTI-fält används för kontinuerlig administration och koordinering av nätverksresurser. Felhantering, konfiguration, säkerhet och debitering är funktioner som OAM skall kunna hantera. För närvarande finns endast funktioner för feldetektering och prestandaövervakning specificerade.

Vitsen med att ha en speciell PTI-typ för OAM-celler är att dessa då kan utnyttja samma VPI/VCI-värden som den förbindelse som skall övervakas. På så sätt garanteras att övervakningscellerna tar exakt samma väg som den övervakade trafiken genom nätverket.

## 4.3 Adaptionlager

Det finns olika protokoll för hur data skall paketeras i celler. Dessa kallas för adaptionlager, eller AAL (ATM Adaptation Layers). Olika adaptionlager kan optimeras för olika typer av trafik. Från början definierades fyra olika adaptionlager kallade AAL 1 till 4. Det visade sig emellertid att AAL3 och AAL4 var så lika att de slogs ihop till AAL3/4 och senare ersattes med AAL5. Vidare visade sig AAL2 vara ganska ointressant. Vi skall därför här endast beröra AAL1 och AAL5.

Ett adaptionlager består av två delar, nämligen *segmentation and reassembly sublayer* (SAR) och *convergence sublayer*. Det förra fragmenterar data till celler hos sändaren och det senare som hanterar flödet av data till och från SAR. (Det kan förvisso diskuteras hur relevant denna uppdelning är, emedan de två sublagren är mycket tätt kopplade.)

### 4.3.1 AAL1

Detta adaptionlager är tänkt att användas för trafik som kräver konstant överföringshastighet. Ett exempel på en sådan tillämpning är telefoni. AAL1 SAR använder den första av ATM-cellens 48-bytes som ett huvud, vilket alltså reducerar datadelen av en cell till 47 bytes. Huvudet innehåller fyra fält: Convergence Sublayer Indicator (CSI, 1 bit), Sequence Count (SC, 3 bitar), Cyclic Redundancy Code (CRC, 3 bitar) samt en paritetsbit. CSI-biten används för signaleringsändamål av konvergenslagret. Sekvensnumret, SC, är en räknare modul åtta som räknas upp med ett för varje cell som sänds för att göra det möjligt att upptäcka cellförluster. CRC polynomet som används är  $x^3 + x + 1$  vilket beräknas över sekvensnumret och kan upptäcka ett bitfel. Paritetsbiten beräknas över de första sju bitarna och placeras i den åttonde.

### 4.3.2 AAL5

Det populäraste adaptionslagret för datakommunikation är AAL5. Detta är speciellt framtaget för att passa existerande paketbaserade protokoll som IP. AAL5 SAR utnyttjar



tredje biten i PTI-fältet i cellens huvud för att markera om cellen är den sista i ett paket. Konvergenslagret utnyttjar åtta bytes i slutet av den sista cellen av varje paket för kontrollinformation. Denna består av fyra fält: Först två fält om en byte vardera som numera inte används utan sätts till noll. Därefter ett fält om 16 bitar som innehåller paketets längd i bytes och en 32 bitar lång CRC beräknad över hela paketet. Datadelen i den sista cellen i paketet fylls ut med nollor om inte paketet råkade vara exakt  $40 + 48n$  bytes långt.

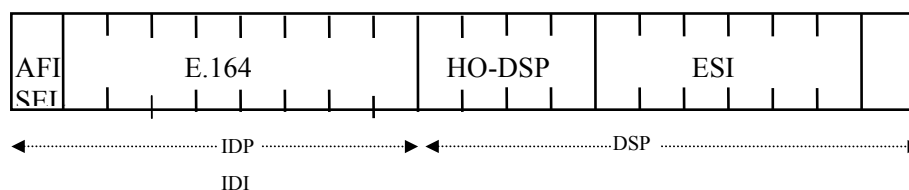
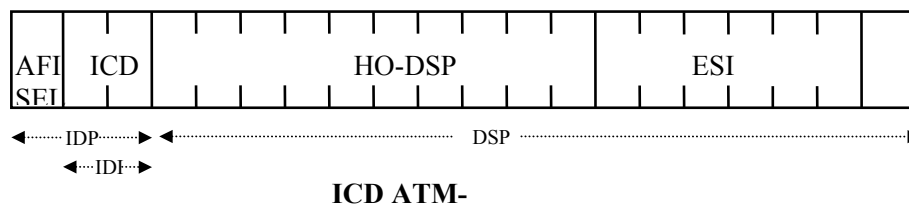
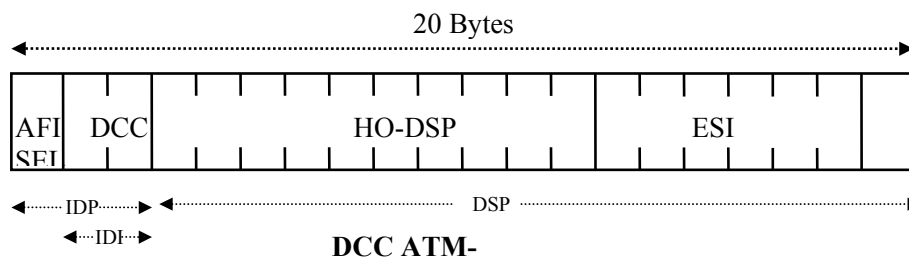
Eftersom ett paket oftast är betydligt mycket längre än en cell (typiskt 10 till 100 gånger längre) ger AAL5 en effektiv fragmentering av paket till celler. Följande figur visar sista cellen i ett paket som fragmenterats enligt AAL5:

Huvud (5 bytes)	Data + utfyllnad (40 bytes)	UU	CPI	Längd (2 bytes)	CRC (4 bytes)
-----------------	-----------------------------	----	-----	-----------------	---------------

