

ŠIROKOPOJASNE TELEKOMUNIKACIONE MREŽE
– Poglavlje 1 –

1 ATM

Uvođenjem digitalizacije u telekomunikacione mreže i prelaskom na digitalni prenos sa analognog prenosa, došlo je do novog napretka u telekomunikacionim mrežama. U to vreme najrazvijenije telekomunikacione mreže sa stanovišta infrastrukture su svakako bile telefonske mreže. Međutim, mreže za razmenu podataka su postajale sve značajnije. Isto tako, počela je da se javlja i potreba za uvođenjem video komunikacije (video telefonski pozivi, video konferencije). Pošto se gotovo za svaku potrebu razvijala zasebna telekomunikaciona mreža, došlo se na ideju da se kreira mreža koja bi u sebi objedinila sve servise koji se nude korisnicima (prenos govora, videa, podataka). Razloga za ovu ideju je bilo više. Operaterima bi bilo olakšano pružanje raznovrsnih servisa jer bi koristili zajedničku infrastrukturu za sve servise i pri tome operateri ne bi zavisili samo od jednog servisa. Samo unapređivanje infrastrukture bi bilo olakšano i ekonomičnije. Sa aspekta korisnika bi takođe bilo mnogo pogodnosti, jer bi mogao da koristi usluge jedne mreže za sve svoje potrebe, a takođe same cene uređaja neophodnih za komunikaciju preko mreže (za povezivanje na mrežu), kao i cene samih usluga bi bile niže. Uvođenje novih servisa bi bilo olakšano za operatera, a korisnik bi time dobijao bogatiju ponudu i time lakše našao servise koji zadovoljavaju njegove potrebe. Proizvođačima je takođe odgovarala ideja objedinjenja servisa u jednu zajedničku mrežu, jer bi mogli da proizvode obimnije serije uređaja, a isto tako razvoj bi bio koncentrisan na jednu tehnologiju pa bi i ulaganja bila efikasnija i manje neizvesna (doduše i konkurencija bi bila veća).

Integracija je postala moguća onog momenta kada se prešlo na digitalni prenos, jer sa stanovišta mreže nije bitno šta se u digitalnoj informaciji nalazi, već je bitno samo da prenese te informacije do njihovog odredišta uz eventualno ispunjavanje zahtevanog nivoa kvaliteta servisa koji se tipično ogleda u kašnjenju, varijaciji kašnjenja, verovatnoći grešaka i sl. Otuda je istu infrastrukturu mogla da koristi bilo koja digitalna informacija, nezavisno od toga šta ta informacija sadrži tj. ko je izvor te informacije.

Kao rezultat ovih ciljeva i težnji razvijena je ISDN (*Integrated Services Digital Network*) mreža koja kao što joj i samo ime kaže predstavlja digitalnu mrežu integriranih servisa. Razlikuju se uskopojasna ISDN i širokopojasna ISDN mreža. Uskopojasna ISDN mreža ((N)-ISDN, gde *N* predstavlja *Narrowband*) je imala za cilj digitalno povezivanje korisnika na mrežu (pre svega digitalno povezivanje korisnika na telefonsku centralu koja je imala mogućnost prihvatanja ISDN korisnika). Ideja ovih mreža je bila da se omogući korisniku da istovremeno obavlja telefonske pozive ili šalje/prima faksove i obavlja razmenu podataka sa računara, što je bila potreba koja se u tom momentu javila. Osnovni pristup je koristio upređenu telefonsku paricu koja se prethodno koristila kao analogna telefonska linija i preko nje je vršio digitalni prenos informacija u vidu dva kanala (protok jednog kanala 64kb/s) čime su omogućena dva simultana (istovremena) servisa. Pored osnovnog pristupa postojao je i brži primarni pristup (2Mb/s) koji je bio namenjen za povezivanje kućnih telefonskih centrala. Osnovni pristup je veoma brzo izgubio na značaju uvođenjem brzih xDSL tehnologija, tako da uskopojasne ISDN mreže nisu zaživjele u praksi u onoj meri u kojoj se to očekivalo. Inače, uskopojasne ISDN mreže se tipično nazivaju i ISDN mreže, tj. ako se ne navede ništa ispred ISDN podrazumeva se da je u pitanju uskopojasna ISDN mreža.

Kako su prohtevi korisnika u pogledu protoka rasli, a isto tako, kako je i sam korisnički saobraćaj rastao došlo je do potrebe da se kreira širokopojasna ISDN mreža ((B)-ISDN, gde *B*

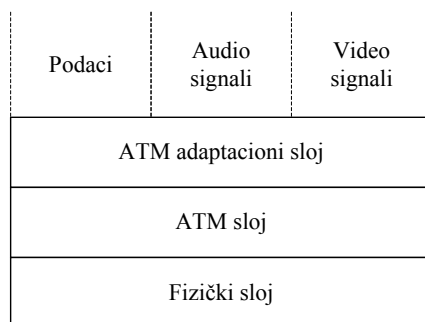
predstavlja *Broadband*) koja bi omogućavala velika protoke korisnicima. Kao tehnologija na kojoj će biti zasnovana (B)-ISDN mreža se krajem osamdesetih godina prošlog veka izabrala i standardizovala ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) tehnologija. ATM tehnologija se zasniva na slanju paketa fiksne dužine koji se nazivaju ćelijama. ATM ćelije su dužine 53 bajta, pri čemu zaglavlje ATM ćelije iznosi 5 bajtova (korisni deo je stoga 48 bajtova). Pojam asinhron je upotrebljen da bi se naglasila razlika u odnosu na SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), odnosno SONET (*Synchronous Optical Network*) tehnologiju, pošto u ATM nisu prenošene zasebne sinhronne informacije, nego su se ćelije prenosile jedna za drugom (u slučaju kada nije bilo podataka za prenos, slala se prazna ćelija). ATM mreže su paketske mreže (informacije se prenose u vidu paketa tj. ćelija), pri čemu ATM mreže spadaju u klasu konekcionih mreža (*CO - Connection-Oriented*) jer se mora vršiti uspostava veze pre samog prenosa informacija (tj. postoje faze uspostave veze, trajanja veze i raskida veze). Ovo je razlika u odnosu na IP mreže koje spadaju u klasu nekonekcionih mreža (*CL - ConnectionLess*) gde postoji samo faza korišćenja (trajanja) veze.

ATM mreže su imale za cilj da pruže objedinjenu (integrisanu) mrežnu infrastrukturu za sve servise korisnika, pri čemu su bili mogući i veoma visoki protoci (na početku su definisani protoci od 155.52 i 622.08 Mb/s). Pošto su različiti servisi imali različite zahteve (na primer, neki servisi poput prenosa telefonskog razgovora su osetljivi na kašnjenje, neki servisi poput prenosa podataka su osetljivi na gubitke), ATM mreža je kreirana tako da podrži sve tipove servisa. Pri tome, ATM mreže su kreirane tako da obezbede podršku za kvalitet servisa, gde korisnik prilikom uspostave veze pregovara sa mrežom parametre kvaliteta servisa koji će se koristiti za vreme trajanja veze. Pri tome, dogovoreni parametri nisu smeli da ugroze tekuće veze i njihov kvalitet servisa. Ovo predstavlja razliku u odnosu na IP mreže koje nisu originalno bile predviđene da podržavaju kvalitet servisa, ali naknadno su uvedene tehnike za obezbeđivanje pružanja kvaliteta servisa korisnicima.