## 4.4 Adressering och signalering

### 4.4.1 ATM-adresser

Varje ATM-utrustning är försedd med en unik 160-bitars adress. Denna adress används endast vid uppkoppling av förbindelser; när en förbindelse väl är uppkopplad används VPI/VCI-värden för att avgöra hur cellerna skall växlas genom nätverket. Tre adressformat specificeras av ATM Forum för privata nätverk. Dessa kallas ibland NSAP-adresser, eftersom syntaxen bygger på OSI:s modell för en *Network Service Access Point*. Adresserna har följande struktur:





## E.164 ATM-adress

Adressens nätverksprefix, eller *Initial Domain Part* (IDP) bestämmer adressens typ samt identifierar den organisation som ansvarar för adressens allokering. Nätverksprefixet består av två delar; *Authority and Format Identifier* (AFI) och *Initial Domain Identifier* (IDI). AFI bestämmer om resten av adressen skall tolkas som en DCC-, ICD- eller E.164-adress. IDI identifierar en organisation som administrerar hur adresser allokeras.

En DCC-adress delar upp adressrummet på basis av i vilket land adressen registreras. DCC står för *Data Country Code* och fältets format definieras av ISO 3166. Adresserna administreras av varje lands standardiseringsorgan som är medlem av ISO.

ICD-adresser (*International Code Designator*) administreras av British Standards Institute. En ICD-kod identifierar en internationell organisation.

E.164-adresser är ISDN-nummer, vilka innefattar telefonnummer.

Den domänspecifika delen av adressen (*Domain Specific Part*, DSP) består av High Order DSP (HO-DSP), *End System Identifier* (ESI, systemidentifierare) och *Selector* (SEL, selekterare). Hur HO-DSP kodas bestäms av den organisation som administrerar adressdomänen. Systemidentifieraren (ESI) är en 48-bitars MAC-adress vilka administreras av IEEE. Selektearen är tänkt att användas för lokal multiplexering av adresser inom ett system.

### 4.4.2 ILMI

För att underlätta administration och konfiguration av ATM-utrustningar definierar ILMI-protokollet (*Integrated Local Management Interface*) ett sätt för ATM-ändrustningar att informera sin lokala växel om sin MAC-adress, och i retur få det nätverksprefix som gäller för det aktuella lokala nätet. Nätverksprefixet konkateneras med MAC-adressen (systemidentifieraren) för att skapa utrustningens ATM-adress. ILMI definieras som SNMP över AAL5 och kan därför även användas för utbyte av annan information än adresser över ett UNI.

### 4.4.3 Quality of Service (QoS)

En av de mest tilltalande egenskaperna för ett ATM-nätverk är förmågan att erbjuda kvalitetsgarantier. Detta fungerar på så sätt att en applikation vid initiering av en förbindelse meddelar nätverket vilken kvalitet den minst kräver. Kvalitetskraven, eller QoS, specificeras via ett antal väldefinierade parametrar, bland andra följande:

- Peak-to-peak Cell Delay Variation (CDV)
- Maximum Cell Transfer Delay (CTD)
- Cell Loss Ratio (CLR)
- Cell Error Ratio (CER)
- Peak Cell Rate (PCR)

Kvalitetsparametrarna specificeras i ett kvalitetskontrakt som används vid upprättande av förbindelsen. Ifall tillräckliga resurser inte finns tillgängliga för att tillgodose trafikkontraktet avvisas förbindelsen. När en förbindelse blivit etablerad utnyttjar nätverket trafikövervakningsalgoritmer för att se till att trafikkontraktet följs. Om en användarutrustning till exempel sänder celler fortare än vad som anges i kontraktet kommer nätverket att kasta celler. Dessa funktioner kallas ibland *policing*.

#### 4.4.4 Förbindelseuppkoppling

Som tidigare nämnts kan en förbindelse mellan två utrustningar sammankopplade av ett ATM nätverk etableras på två sätt. Antingen manuellt som en permanent virtuell krets (Permanent Virtual Circuit, PVC) eller dynamiskt genom signalering (Switched Virtual Circuit). I det förstnämnda fallet måste en operatör manuellt konfigurera VPI/VCI-koppel i varje intermediär växel. De resurser som förbindelsen kräver måste också reserveras manuellt. Förbindelsen förblir uppkopplad och resurserna allokerade tills operatören manuellt kopplar ner den. Denna procedur är tidsödande, i synnerhet om det är många växlar inblandade, och kan därför endast tillämpas på förbindelser av permanent karaktär. I fallet med dynamisk upp- och nerkoppling reserveras resurser automatiskt i nätet genom signalering när kommunikationen initieras. När kommunikationen avslutas kopplas förbindelsen ner och resurser frigörs.

Ett signaleringsprotokoll för ett nätverk innefattar procedurer för att upprätta, underhålla och terminera en förbindelse. Detta åstadkommes genom att meddelanden skickas mellan de inblandade noderna. I ATM-nätverk utnyttjas UNI- och PNNI-signalering, vilka bygger på ITU-Ts rekommendation Q.2931.

#### 4.4.5 UNI-signalering

När en ändrustning vill etablera en förbindelse skickar den ett SETUP-meddelande till den växel den är ansluten till, genom UNI-signalering. SETUP-meddelandet innehåller destinationsmaskinens ATM-adress samt ett trafikkontrakt som specificerar kvalitetskraven på förbindelsen. Växeln svarar med meddelandet CALL PROCEEDING. Därefter skall växeln med hjälp av en routing-algoritm beräkna en väg till destinationsmaskinens lokala växel och längs denna väg vidarebefordra SETUP-meddelandet via PNNI-signalering. Destinationsväxeln kommer därefter via UNI-signalering kommunicera SETUP-meddelandet till destinationsmaskinen, vilken kan välja mellan att acceptera eller refusera förbindelsen. I det förra fallet skickas ett CONNECT-meddelande tillbaka till maskinen som initierat förbindelsen. Denna bekräftar med meddelandet CONNECT ACKNOWLEDGE, varefter data kan börja utväxlas på förbindelsen. Ifall destinationsnoden inte accepterar förbindelsen skickas ett RELEASE-meddelande tillbaka. Detta meddelande används även för att terminera en uppkopplad förbindelse, vilket kopplar ner förbindelsen och frigör alla resurser.

UNI signalering definieras som ett nätverksprotokoll som implementeras över ett speciellt adaptionslager som kallas SAAL (Signaling AAL). SAAL är baserat på AAL5 utökat med funktioner för retransmission av korrupta eller förlorade PDUer. Signaleringsmeddelandena är paket av variabel längd som fragmenteras till celler enligt SAAL., och skickas på en reserverad VCC med VPI=0 och VCI=5.

Det finns ett antal olika meddelandetyper. Varje är associerat med ett informationselement som kan innehålla parametrar. Följande tabell sammanfattar de vanligaste meddelanden som utväxlas vid initiering, upprätthållande och terminering av en förbindelse.

Meddelandetyper	Beskrivning
SETUP	Begär en förbindelse med en angiven destination och QoS enligt ett trafikkontrakt.
CALL PROCESSING	Bekräftar att upprättandet av förbindelsen inletts.
CONNECT	Nätverket meddelar användarsidan att förbindelsen har blivit accepterad.
CONNECT ACKNOWLEDGE	Användaren bekräftar att CONNECT mottagits. Förbindelsen är nu etablerad.
RELEASE	Initierar nedkoppling av aktuell VC.
RELEASE COMPLETE	Nätverket indikerar att aktuell VC nu är nedkopplad och tillgänglig för återanvändning.
STATUS INQUIRY	Begär statusinformation.
STATUS	Svar på STATUS INQUIRY.

Flera andra typer av meddelanden existerar för att hantera upp och nedkoppling av förbindelser. Även koppling av punkt-till-multipunkt-förbindelser definieras.

#### 4.4.6 PNNI-signalering och routing

Om en ATM-nod vill kommunicera med en nod som är mer än ett hopp bort (d v s det finns mer än en växel mellan de båda noderna) måste en väg väljas genom en sekvens av mellanliggande växlar. Denna väg skall väljas så att de givna kvalitetskraven kan tillgodoses. Det är den växel som ansluter den maskin som initierar förbindelsen som skall bestämma vilken väg cellerna skall ta till sin destination. Detta förfarande kallas *source routing*. För att kunna genomföra denna uppgift måste växeln förses med information om nätverkets topologi. Enligt en routing-algoritm beräknar den bästa vägen till destinationen och skickar sedan SETUP-meddelandet denna vägen.

PNNI-protokollet (Private NNI) består av två delar: Dels ett signaleringsprotokoll för att vidarebefordra upp- och nedkopplingsmeddelanden, och dels ett routing-protokoll för att beräkna vilken väg genom nätet förbindelsen skall ta.

#### 4.4.7 PNNI-routing

PNNI-routing-protokollet skall inte bara hitta en väg till destinationen utan skall även välja denna väg på ett sådant sätt att kvalitetskraven i trafikkontraktet tillgodoses, vilket kallas QoS-routing. För att kunna erbjuda kvalitetsgarantier måste varje växel i nätet implementera en funktion som kallas *connection admission control (CAC)*. Denna går ut på att en växel när den ombeds koppla upp en förbindelse baserat på kvalitetskraven och tillgängliga resurser avgör om den kan tillgodose dessa krav. Eftersom PNNI-protokollet bygger på *source routing* måste den växel som utför vägvalet simulera varje växels CAC,

vilket görs med en algoritm kallad Generic CAC (GCAC). Detta kan bara bli en approximation till den verkliga CAC-beräkningen som görs lokalt i varje växel. För att kunna utföra GCAC-beräkningen måste växeln också regelbundet förses med information om alla andra växlars tillgängliga resurser.

Varje växel måste upprätthålla en databas med information om nätverkets tillstånd avseende topologi och resurstillgänglighet. Denna information kommuniceras mellan växlarna via sk *PNNI Topology State Packets (PTSP)*.

Eftersom växeln som bestämmer vägvalet endast kan approximera andra växlars CAC kan det inträffa att en växel längs den valda vägen inte accepterar förbindelsen. För att hantera denna situation finns i PNNI-protokollet stöd för vad som kallas *crankback*. Crankback innebär att en förbindelse som av någon anledning inte kan fullföljas längs den initialt föreslagna vägen ”rullas tillbaka” till en växel som kan välja en alternativ väg.

PNNI-routing-protokollet är utvecklat för att vara skalbart, så att det kan tillämpas såväl i små lokala nät med ett fåtal växlar som i gigantiska globala nätverk med miljoner växlar. För detta ändamål tillämpas en hierarkisk modell. Varje nivå i hierarkien består av en mängd *logiska noder* sammankopplade med *logiska länkar*. På lägsta nivån motsvaras en logisk nod av en fysisk växel, eller ett nätverk av växlar som implementerar ett annat routingprotokoll än PNNI, men använder PNNI för kommunikation utåt. Logiska noder grupperas till *peer groups* (grupper av jämbördiga, i fortsättningen refererade till som *grupper*). En grupp är en samling logiska noder som har identiska databaser över nätverkets topologi, och som utväxlar fullständiga beskrivningar av sina tillstånd via PTSP. En grupp kan inte göras hur stor som helst eftersom PTSP-trafiken då skulle bli ohanterlig. Grupper organiseras därför hierarkiskt och associeras med föräldergrupper på en högre nivå. En grupp representeras i en föräldergrupp som en *logisk gruppnod* genom sin *gruppledare* (peer group leader, PGL), vilken väljs bland gruppens logiska noder. Gruppledaren utväxlar PTSP-paket inom föräldergruppen på samma sätt som inom sin grupp på den lägre nivån.