U praksi ATM mreže nisu doživele očekivani udeo na tržištu. Osnovni razlog je bila isuviše kompleksna tehnologija za vreme kada su one počele da se uvode - devedesete godine prošlog veka. ATM mreže su jednostavno bile previše napredne za svoje vreme - obezbeđivale su kvalitet servisa, implementirale su mehanizme za rešavanje problema zagušenja, implementirale su proces pregovaranja parametara kvaliteta servisa sa korisnikom pri čemu se vršila provera u mreži da li se željeni kvalitet servisa može ispuniti (a da se pri tome ne naruši kvalitet servisa tekućih veza), implementirali su se mehanizmi kontrole korisnika (kontrola da li se korisnik pridržava dogovorenih parametara veze) i sl. Sve ove navedene funkcije značajno komplikuju izradu mrežnih ATM uređaja jer zahtevaju složene implementacije koje u to vreme nisu bile ekonomične, pa otuda ATM tehnologija nije zaživela u onoj meri u kojoj je to bilo predviđeno. S druge strane, može se reći da je IP tehnologija bolje pratila razvoj tehnologije i uvodila rešenja onda kada su tehnološki mogla ekonomično da se implementiraju. Mnoge ideje i realizacije iz ATM tehnologije je usvojila IP tehnologija (na primer, eksplicitno obaveštavanje o zagušenju ili MPLS tehnika sa MPLS labelama koja je veoma slična ATM komutaciji ćelija). ATM tehnologija je najveću primenu našla u jezgru mreže (*backbone*) Internet provajdera, zatim u emulaciji kola za prenos E1 linkova, u pojedinim pristupnim mrežama, itd. Tendencija je da se u budućnosti ATM tehnologija u potpunosti zameni IP tehnologijom, ali taj proces se neće tako brzo završiti.

Velika diskusija je vođena oko izbora dužine ATM ćelije. Ideja je bila da ćelija bude što kraća zbog servisa osetljivih na kašnjenje, što je bilo bitno zbog ideje da se telefonski razgovori

takođe prenose preko ATM mreže. Naime, što je kraća ćelija, to je proces paketizacije (pakovanje digitalizovanog govornog signala u paket tj. ćeliju) kraći, a proces paketizacije unosi kašnjenje. Takođe, u ATM svičevima (ATM svič je mrežni čvor koji vrši komutaciju, odnosno prosleđivanje ATM ćelije na njeno odredište) ako naiđe ATM ćelija koja nosi vremenski osetljiv sadržaj (npr. govor iz telefonskog razgovora) kada je u toku slanje neke ćelije, pristigla ćelija će manje čekati na završetak prenosa ćelije čije slanje je u toku kada je ta ćelija koja se šalje kraća. S druge strane, što je ćelija kraća, veći je udeo zaglavlja u ćeliji pa je iskorišćenje linkova manje jer se velik procenat vremena na njima troši za prenos zaglavlja koji ne predstavlja korisničku informaciju. Takođe, za prenos podataka su znatno pogodnije duge ćelije radi smanjenja udela zaglavlja na zanemarljivu vrednost. Evropljani su bili za dužine ćelija 16 do 32 bajta jer bi veće ćelije zahtevale ugradnju tehnika za potiskivanje eha za prenos telefonskog govora koje su bile skupe, a SAD su bile za ćelije dužine 64 do 128 bajtova jer su u svojim telefonskim mrežama već instalirale na većini lokacija poništavače eha. Na kraju je doneto kompromisno rešenje (koje u suštini nije odgovaralo nijednoj strani) da dužina ćelije bude 53 bajta. IP mreže su u početku bile orijentisane na prenos podataka, i uzimajući u obzir popularnost servisa poput veb surfovanja i elektronske pošte (koji su i danas veoma popularni i korišćeni) ta orijentacija je najverovatniji razlog za današnju dominaciju IP mreža uzimajući u obzir značaj računara i saobraćaja koji generišu računari na mreži počev od njihove nagle ekspanzije na tržištu tokom devedesetih godina, a takođe uzimajući u obzir i bum mobilne telefonije koja je značajno umanjila značaj fiksne telefonske mreže, a čiji saobraćaj je u značajnoj meri uticao na standardizaciju ATM tehnologije.



Slika 1.1. ATM slojevita arhitektura za prenos korisničkih podataka

ATM slojevita arhitektura za prenos korisničkih podataka je prikazana na slici 1.1. Fizički sloj je zadužen za fizički prenos bita po medijumu za prenos između korisnika i ATM čvora ili između ATM čvorova, ali i za detektovanje granica ćelija (razgraničavanje ćelija). Fizički sloj ATM arhitekture sadrži funkcionalnosti fizičkog sloja i sloja linka podataka iz ISO-OSI referentnog modela. ATM sloj je pre svega zadužen za prosleđivanje ćelija do njihovog krajnjeg odredišta. Ovaj sloj je zajednički za sve aplikacije tj. servise i predstavlja svojevrsan ekvivalent IP sloju u smislu da je oko njega izgrađena čitava ATM arhitektura tj. tehnologija (isto kao što je oko IP protokola izgrađena IP arhitektura). Pošto postoje razlike u zahtevima kvaliteta servisa među aplikacijama (neke su osetljive na kašnjenja i varijacije kašnjenja, neke na greške u prenosu i dr.) potrebno je prilagoditi informacije (dobijene od korisnika) ATM sloju, tako da ih ATM sloj prosledi do odredišta tako da se pri tome postigne željeni kvalitet servisa. U tu svrhu je definisan ATM adaptacioni sloj koji vrši prilagođenje informacija dobijenih od korisnika za prenos preko ATM sloja. Mrežni čvorovi implementiraju samo fizički i ATM sloj jer su oni jedini neophodni za prenos kroz ATM mrežu, dok se ATM adaptacioni sloj

implementira samo na izvištu i odredištu tj. na tačkama gde se priključuje korisnik. Detaljniji opis funkcionalnosti slojeva će biti opisan u narednim potpoglavljima.

1.1. Fizički sloj

Fizički sloj se sastoji od dva podsloja - PMD (*Physical Medium Dependent*) podsloj i TC (*Transmission Convergence*) podsloj. Na predajnoj strani PMD podsloj vrši slanje bita na link, odnosno na prijemnoj strani vrši rekonstrukciju niza bita koje je poslala suprotna strana. TC podsloj prima ćelije od ATM sloja i potom ih kao niz bita prosleđuje PMD podsloju radi slanja preko linka. Na prijemnoj strani, TC podsloj prima niz bita od PMD podsloja i rekonstruiše originalni niz ATM ćelija koje potom prosleđuje ATM sloju. Očigledno, PMD podsloj najviše odgovara fizičkom sloju OSI modela, a TC podsloj sloju linka podataka OSI modela. ITU-T preporuke I.321 i I.432 daju pregled i opis funkcionalnosti PMD i TC podslojeva. Preporuka I.432 predviđa i mogućnost upotrebe SDH mreže za ostvarivanje fizičkog prenosa ATM ćelija. Stoga se razlikuje ćelijski baziran fizički sloj i SDH baziran fizički sloj. Ćelijski baziran fizički sloj podrazumeva prenos kontinualnog niza ćelija, dok SDH baziran fizički sloj podrazumeva prenos ćelija unutar SDH strukture.

1.1.1. PMD podsloj

PMD podsloj obavlja sledeće osnovne funkcionalnosti:

- Vremenska sinhronizacija bita
- Linijsko kodiranje

Vremenska sinhronizacija bita podrazumeva da se na predajnoj strani generiše vremenska informacija koja se ugrađuje u prenesene bite i koja omogućava prijemnoj strani da rekonstruiše takt predajne strane i time omogući ispravan prijem bita, odnosno detekciju i tumačenje vrednosti primljenih bita (da li je primljena 0 ili 1). Ova funkcija zahteva upotrebu linijskih kodova koji omogućavaju prenos vremenske informacije poput, 8B/10B koda, HDB3 (*High Density Bipolar of order 3*) koda, CMI (*Coded Mark Inversion*) koda i sl.

Linijsko kodiranje predstavlja kodiranje bita u format pogodan za fizički prenos preko linka. Zbog funkcije vremenske sinhronizacije bita, kao linijski kod se bira onaj kod koji omogućava ekstrakciju takta predajne strane. Takvi kodovi su 4B/5B, 8B/10B, HDB3, CMI i sl. Ako postoji sinhronizacija ćvorova koja se vrši eksternim putem (na primer, ćvorovi su deo sinhronizacione mreže), tada ne moraju da se koriste linijski kodovi koji omogućavaju ekstrakciju takta već mogu da se koriste i drugi linijski kodovi poput NRZ (*Non Return to Zero*).

Same karakteristike zavisne od upotrebljenog fizičkog medijuma se definišu na osnovu tipa medijuma. Na primer, preporuka I.432 definiše PMD optičke i električne karakteristike (u zavisnosti da li se koristi električni ili optički prenos) za 155.52 i 622.08 Mb/s interfejsa (karakteristike koje se definišu su tip kabla, slabljenje i sl.).

1.1.2. TC podsloj

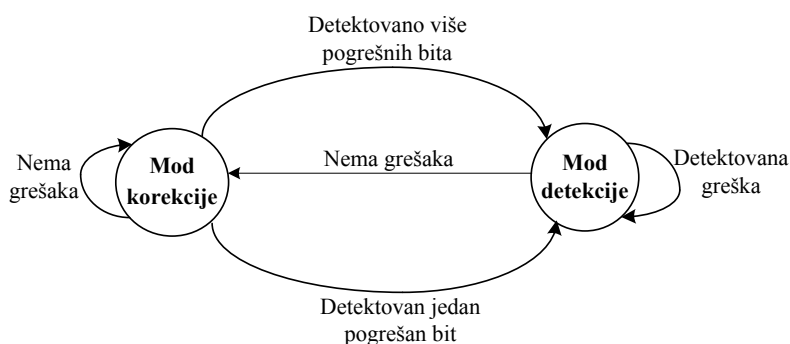
TC podsloj obavlja sledeće osnovne funkcionalnosti:

- Generisanje i verifikacija HEC polja
- Razgraničavanje ćelija

- Ubacivanje i otklanjanje praznih ćelija

HEC (*Header Error Control*) polje predstavlja polje za proveru u zaglavlju ATM ćelije. Jedino se za ovo polje vrednost generiše na TC podsloju, a vrednosti svih ostalih polja zaglavlja se generišu na ATM sloju. Koristi se CRC zaštita sa generišućim polinomom x^8+x^2+x+1 . Ako sa $M(x)$ predstavimo preostala četiri bajta zaglavlja, vrednost HEC polja se računa kao ostatak deljenja $M(x) \cdot x^8$ sa generišućim polinomom. U preporuci I.432 je preporučeno da se dobijeni ostatak sabere po modulu 2 sa uzorkom 01010101 i da se rezultat sabiranja smesti u HEC polje. Razlog za uvođenje ovog dodatnog sabiranja su bolje performanse u razgraničavanju ćelija u slučaju kada dođe do tzv. slipova bita na prijemu (preskok bita ili duplo čitanje bita).

Na prijemu se prvo vrši oduzimanje uzorka od vrednosti HEC polja (ovo se ne radi ako je preskočeno sabiranje sa uzorkom na predaji). Potom se može ponoviti postupak generisanja HEC polja i ako se dobijena vrednost poklopi sa primljenom vrednosti HEC polja (vrednost koja je na predaji dobijena nakon deljenja generišućim polinomom) tada se pretpostavlja da zaglavlje ne sadrži greške (drugi način je da se izvrši deljenje generišućim polinomom čitavog zaglavlja ćelije i ako se dobije ostatak 00000000 tada se smatra da nema grešaka u zaglavlju). Pošto se mali broj bita (32 bita zaglavlja) štiti sa osam bita, mogu se korigovati jednostruke greške u zaglavlju. Princip korigovanja i detekcije grešaka u zaglavlju na prijemu je prikazan na slici 1.1.2.1.

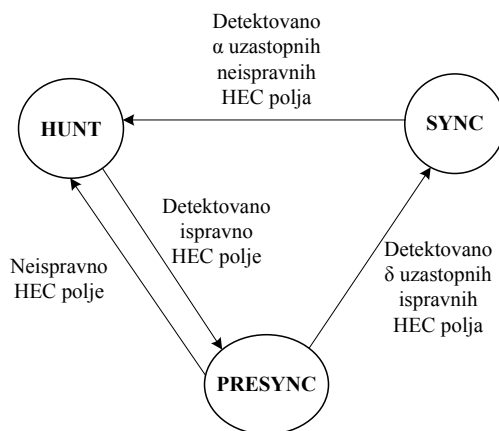


Slika 1.1.2.1. Korekcija i detekcija grešaka na prijemu

Kada je prijem ćelija u sinhronizovanom tj. regularnom stanju znaju se granice ćelija i samim tim se znaju pozicije zaglavlja ćelija. Po defaultu prijemnik se nalazi tada u modu korekcije. Sve dok nema detektovanih grešaka u zaglavlju, zaglavlja ćelije se proglašavaju ispravnim i te ćelije se prosleđuju ATM sloju, pri čemu se sistem zadržava u stanju moda korekcije. Kada se detektuje greška vrši se prelaz u mod detekcije. Pri tome, ako je detektovano više pogrešnih bita u zaglavlju, vrši se odbacivanje ćelija, a ako je detektovan samo jedan pogrešan bit tada se vrši korekcija tog bita i ćelija sa tako ispravljenim zaglavljem se prosleđuje ATM sloju. U modu detekcije se ostaje sve dok se ne detektuje ćelija sa ispravnim zaglavljem (ova ćelija se prosleđuje ATM sloju), kada se prelazi natrag u mod korekcije. Sve ćelije koje se prime sa greškom u zaglavlju dok se prijemnik nalazi u modu detekcije se odbacuju i prijemnik ostaje u modu detekcije. Razlog za ovo bezuslovno odbacivanje je što bi se greške trebale retko javljati na žičanim (električnim ili optičkim) medijumima za prenos, pa ako se po ulasku u mod detekcije opet detektuju greške onda je velika verovatnoća da je došlo do bursta grešaka usled neke smetnje i takve ćelije ne bi trebalo da se prosleđuju ka ATM sloju jer je velika verovatnoća da je u zaglavlju došlo do više od jedne greške. Napomena: prazne ćelije se, naravno, ne prosleđuju ATM sloju čak i u slučaju ispravnog zaglavlja tih ćelija (isto važi i za ćelije koje se razmenjuju samo na fizičkom sloju i koje služe za operacije nadgledanja i održavanja fizičkog

sloja - ove ćelije se prosleđuju odgovarajućem bloku ravni upravljanja zaduženom za procesiranje ovih ćelija).