Grupper identifieras på lägsta nivån genom de 96 första bitarna av växlarnas ATM-adresser. Detta innebär att en grupp på lägsta nivån kan innehålla upp till 256 växlar, eftersom nätverksprefixet totalt är 104 bitar långt. På högre nivå identifieras en grupp genom ett prefix på identifieraren för en grupp på lägre nivå. En föräldergrupp har alltså ett kortare grupp-ID än sin barngrupp, vilket gör det enkelt att bestämma grupphierarkin. Noder inom en grupp identifieras av en 176-bitars identifierare, som på lägsta nivån huvudsakligen utgörs av växels ATM-adress. På högre nivå utgörs nod-ID av två värden som indikerar hierarkinivån (d v s prefixets längd) för den associerade gruppen och nodens barngrupp, plus barngruppens ID. Även logiska länkar måste identifieras vilket görs med en kombination av nod-ID och lokalt länk-ID för aktuell nod.

Det är gruppledarens uppgift att sammanställa information om sin grupp och sedan propagera denna via PTSP-meddelanden till föräldergruppen. På samma sätt vidarebefordrar gruppledaren topologiinformation från föräldergruppen till gruppen på lägre nivå. Detta förfarande upprepas rekursivt genom hela hierarkin så att till slut alla noder får kunskap om hela nätets topologi. Notera att informationen som matas ner från toppen av hierarkin till de lägre nivåerna är mer och mer aggregerad (komprimerad). Detta betyder att

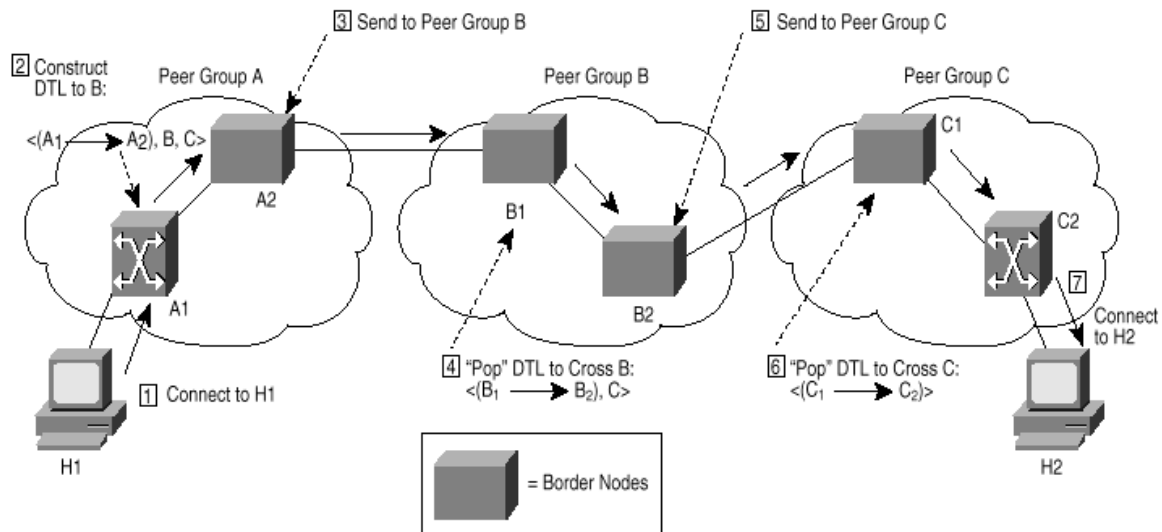
en växel har full information om sin grupps topologi, aggregerad information om sin föräldergrupp och ytterligare aggregerad information om förföräldergruppen, etc.

Noder upptäcker varandra genom att de skickar ut så kallade Hello-paket till sina grannar med jämna mellanrum. Om två noder via Hello-paket upptäcker att de tillhör samma grupp (de har samma grupp-ID) inleder de utväxling av PTSP-information och börjar synkronisera sina topologidatabaser. När detta är klart meddelar de övriga gruppmedlemmar om det uppdaterade tillståndet. Om två noder som upptäcker varandra via Hello-paket inte tillhör samma grupp (de är då sk gränsnoder) beräknar de utifrån sina grupp-IDn den lägsta nivån där de har gemensamma förfäder. Vardera gränsnod konkluderar därefter att länken dem emellan är en *upplänk* till en högre nivå och uppdaterar sin topologidatabas med denna information. Gränsnoder utbyter också information om sina respektive gruppleddare. Detta gör att gruppleddare i olika grupper kan upptäcka att de tillhör samma föräldergrupp. Om så är fallet sätter de upp en förbindelse mellan varandra via den identifierade upplänken och börjar utväxla egna Hello-paket och PTSP. De kan därefter upptäcka ytterligare högre nivåer och algoritmen fortskrider rekursivt tills hela hierarkin är känd för alla noder.