Razgraničavanje ćelija je neophodno na prijemu da bi se detektovale granice ćelija i samim tim da bi se mogao formirati niz ćelija koje se prosleđuju ATM sloju. Detekcija granica ćelija se zasniva na detekciji zaglavlja ćelije jer se samim tim zna početak i kraj ćelije pošto ćelije imaju fiksnu dužinu. Dijagram stanja za funkciju razgraničavanja ćelija tj. za uspostavljanje sinhronizacije na nivou ćelija je prikazan na slici 1.1.2.2.



Slika 1.1.2.2. Dijagram stanja hvatanja sinhronizacije na nivou ćelija

Inicijalno, prijemnik se nalazi u HUNT stanju. U ovom stanju prijemnik čeka da primi prvo 40 bita. Nakon toga vrši proveru HEC polja kao da tih 40 bita predstavlja zaglavlje ćelija. Ako je provera neispravna, pomera se sadržaj tih 40 bita tako da se bit sa vrha uklanja, a na kraj se dodaje sledeći primljeni bit, pa se vrši ponovo provera HEC polja. Ovaj postupak se vrši sve dok se ne dobije ispravno HEC polje (tj. dok se ne zaključi na osnovu HEC polja da je zaglavlje ispravno) čime se zaključuje da je potencijalno nađena granica ćelije tj. zaglavlje ćelije. Stoga se prelazi u PRESYNC stanje. U PRESYNC stanju se pretpostavlja da je prethodno nađena granica ćelije i sada se vrši provera te pretpostavke. Stoga se provera ne vrši na nivou bit po bit kao u HUNT stanju, nego se provera vrši na nivou ćelija po ćelija. Uzima se zaglavlje sledeće ćelije i proverava se ispravnost zaglavlja pomoću HEC polja. Ako se detektuje uzastopnih ispravnih zaglavlja smatra se da je sinhronizacija na nivou ćelija uspostavljena i prelazi se u SYNC stanje. U SYNC stanju (sinhronizovanom stanju) se vrši prosleđivanje ATM ćelija sa ispravnim zaglavljem ATM sloju tj. primenjuje se dijagram stanja sa slike 1.1.2.1. Ako se u PRESYNC stanju detektuje neispravno zaglavlje, sistem se vraća u HUNT stanje. Sistem ispada iz sinhronizacije (SYNC stanja) ako se detektuje α uzastopnih neispravnih zaglavlja i tada se vrši prelaz u HUNT stanje. U SYNC stanju se provera ispravnosti zaglavlja na osnovu HEC polja takođe vrši na nivou ćelija po ćelija kao i u PRESYNC stanju. Što je veći parametar α to je manja verovatnoća da sistem zbog bitskih grešaka u kanalu ispadne iz sinhronizacije, ali isto tako u slučaju ispada sinhronizacije veća vrednost parametra usporava čak resinhronizacije. Što je veći parametar δ to je manja verovatnoća da se detektuje lažna granica ćelija, ali isto tako veća vrednost parametra δ usporava prelazak u SYNC stanje i normalan režim rada prijemnika. ITU-T I.432 standard preporučuje vrednosti $\alpha=7$ i $\delta=8$ za ćelijski baziran fizički sloj, odnosno $\alpha=7$ i $\delta=6$ za SDH baziran fizički sloj.

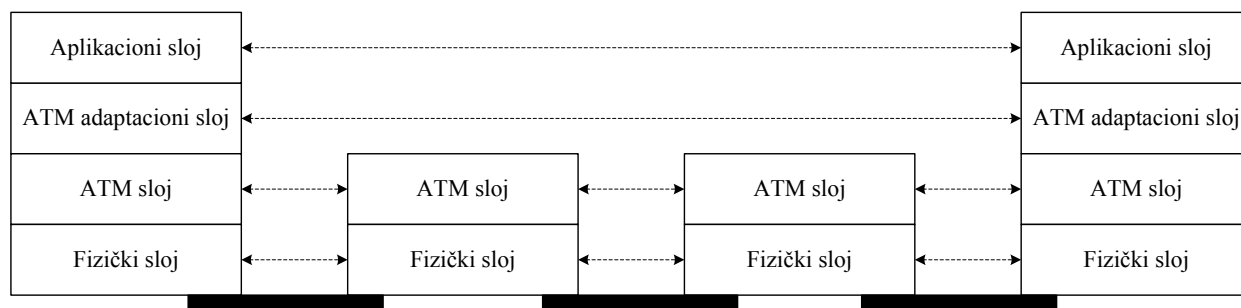
Da bi se poboljšale performanse hvatanja sinhronizacije na nivou ćelija koristi se skremblovanje korisnog dela ćelija kojim se postiže veća slučajnost u vrednostima bita korisnog

dela i time manja verovatnoća pojave lažnog zaglavlja ćelije unutar korisnog dela ćelija čime se smanjuje verovatnoća pogrešnog prelaska iz HUNT stanja u PRESYNC stanje. Na prijemu se vrši deskremblovanje sadržaja korisnog dela ćelije čime se vraća originalni sadržaj korisnog dela ćelije. U HUNT stanju se ne radi deskremblovanje jer se traži zaglavlje ćelije i cilj je smanjiti verovatnoću nalaženja lažnog zaglavlja. U PRESYNC i SYNC stanjima je deskremblovanje uključeno jer se provera vrši na nivou ćelija, a i zato što se u SYNC stanju ATM ćelije koje se prosleđuju ATM sloju moraju vratiti u originalno stanje (vrednost korisnog dela ćelije se mora vratiti u originalno stanje). U PRESYNC i SYNC stanju deskremblovanje se vrši samo za korisni deo ćelije jer se zaglavlje ćelije nije skremblovalo na predaji. Više detalja o precu skremblovanja i deskremblovanja i njihovog učešća u procesu postizanja sinhronizacije na nivou ćelija se može naći u I.432 preporuci.

Ono što je bitno kod ATM mreža jeste da se ćelije šalju neprestano jedna za drugom tj. nema pauza između ćelija. Ovo je poželjno iz više razloga. Na primer, za rekonstrukciju bitskog takta na prijemu, a još više za postizanje sinhronizacije na nivou ćelija. Isto tako, na ovaj način se može pratiti nivo bitskih grešaka na liniji. U slučaju da ATM sloj nema ćelija za slanje preko linka bio bi narušen princip neprestanog slanja ćelija, stoga TC podsloj ubacuje prazne ćelije koje se na prijemu ne prosleđuju ATM sloju. One služe samo kao popuna da bi se održao princip neprestanog slanja ćelija.

1.2. ATM sloj

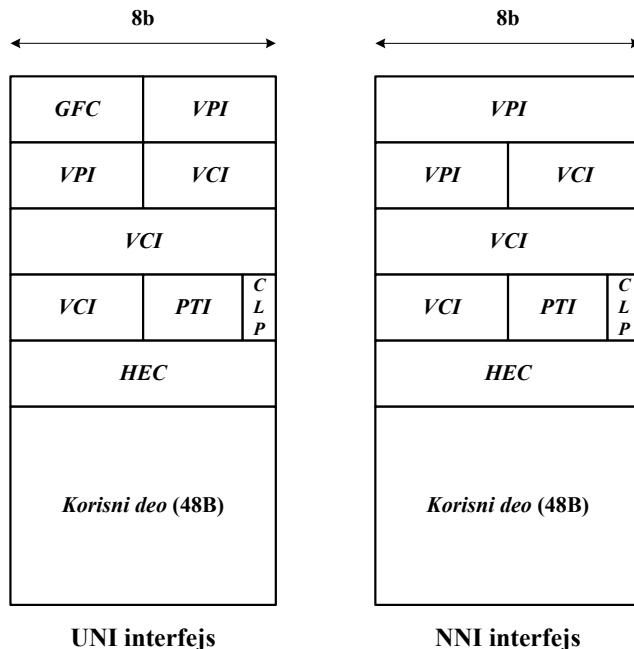
ATM sloj je centralni sloj ATM arhitekture jer on omogućava transparentan prenos korisničkih informacija do njihovog odredišta. ATM sloj je nezavisan od fizičkog sloja, odnosno tehnologije koja se koristi za prenos što je još jedna sličnost sa IP slojem iz IP mreža. Pošto se prosleđivanje ćelija tj. korisničkih informacija vrši na ATM sloju, svi čvorovi i korisnici ATM mreže moraju imati implementiran ATM sloj (i fizički sloj), dok korisnički čvorovi implementiraju dodatno ATM adaptacioni sloj i aplikacioni sloj (slika 1.2.1). ATM mrežni čvorovi implementiraju samo ATM i fizički sloj jer su im samo oni neophodni za prosleđivanje ćelija na njihovo krajnje odredište.



Slika 1.2.1. Arhitektura ATM mrežnih i korisničkih čvorova

ATM sloj je zadužen za prosleđivanje i komutaciju ćelija na njihova odredišta. Takođe, ATM vrši multipleksiranje ćelija iz različitih tokova na isti link i demultipleksiranje u obrnutom smeru. ATM sloj vrši i funkciju adresiranja jer je ona neophodna u procesu određivanja krajnjeg odredišta (suprotne strane) prilikom uspostave veze. ATM sloj obezbeđuje i mehanizme za kontrolu zagušenja, kao i za kontrolu kvaliteta servisa.

Struktura ATM ćelije je prikazana na slici 1.2.2. Kao što se sa slike vidi, razlikuju se strukture ćelije na UNI i NNI interfejsu. UNI (*User-Network Interface*) je interfejs između ATM korisnika i ATM (mrežnog) čvora na kojeg je korisnik povezan. NNI (*Network-Network Interface*) je interfejs između dva ATM (mrežna) čvora. Tipično, ATM čvor se naziva ATM svič pošto je primarna uloga ATM čvora komutacija i prosleđivanje ćelija.



Slika 1.2.2. Struktura ATM ćelije

Dužina ATM ćelije je 53 bajta i sastoji se iz sledećih delova:

- GFC (*Generic Flow Control*) - GFC polje je dužine četiri bita i može se koristiti za kontrolu toka u slučaju kontrolisane korisničke opreme (koja podržava upotrebu GFC polja). Ideja ovog polja je omogućavanje priključivanja više ATM korisničkih uređaja na isti mrežni port ATM mrežnog čvora tj. omogućavanje višestrukog pristupa. U slučaju kada se ovo polje ne koristi, kao i u slučaju nekontrolisane korisničke opreme (koja ne podržava upotrebu ovog polja), GFC polje se postavlja na vrednost 0000. GFC polje postoji samo na UNI interfejsu jer njegova upotreba nema smisla na NNI interfejsu između ATM svičeva. Detalji oko upotrebe ovog polja se mogu naći u I.361 preporuci.
- VPI (*Virtual Path Identifier*) - VPI identifikator je dužine 8 bita na UNI interfejsu, odnosno 12 bita na NNI interfejsu. U kombinaciji sa VCI predstavlja labelu koja se koristi za rutiranje ćelije. VPI određuje kom virtuelnom putu pripada ćelija.
- VCI (*Virtual Channel Identifier*) - VCI identifikator je dužine 16 bita. U kombinaciji sa VPI predstavlja labelu koja se koristi za rutiranje ćelije. VCI određuje kom virtuelnom kanalu (unutar virtuelnog puta kojeg određuje VPI identifikator) pripada ćelija. Na UNI interfejsu se prilikom uspostave veze definiše koliki broj bita VPI i VCI polja će se zaista koristiti. Isto važi i za NNI interfejs prilikom podizanja linka između ATM svičeva.

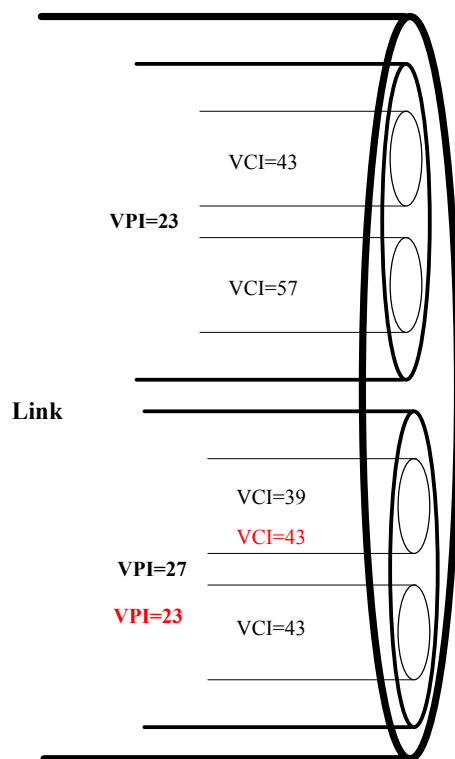
- PTI (*Payload Identifier*) - PTI polje (dužine 3 bita) definiše tip informacije smeštene u korisni deo ćelije. Tabela 1.2.1 prikazuje tumačenje vrednosti ovog polja (indikacija s kraja na kraj predstavlja bit koji se transparentno prenosi s kraja na kraj kroz ATM mrežu između ATM korisnika i koji se koristi za razmenu indikacije između korisnika, na primer, indikacija da je u jednom smeru došlo do zagušenja).
- CLP (*Cell Loss Priority*) - CLP bit određuje prioritet ćelija za odbacivanje prilikom zagušenja ATM sviča. Ako dođe do zagušenja prvo se odbacuju ćelije kod kojih je postavljen CLP bit na vrednost 1.
- HEC (*Header Error Control*) - Ovo polje se koristi za proveru ispravnosti zaglavlja i sinhronizaciju na nivou ćelija na fizičkom sloju. Vrednost ovog polja se postavlja na fizičkom sloju. Upotrebu ovog polja smo objasnili ranije kod objašnjenja funkcionalnosti fizičkog sloja.
- Korisni deo (*Payload*) - Predstavlja korisni deo ćelije u koji se smešta informacija dobijena sa višeg sloja (ATM adaptacionog sloja). Dužina korisnog dela je 48 bajtova.