#### 4.4.8 PNNI-signalering

PNNI-signaleringsprotokollet är uppbyggt på i princip samma sätt som UNI-signalering, med meddelanden som innehåller informationselement. När en förbindelse skall kopplas upp beräknar den lokala växeln utifrån informationen i sin topologidatabas en väg till destinationen. Detta kan t ex göras med Dijkstras' algoritm. Resultatet av beräkningen är en komplett *source route* som består av ett antal listor över adresser på noder som skall passeras. Dessa listor kallas *designated transit lists* (DTL). Den DTL som är associerad med den lokala gruppen innehåller en komplett detaljerad beskrivning över växlarna som skall passeras, medan listan för föräldergruppen innehåller en något mindre detaljerad beskrivning, o s v. Transitlistorna läggs i en stackstruktur som informationselement till SETUP-meddelandet. För varje grupp som SETUP-meddelandet kommer till processas aktuell transitlista. Typiskt innehåller en DTL för en grupp bara aggregerade adresser, men gränsnoden för gruppen som först nås av SETUP-meddelandet har full kunskap om sin lokala grupp och expanderar listan och ersätter den ursprungliga DTLen med en ny detaljerad. Därefter vidarebefordras paketet genom gruppen till nästa nivå, ända tills sista växeln på vägen nås. Denna växel signalerar via UNI-gränssnittet med destinationsmaskinen, vilken kan acceptera eller avvisa förbindelsen.

Följande bild illustrerar upprättandet av en förbindelse mellan maskinerna H1 och H2. Notera hur gränsnoderna B1 och C1 expanderar de aggregerade transitlistorna för sina respektive grupper.



#### 4.5 Nätverksprotokoll över ATM

Nätverksprotokoll på nivå tre i OSIs referensmodell används huvudsakligen för att möjliggöra kommunikation mellan olika nätverksarkitekturer och erbjuda ett enhetligt gränssnitt mot protokoll på högre nivå. Det vanligast förekommande nätverksprotokollet är internetprotokollet, IP. När det gäller ATM kan applikationer utnyttja sig av ATM direkt, utan att använda något högre ordningens nätverksprotokoll. Fördelarna med detta är att applikationen direkt kan dra nytta av de mekanismer för QoS som ATM-nivån tillhandahåller. Problemet är att de allra flesta applikationer idag är utvecklade för att använda något nätverksprotokoll, som t ex IP eller IPX. Därför vill man gärna kunna använda dessa nätverksprotokoll även över ATM. Det finns ett antal olika tekniker för hur detta kan implementeras.

Det har spekulerats i all paketbaserade protokoll som IP inte skulle vara skalbara till de höga bandbredder som ATM är kapabelt att leverera. Detta antyder att applikationer som utnyttjar ATM direkt skulle vara att fördra. Det visar sig emellertid att prestandaproblemen som noterats inte beror på IP utan på transportprotokollet TCP. Modernare implementationer av TCP/IP visar att det går utmärkt att använda vid mycket höga hastigheter.

Givet att den största delen av installerade nätverk idag inte är ATM verkar det väsentligt att stödja utvecklingen av nätverksprotokoll över ATM så att applikationer kan utnyttjas universellt.

##### 4.5.1 Classical IP

För att kunna transportera IP-trafik över ATM har IETF utvecklat en teknik kallad *Classical IP* vilken beskrivs i RFC 1577. Det som specificeras är ett sätt att mappa mellan IP-adresser och ATM-adresser.

I RFC 1577 införs begreppet *Logical IP Subnet (LIS)*, vilket är en mängd IP-noder som är kopplade till samma ATM-nätverk och som tillhör samma IP-subnät. Varje LIS innehåller en ATMARP-server vars ATM-adress är känd av varje nod. När en nod kommer upp inom

en LIS etablerar den en förbindelse med ATMARP-servern och registrerar där sin ATM-adress tillsammans med sin IP-adress. ATMARP-servern sparar denna information i en tabell. När en nod vill etablera en IP-förbindelse med en annan nod inom samma LIS skickar den en ATMARP-förfrågan med destinationsnodens IP-adress till ATMARP-server som svarar med motsvarande ATM-adress, varvid en förbindelse kan etableras. Om ATMARP-servern inte hittar IP-adressen i sin tabell svarar den med ett ATM\_NAK meddelande vilket innebär att den sökta noden inte finns inom samma LIS. Den kan då endast nås via en router.

Ett problem med Classical Ip är att det inte finns någon mekanism för IP-multicast. Arbete pågår med att införa denna funktionalitet via en Multicast Address Resolution Server (MARS).

Det som krävs för att implementera IP över ATM förutom ovan beskrivna adress-resolutionsmekanism är ett adaptionslager. För detta ändamål är AAL5 idealt. En MTU (Maximum Transmission Unit) definieras dessutom till 9180 bytes.

#### **4.5.2 LAN Emulation (LANE)**

LANE-protokollet används för att emulera existerande LAN, som Ethernet och Token Ring, över ATM. Detta innebär att nätverksprotokollstackar såsom IP kan användas över ATM utan att modifieras. Det ger dessutom en möjlighet att kombinera ATM-nätverk med existerande legacy-LAN. Eftersom den största delen av alla installerade lokala nätverk idag är Ethernet är detta en viktig teknik för successiv migrering mot ATM. En baksida med LANE är att när man emulerar till exempel Ethernet utnyttjar man inte mycket av det som verkligen är fördelarna med ATM, text QoS-support.

LANE implementeras huvudsakligen i två typer av utrustningar, nämligen i nätverks-adaptrar till arbetsstationer (eller PC) samt i ATM-anslutna LAN-växlar (t ex Ethernet-växlar). Den huvudsakliga funktionaliteten för LANE är att mappa MAC-adresser till ATM-adresser. Det går bra att ha flera emulerade LAN (ELAN) på samma fysiska nätverk. Dessa kommer då att framstå som separata LAN för användarna. En arbetsstation kan konfigureras att tillhöra ett godtyckligt ELAN oberoende av maskinens fysiska position inom nätverket. Detta ger upphov till vad som kallas Virtuella LAN (VLAN). För att koppla samman flera ELAN måste man använda routers på samma sätt som när man kopplar ihop LAN på traditionellt sätt. Detta kan potentiellt vara en prestandaflaskhals eftersom routers måste processa högre ordningens protokoll.