Tabela 1.2.1 - Vrednosti PTI polja

PTI	Opis
000	Korisnička ćelija koja nije iskusila zagušenje u mreži. Indikacija s kraja na kraj postavljena na 0.
001	Korisnička ćelija koja nije iskusila zagušenje u mreži. Indikacija s kraja na kraj postavljena na 1.
010	Korisnička ćelija koja je iskusila zagušenje u mreži. Indikacija s kraja na kraj postavljena na 0.
011	Korisnička ćelija koja je iskusila zagušenje u mreži. Indikacija s kraja na kraj postavljena na 1.
100	OAM F5 ćelija na nivou segmenta toka
101	OAM F5 ćelija na nivou s kraja na kraj toka
110	RM ćelija
111	Rezervisano za buduću upotrebu

Kao što smo na početku poglavlja napomenuli, ATM mreža spada u klasu konekcionih (CO) mreža što znači da je potrebno prvo uspostaviti vezu između ATM korisnika, potom se veza koristi i na kraju se, kada se završi upotreba veze za razmenu informacija, veza raskida. Prilikom uspostave veze vrši se konfigurisanje tabela usmeravanja u ATM svičevima da bi ćelije dotične veze mogle da stignu na odgovarajuće odredište. Veza može biti tačka-tačka, ali i tačka-više tačaka. Takođe, veza može biti permanentna (PVC - *Permanent Virtual Connection*) ili komutirana (SVC - *Switched Virtual Connection*). Permanentnu vezu postavlja administrator ATM mreže i ona traje dok je administrator ne ukine. Komutiranu vezu inicira korisnik ili mreža prilikom procesa uspostave veze i ona se uspostavlja upotrebom signalizacije u ATM mreži. Kada se komunikacija završi dolazi do raskida veze i brisanja zapisa, koji se odnose na raskinutu vezu, iz tabela usmeravanja ATM svičeva. Na interfejsu (UNI ili NNI) labela dodeljena tačka-tačka vezi se koristi za oba smera, nezavisno od toga da li je veza bidirekciona ili unidirekciona (informacije se prenose samo u jednom smeru). Razlog je što se tačka-tačka veza uvek smatra bidirekcionom, a pri tome ona realno može biti simetrična bidirekciona (isti protok u oba smera), asimetrična bidirekciona (postoji razlika u protocima između smerova) i unidirekciona (jedan smer ne generiše saobraćaj). Inače, veza tačka-više tačaka je uvek unidirekciona. Pod labelom se podrazumevaju vrednosti polja VPI i VCI. VPI definiše virtuelni put, a VCI definiše virtuelni kanal. Jedan virtuelni put može da sadrži više virtuelnih kanala. Na jednom linku, ne sme da se

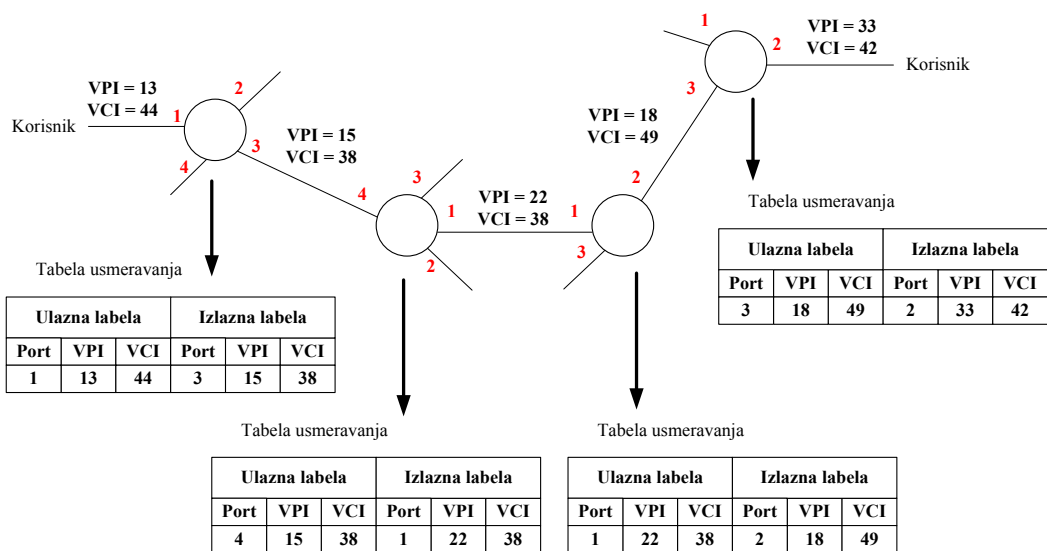
poklapa VPI vrednost različitih virtuelnih puteva. Unutar istog virtuelnog puta na linku, ne sme da se ponavlja VCI vrednost, ali sme da se pojavi ista VCI vrednost u različitim virtuelnim putevima na istom linku. Ovi odnosi su prikazani na slici 1.2.3. Crvenom bojom su označene zabranjene vrednosti koje bi dovele do greške (dvosmislenosti u prosleđivanju ćelija). Razlog uvođenja virtuelnih puteva jeste pojednostavljenje regulisanja kvaliteta servisa unutar ATM mreže. Naime, broj veza može biti velik i prekomplikovano bi bilo pratiti nivo kvaliteta servisa za svaku vezu ponaosob. Otuda je lakše grupisati veze na čitavom putu, ili pojedinim delovima puta kroz mrežu i pratiti nivo kvaliteta servisa za grupu veza čime se smanjuje broj veza čiji se kvalitet prati i time pojednostavljuje i rasterećuje ATM mreža sa aspekta održavanja kvaliteta servisa. Takođe, time se pojednostavljuje procedura uspostave veze u okviru koje treba proveriti da li postoji put kroz mrežu koji može da zadovolji željeni kvalitet servisa korisnika. Grupisanje veza u virtuelne puteve se vrši na osnovu klase kvaliteta servisa koji zahteva veza tako da se grupišu veze koje zahtevaju istu klasu servisa, a u procesu grupisanja se uzima u obzir i putanja veze kroz ATM mrežu. Sama veza je određena na osnovu VCI identifikatora unutar virtuelnog puta kao što se može videti sa slike 1.2.3.



Slika 1.2.3. Odnos između VPI i VCI

Razmotrimo sada kako se vrši rutiranje ćelija kroz mrežu. Prilikom uspostave veze se zadaje adresa traženog korisnika da bi ATM mreža mogla da odredi put do traženog korisnika. Adresa se daje u E.164 formatu (definisan u ITU-T E.164 standardu). Prilikom nalaženja puta do traženog korisnika se vrši provera da li može da se ispuni željeni kvalitet servisa, a da pri tome ne bude narušen kvalitet servisa postojećih veza. Kao rezultat uspešne uspostave veze se konfigurišu tabele usmeravanja. Tabela usmeravanja na ulazu ATM sviča određuje za svaku pristiglu ćeliju na osnovu vrednosti labele ćelije (labele je, ustvari, vrednost korišćenih bita VPI i VCI polja na dotičnom linku) na koji izlaz ATM sviča treba proslediti ćeliju i vrednost nove labele koja će se koristiti na sledećem linku (ta nova labela se zatim stavlja u zaglavlje ćelije

umesto stare labele - ovaj proces se naziva zamena labele). Naglasimo da se zamena labele vrši na ulazu sviča. Očigledno, VPI i VCI identifikatori imaju lokalni značaj, tj. njihove vrednosti važe samo na nivou linka, a već na sledećem linku se koriste druge vrednosti u skladu sa vrednostima identifikatora definisanim u procesu uspostave veze. Ovaj princip zamene labele i prosleđivanja na osnovu labele je posle iskorišćen u MPLS mrežama. Napomenimo da ATM svič može da koristi i samo VPI vrednost kao labelu u određivanju na koji izlaz treba usmeriti ćeliju (takvi svičevi se označavaju i terminom VPI svičevi) ili samo VCI vrednost kao labelu u određivanju na koji izlaz treba usmeriti ćeliju (takvi svičevi se označavaju i terminom VCI svičevi). Na slici 1.2.4 je prikazano rutiranje jedne ćelije kroz ATM mrežu i zamena labele ćelije prilikom prolaska kroz ATM svič. Crvenom bojom su označene identifikacije portova. U tabelama usmeravanja su dati samo zapisi koji se odnose na prosleđenu ćeliju, za koju su navedene VPI i VCI vrednosti na svakoj deonici puta tj. linku. U tabeli usmeravanja je pored VPI i VCI vrednosti bitna i vrednost porta na kom je primljena ćelija da bi se jednoznačno odredio zapis u tabeli usmeravanja. Na osnovu dohvaćenog zapisa dobija se izlazna labela ćelije tj. nove vrednosti VPI i VCI polja. Takođe, dobija se informacija na koji izlazni port treba proslediti primljenu ćeliju. Zamena labele se vrši odmah na ulaznom portu. Za suprotan smer se postavljaju simetrične vrednosti, odnosno izlazna i ulazna labela u tabeli usmeravanja menjaju svoje pozicije (izlazna labela postaje ulazna i obrnuto).



Slika 1.2.4. Rutiranje ćelije kroz ATM mrežu

Vrednosti labele (tj. vrednosti VPI i VCI polja) koje se dodeljuju vezi prilikom uspostave veze zavise od trenutno raspoloživih vrednosti koje ne koriste tekuće veze. Takođe, pojedine vrednosti VPI i VCI polja na UNI/NNI interfejsima nisu dozvoljene za korisničke ćelije jer se koriste za slanje signalizacionih ćelija, praznih ćelija i dr. U ITU-T I.361 preporuci je navedena lista takvih vrednosti za oba interfejsa (UNI i NNI). Na primer, prazna ćelija koja se formira na fizičkom sloju ima vrednosti VPI i VCI identifikatora postavljene na nulu. Prazna ćelija, inače, sva polja postavlja na vrednost 0, sem CLP bita kojeg postavlja na vrednost 1. HEC polje se, naravno, proračunava na fizičkom sloju.

Na osnovu strukture zaglavlja ćelije možemo uočiti da se korisni sadržaj ne štiti. Razlog je pretpostavka da se greške veoma retko dešavaju pošto su medijumi za prenos veoma pouzdani pa samim tim nema potrebe komplikovati mrežu dodavanjem mehanizama za zaštitu korisničkih

informacija, već se zaštita prebacuje na korisnika tj. na aplikacioni sloj (aplikacioni sloj sa stanovišta ATM mreže). Ako se, na primer, prenosi TCP/IP saobraćaj preko ATM mreže, tada bi TCP protokol bio odgovoran za pouzdan prenos.

Pošto korisnik može da generiše velik broj tokova (korisnik, ustvari, može da bude uređaj koji omogućuje povezivanje na ATM mrežu velikom broju korisnika), ATM sloj vrši multipleksiranje tih tokova na isti link na predajnoj strani, odnosno demultipleksiranje tokova na prijemnoj strani. Multipleksiranje/demultipleksiranje se postiže upotrebom VPI i VCI identifikatora kojima se jednoznačno identifikuju tokovi (slično portovima kod TCP i UDP protokola).

Funkcije kontrole zagušenja i kvaliteta servisa ćemo objasniti nešto kasnije.

1.3. ATM adaptacioni sloj

ATM adaptacioni sloj je neophodan da bi obezbedio aplikacijama, koje imaju različite zahteve u pogledu kvaliteta servisa, prilagođenje na isti (zajednički) ATM sloj. Naravno, postoji velik broj aplikacija koje imaju veće ili manje razlike u pogledu zahtevanog kvaliteta servisa i nije poželjno kreirati poseban standard tj. prilagođenje za svaku aplikaciju ponaosob. Stoga su definisane klase servisa tj. aplikacija i za svaku klasu je definisan poseban ATM adaptacioni sloj. Pošto broj klasa nije velik onda je bio moguć proces standardizacije ATM adaptacionog sloja čiji su tipovi (klase) opisani u I.363 seriji preporuka ITU-T organizacije. U tabeli 1.3.1 su prikazane klase servisa (aplikacija) sa njihovim zahtevima u pogledu kvaliteta servisa, i tipovi ATM adaptacionog sloja (*AAL - ATM Adaptation Layer*) koji su im dodeljeni.

Tabela 1.3.1 - Klase servisa i AAL tipovi

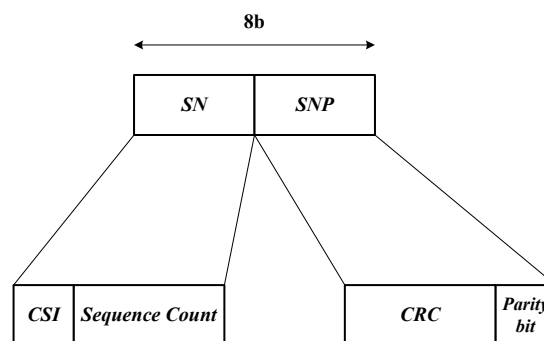
Klasa servisa	A	B	C	D
Vremenska osetljivost	Da	Da	Ne	Ne
Protok	Konstantan	Varijabilan	Varijabilan	Varijabilan
Način konekcije	Konekcioni (CO)	Konekcioni (CO)	Konekcioni (CO)	Nekonekcioni (CL)
AAL tip	AAL 1	AAL 2	AAL 3/4 i AAL5	AAL 3/4 i AAL5

U početku su AAL 3 i AAL 4 tipovi bili razdvojeni, ali pošto je uočena njihova velika međusobna sličnost oni su spojeni u AAL 3/4 tip. Takođe, uočeno je da je AAL 3/4 tip preterano kompleksan za većinu servisa koji su koristili njegove usluge prilagođenja, pa je razvijen AAL 5 tip, koji se u praksi češće koristi. Aplikacije, odnosno servisi u zavisnosti od svojih karakteristika se svrstavaju u jednu od navedene četiri klase i koriste usluge odgovarajućeg tipa ATM adaptacionog sloja. Može se primetiti da tabela 1.3.1 ne prikazuje sve moguće kombinacije navedenih karakteristika, što je i logično jer kombinacije koje nisu prikazane nemaju preteranog praktičnog smisla tj. ne postoje aplikacije sa takvim kombinacijama karakteristika. Na primer, servis koji predstavlja nekonekcioni servis i ima vremensku zavisnost informacija koje se šalju nema smisla jer čim je servis nekonekcioni takav servis inherentno ne može da ima vremensku zavisnost poslatih informacija (odnosno, ne može da očekuje da mreža može da mu obezbedi uslugu koja će održati vremensku zavisnost informacija jer se svaka informacija šalje ponaosob bez ikakve korelacije sa prethodnim i budućim informacijama sa stanovišta mreže).

AAL sloj se deli na dva podsloja - podsloj segmentacije i rekonstrukcije (SAR podsloj) i podsloj konvergencije (CS podsloj). Na predaji, SAR (*Segmentation And Reassembly*) podsloj je zadužen za segmentaciju korisničke informacije koju primi od CS podsloja na delove koji će se smestiti u korisni deo ćelije i te delove prosleđuje ATM sloju da bi ih on stavio u korisni deo ćelije. Na prijemu, SAR podsloj rekonstruiše originalnu korisničku informaciju na osnovu korisnih delova ćelija primljenih od ATM sloja. CS (*Convergence Sublayer*) podsloj vrši funkcije neophodne za postizanje željenog kvaliteta opsluživanja aplikacije. Na primer, proveru ispravnosti redosleda korisničkih informacija, ublažavanja varijacije kašnjenja i dr.