#### **LANE-komponenter**

Ett emulerat LAN byggs upp av följande komponenter:

- **LAN Emulation Client (LEC)**

Denna komponent hanterar datatransmission, adressupplösning och andra kontrollfunktioner för en klient i ett ELAN. Den tillhandahåller också ett standardgränssnitt på MAC-nivån till högre ordningens protokoll. En LEC identifieras av en unik ATM-adress och associeras med en eller flera MAC-adresser.



- **LAN Emulation Server (LES)**  
LES är ansvarig för att mappa MAC-adresser till ATM-adresser. Det finns endast en LES för ett givet ELAN. En LEC registrerar sin MAC-adress hos LES, vilken upprätthåller en tabell för MAC- till ATM-adressresolution.
- **LAN Emulation Configuration Server (LECS)**  
Denna komponent tillhandahåller konfigureringsinformation för de ELAN som finns tillgängliga. En LEC kontaktar LECS för att få reda på vilket ELAN den tillhör och förses då med ATM-adressen för aktuellt ELANs LES.
- **Broadcast and Unknown Server (BUS)**  
Detta är en multicastserver som hanterar broadcast (vilket måste existera i ett emulerat Ethernet eller Token Ring), multicast och okända unicast. Varje LEC är associerad med endast en BUS.

### LANE-förbindelsetyper

LANE-komponenterna kommunicerar med varandra via ett antal ATM-förbindelser. Klienterna upprätthåller separata förbindelse för kontrolltrafik och data.

Följande kontrollförbindelser existerar:

- **Configuration Direct VCC**  
Detta är en tvåvägs VCC som sätts upp mellan LEC och LES.
- **Control Direct VCC**  
Även detta är en tvåvägs VCC som sätts upp mellan LEC och LES.
- **Control Distribute VCC**  
Detta är en envägs VCC som sätts upp från LES till LEC. Det är typiskt en punkt-till-multipunktförbindelse.

Följande dataförbindelser existerar:

- **Data Direct VCC**  
Detta är en tvåvägs VCC som sätts upp mellan två LEC som vill utväxla data.
- **Multicast Send VCC**  
Detta är en tvåvägs VCC mellan LEC och BUS.
- **Multicast Forward VCC**  
Detta är en envägs punkt-till-multipunkt VCC som sätts upp till ett antal LEC från en BUS.

### LANE-protokollets funktionalitet

När en förbindelse skall etableras via LANE-protokollet genomlöps tre steg enligt följande:

#### 1. **Initiering och konfiguration**

När en klient startas upp måste dess LEC först ha tag på sin egen ATM-adress, vilket

typiskt sker genom ILMI-protokollet. Sedan sätts en *configuration-direct*-förbindelse upp till LECS. För att detta skall vara möjligt måste ATM-adressen för LECS vara känd vilket kan åstadkommas antingen via manuell konfiguration, via ILMI, eller via en välkänd permanent förbindelse (VPI=0, VCI=17). När förbindelsen etablerats konfigurerar LECS LEC med den information som behövs för att ansluta till ett ELAN. Denna information innefattar ATM adressen för ELANets LES, maximala paketstorleken för ELANet och ELANets namn som en textsträng.

## 2. Registrering och adressupplösning

Nästa steg för klienten är att etablera en *control-direct*-förbindelse till LES. LEC registrerar sin MAC-adress och ATM-adress hos LES. Därpå upprättar LES en *control-distribute*-förbindelse tillbaka till LEC. Dessa två förbindelser kan LEC nu använda för LAN Emulation ARP (LE\_ARP), vilket innebär att klienten skickar en förfrågan om en MAC-adress till LES och får svar med den associerade ATM-adressen. LEC gör nu LE\_ARP för att få tag på ATM-adressen för BUS (MAC adress 0xffffffff). Sedan etableras en *multicast-send*-förbindelse till BUS, vilken svarar med att upprätta en *multicast-forward*-förbindelse.

## 3. Sändning av data

När en LEC får ett paket från ett högre ordningens protokoll att sända till en viss destinations-MAC-adress (vilken har erhållits genom en ”vanlig” ARP-funktion som mappar det högre protokollets adress, t ex en IP-adress, till en MAC-adress) måste ATM-adressen för destinationen erhållas. Därför skickas en LE\_ARP-förfrågan innehållande MAC-adressen till LES. Medan klienten väntar på att LES skall svara skickas paketet till BUS, som vidarebefordrar det via broadcast till alla LEC i aktuellt ELAN. Detta görs för att undvika den fördröjning som LE\_ARP-förfarandet annars skulle ge upphov till. När svaret på LE\_ARP-frågan anländer etablerar LEC en *data-direct*-förbindelse med destinationens LEC. Denna förbindelse används för all ytterligare datatransmission, men innan denna kan påbörjas måste ett *flush*-paket sändas via BUS. När framkomsten av detta paket bekräftas av destinationens LEC, vilket garanterar att denna förbindelse nu är tömd på data, kan *data-direct*-förbindelsen börja användas. Proceduren med *flush*-paket krävs för att paketen garanterat skall komma fram i rätt sekvens.

LEC upprätthåller en cache med ATM- och MAC-adresser för att slippa gå igenom LE\_ARP förfarandet varje gång en förbindelse kopplas upp med en viss maskin.

### 4.5.3 Multiprotocol Over ATM (MPOA)

De ovan beskrivna protokollen Classical IP och LANE har som noterats en gemensam svaghet: De kräver att routers utnyttjas för att koppla samman olika subnät (LIS respektive ELAN). För att förstå varför detta inte är önskvärt behöver man studera hur routers fungerar i kontrast till växlar.

En router har två uppgifter: För det första skall den beräkna ett vägval från en sändarnod till en destination. Detta görs med hjälp av vägvalsalgoritmer såsom RIP, OSPF eller BGP. Den andra uppgiften är att vidarebefordra (växla) paket mellan sina portar baserat på nätverkadresser och den beräknade vägvalsinformationen. En router kan även ha viss övrig funktionalitet, t ex paketfiltrering. De två huvudfunktionerna vägval och paket-

växling är mycket olika till sin karaktär och implementeras i moderna routers som separata komponenter. Vägvalsberäkningarna är mycket mjukvaruintensiva och utnyttjar snabba processorer och stora snabba minnen för vägvalstabellerna. Paketväxlingen, å andra sidan, är förhållandevis okomplicerad och implementeras i specialiserade integrerade kretsar (ASIC). Det är följaktligen den förstnämnda funktionaliteten som gör routers dyra.

Vad är det då som gör det attraktivare att använda ATM-växlar i stället för routers? Eftersom en ATM-växel också måste implementera vägvalsalgoritmer (typiskt PNNI) är komplexiteten på samma nivå som för en router, men eftersom ATM är förbindelseorienterat behöver den bara utföra vägvalsberäkningar en gång när en förbindelse sätts upp i kontrast till en router som måste göra motsvarande för varje paket den vidarebefordrar. Detta gör att ATM-växlar har mycket högre kapacitet än routers. Av prestandaskäl vill man därför undvika att använda traditionella routers om det är möjligt.

För att komma runt problemen med kommunikation över subnätsgränser i Classical IP och LANE har ATM Forum definierat protokollet *multiprotocol over ATM*, MPOA. Kärnan i detta protokoll är att funktionaliteten för en traditionell router delas upp mellan utrustningar så att den dyra vägvalsprocessen hanteras av en centraliserad server, en så kallad *route server*, medan paketväxlingen utförs av billigare utrustningar som är distribuerade och kommunicerar med route servern via ett standardiserat *route distribution protocol*. Detta koncept kallas ibland *virtual routing*. Följande komponenter identifieras i MPOA-protokollet:

- **Internet Address Summarization Group (IASG) eller virtuellt subnät**  
En IASG definieras av ett nätverksprotokoll och en delmängd adresser (t ex ett IP-subnät).
- **MPOA server (MPS)**  
Denna route server kan implementeras i en ATM-växel eller som en fristående router, och tillhandahåller ett antal funktioner för att mappa nätverksadresser till ATM-adresser och även MAC-adresser till ATM-adresser. Servern implementerar även NHRP-protokollet (Next Hop Resolution Protocol) vilket är ett sätt att kontakta andra MPS för att lösa upp adresser som inte finns lokalt. En MPS implementerar även funktionerna LES och BUS i LANE-protokollet för att göra MPOA bakåtkompatibelt med LANE.
- **Edge Devices (ED)**  
Dessa utrustningar kan vidarebefordra trafik mellan legacy LAN och ATM-nätverk. De har kunskap om nätverksprotokoll (t ex IP) och hanterar paketväxling, men implementerar ingen vägvalsalgoritm utan kommunicerar med en MPS för denna funktion.
- **MPOA Client (MPC)**  
En MPC implementeras i en ED eller i en ATM-direktansluten arbetsstations NIC. Den utnyttjar MPS för att kunna kommunicera med noder utanför sitt virtuella subnät. Internt inom sitt subnät fungerar den på samma sätt som en LEC i LANE.

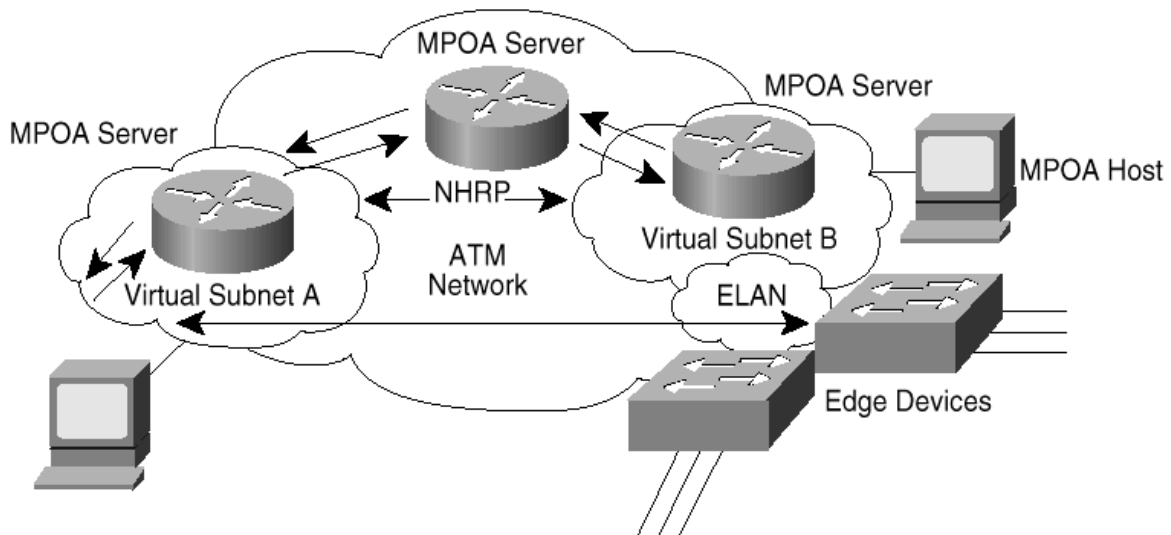
När en ED skall vidarebefordra ett paket från ett legacy LAN inspekterar den paketets MAC-adress. Om paketet är destinerat till en maskin utanför det virtuella subnätet kommer det innehålla MAC-adressen för subnätets virtuella router. ED kommer då att inspektera paketets nivå-tre adress (t ex en IP-adress) och lösa upp denna adress till en ATM-adress

genom att kommunicera med MPS. Därefter upprättas en direkt VCC till destinationen. Om paketet är destinerat till en maskin inom det virtuella subnätet används LANE för att lösa upp adressen till en ATM-adress och etablera en direkt VCC.

Funktionen för en direktansluten nod som implementerar MPOA är enklare: Oberoende av om kommunikationen är inom eller utanför det virtuella subnätet frågar en MPC sin lokala MPS efter den ATM-adress som är associerad med nätverksadressen till vilken kommunikationen önskas. Detta är analogt med adressupplösningen i Classical IP, men det fungerar även för adresser utanför subnätet. Noder som inte implementerar MPOA, men som implementerar LANE kan fortfarande kommunicera med maskiner inom det virtuella subnätet, men för kommunikation utanför detta krävs MPOA-stöd.

Om den lokala route servern inte känner till ATM-adressen för den nätverksadress som önskas propagerar den förfrågan till andra MPSer. Detta sker med hjälp av NHRP-protokollet som fungerar på så sätt att förfrågan vidarebefordras mellan MPSer via ett *hop-by-hop-routing*-protokoll såsom RIP eller OSPF tills en server påträffas som kan utföra adressupplösningen. Eventuellt krävs det att förfrågan vidarebefordras hela vägen till den MPS som tillhör den sökta destinationsadressens virtuella subnät. Varje server på vägen uppdaterar sin cache med adressmappningen.

Eftersom MPOA medger att ett nätverksprotokoll mappas direkt till ATM, utan att gå via emulering som i LANE, betyder detta att en implementering av ett nätverksprotokoll kan komma åt de QoS-funktioner som ATM-tillhandahåller, men som medvetet göms i LANE. Ett signaleringsprotokoll som RSVP kan därför användas för att kommunicera kvalitetskrav från en applikation till nätverket.



#### 4.5.4 IP Switching

Eftersom IP är ett förbindelseöst protokoll medan ATM är förbindelseorienterat uppstår svårigheter när IP skall implementeras över ATM. Därför blir protokoll för detta lätt väldigt komplicerade. Dessutom är det risk för att funktionalitet dupliceras på de olika

nivåerna. Routing i MPOA utförs till exempel först av en *route server* på IP-nivån via ett *hop-by-hop*-protokoll såsom RIP eller OSPF och sedan på ATM-nivån via PNNI.

Ett försök att implementera IP över ATM, men ändå bevara IPs förbindelselösa karaktär, kallas IP switching. Denna teknik går ut på att ATM-växlarna i ett nätverk förses med mjukvara för IP routing. Varje växel upprättar vid boot en förbindelse med fördefinierad VPI/VCI till alla sina grannar. Längs denna virtuella krets vidarebefordras sedan IP-paket förbindelseöst baserat på hop-by-hop-routing. Så långt ser nätverket ut som ett vanligt IP-nätverk med IP-routers sammankopplade av fasta ATM-koppel. Det som sker nu är att växlarna identifierar sk *flows*, ”flöden” av IP-paket utifrån information i dessas IP-pakethuvuden. Ett flöde definieras av en delmängd av fälten i paketens IP/UDP/TCP-huvuden. Två paket tillhör samma flöde om värdena för dessa fält är lika. Till exempel kan ett flöde baseras på avsändarens och mottagarens IP-adress och UDP/TCP-portnummer. Enligt en klassificeringsalgoritm avgör IP-växeln om ett flöde skall hanteras förbindelseöst eller förbindelseorienterat. I det senare fallet instruerar växeln den nod som paketet kom från att sätta upp en ny virtuell krets som används för paket tillhörande det aktuella flödet. Finessen med IP-switching visar sig när nästa växel ”nedströms” identifierar samma flöde och på samma sätt skickar en begäran uppströms om att sätta upp en dedikerad virtuell krets. När en växel mottar en sådan begäran och sedan tidigare själv har begärt (och beviljats) en dedikerad krets från sin granne uppströms, kan den koppla ihop dessa kretsar och därefter kommer paketen att växlas över detta koppel utan att någon routing sker. Paket tillhörande flöden som klassificeras som förbindelselösa skickas fortsatt på den fördefinierade virtuella kretsen. Med jämna mellanrum (typiskt en till två minuter) kontrollerar en växel om det förekommer trafik på dess dedikerade virtuella kretsar. Om så inte är fallet kopplas de inaktiva kretsarna ned.

Fördelen med denna teknik är att trafik som är förbindelselös till sin karaktär, t ex DNS-upplösningar, implementeras förbindelseöst, medan trafik som kan dra nytta av förbindelseorientering, t ex FTP-trafik, implementeras förbindelseorienterat. Detta delar upp trafiken i två klasser, men man kan också tänka sig mer avancerade klassificeringsalgoritmer som utifrån information i pakethuvudena associerar en specifik QoS med ett visst flöde. Flödesklassificering är emellertid en lokal procedur som sker oberoende i varje växel. För att reservera resurser för ett visst flöde genom hela nätverket behövs ett signaleringsprotokoll. RSVP skulle kunna användas för detta ändamål.

IP switching är ingen standard från vare sig ITU-T eller ATM Forum. Olika tillverkare har olika implementationer som i allmänhet inte kan samverka.