1.3.1. AAL 1

Kao što se vidi iz tabele 1.3.1, AAL 1 tip se koristi za opsluživanje aplikacija koje prenose vremenski zavisne informacije konstantnim protokom (na primer, govorni signal telefonskog razgovora), pri čemu je aplikacija CO tipa. AAL 1 obezbeđuje prosleđivanje podataka korisniku na prijemu istim protokom kao na predaji, prosleđivanje vremenskih informacija između korisnika, indikaciju o greškama koje nisu mogle biti ispravljene (izgubljeni podaci, podaci primljeni sa bitskim greškama), ublažavanje varijacije kašnjenja. AAL 1 tip je definisan u I.363.1 preporuci i tipična upotreba ovog tipa je emulacija kola (iz mreža baziranih na komutaciji kola), prenos audio ili video signala konstantnog protoka.



Slika 1.3.1.1. SAR zaglavlje za AAL 1 tip

SAR podsloj prima informacije od CS podsloja u vidu blokova dužine 47 bajtova (+ četiri bita koja predstavljaju SN polje u SAR zaglavlju). Na svaki blok od 47 bajtova, SAR podsloj dodaje SAR zaglavlje dužine jedan bajt. Ovih 48 bajtova potom prosleđuje ATM sloju za slanje u vidu ATM ćelije (tih 48 bajtova se smešta u korisni deo ćelije). Struktura SAR zaglavlja je prikazana na slici 1.3.1.1 i sastoji se od sledećih delova:

- *SN (Sequence Number)* - Definiše redni broj dela formiranog od informacije dobijene od CS podsloja. Ovo polje dužine 4 bita se sastoji se iz dva dela:
 - *CSI (Convergence Sublayer Indication)* - Preko CSI bita se omogućava slanje indikacije između CS podslojeva.
 - *Redni broj (Sequence Count Field)* - Predstavlja redni broj formiranog segmenta (koji će se staviti u korisni deo ATM ćelije). Početna vrednost je 0 i potom se inkrementira vrednost po modulu 8. Ova vrednost se takođe dobija sa CS podsloja i prosleđuje se na prijemu CS podsloju.

- *SNP (Sequence Number Protection)* - Ovo polje dužine 4 bita se koristi za zaštitu SN polja po CRC principu. Generišući polinom je x^3+x+1 . Takođe, dodaje se i bit parnosti na SN polje i proračunatu CRC vrednost. SNP polje se sastoji iz:
 - *CRC* - Ovo polje dužine tri bita sadrži ostatak deljenja SN polja (pomnoženog sa x^3) generišućim polinomom.
 - *Bit parnosti (Parity Bit)* - Bit parnosti koji se dodaje tako da ukupan broj jedinica SAR zaglavlja bude paran.

SAR podsloj na prijemnom delu za proveru ispravnosti koristi isti princip kao fizički sloj, tj. definiše dva stanja - stanje korekcije i stanje detekcije kao na slici 1.1.2.1. Primitivni podaci se uvek prosleđuju CS podsloju (sem SNP polja), i uz njih se prosleđuje indikacija da li je SN polje ispravno ili ne. U stanju korekcije se u slučaju da nema grešaka signalizira CS podsloju ispravnost prosleđenog SN polja. Ako se detektuje greška ona se ispravlja ako je samo jedan bit pogrešan (slučaj CRC neispravan, bit parnosti neispravan (greška se desila u SN polju ili u CRC polju - teoretski je moguće i da se desio neparan broj grešaka veći od jedan, ali je verovatnoća tog događaja znatno manja) ili slučaj CRC ispravan, bit parnosti neispravan (bit parnosti je primitiv sa pogrešnom vrednošću)), u suprotnom se greška ne ispravlja (slučaj CRC neispravan, bit parnosti ispravan - došlo je do parnog broja grešaka u SAR zaglavlju). Ako je greška ispravljena signalizira se ispravnost prosleđenog SN polja, u suprotnom se signalizira da je prosleđeno SN polje nevalidno. Takođe, prelazi se u stanje detekcije. U stanju detekcije sve detektovane greške kao posledicu imaju signaliziranje nevalidne vrednosti SN polja, pri čemu se ostaje u stanju detekcije. Ukoliko obe provere (CRC i proveru parnosti) budu ispravne, tada se signalizira validna vrednost SN polja i vraća se u stanje korekcije.

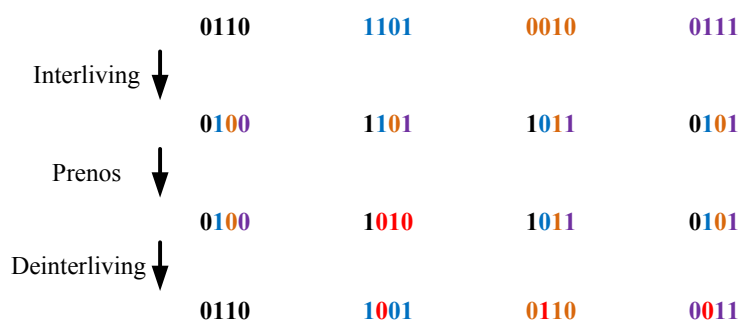
CS podsloj može da obavlja sledeće funkcije:

- Kreiranje blokova informacija (dužine 47 bajtova) koji će se prosleđivati SAR podsloju (predajna strana) i prijem blokova informacija od SAR podsloja i njihovo spajanje u originalnu informaciju koja će se proslediti aplikacionom sloju tj. korisniku (prijemna strana).
- Umanjivanje varijacije kašnjenja na prijemu koje nastaje usled razlika u kašnjenjima ćelija pri prolasku kroz ATM mrežu.
- Procesiranje vrednosti SN polja primitivnog od SAR podsloja radi detekcije izgubljenih delova informacije ili delova primitivnih u pogrešnom redosledu.
- Rekonstrukcija takta izvora sa predajne strane (rekonstrukcija se obavlja na prijemnoj strani).
- Prenos informacije o strukturi podataka korisnika.
- Korekcija grešaka u korisničkoj informaciji.
- Generisanje izveštaja o radu CS podsloja koji može da sadrži informacije o greškama u prenosu (izgubljene ćelije, pogrešan redosled ćelija), o stanju bafera koji se koristi za umanjivanje varijacije kašnjenja (bafer se prepunio, bafer se ispraznio), bitskim greškama.

Koje od navedenih funkcija će CS podsloj da obavlja zavisi od potreba same aplikacije koju CS podsloj opslužuje. Na primer, ako su i predajna i prijemna strana deo iste

sinhronizacione mreže i time oba korisnika sinhronizovana na isti izvor takta (koji se dobija iz sinhronizacione mreže) tada se na prijemnoj strani ne mora vršiti rekonstrukcija takta izvora sa predajne strane.

CS podsloj prima podatke od aplikacionog sloja i od njih formira blokove dužine 47 bajtova i te blokove zajedno sa rednim brojevima tih blokova (koji će se staviti u SN polje) prosleđuje SAR podsloju za pripremu na slanje preko ATM sloja, odnosno ATM mreže. CS podsloj prosleđuje SAR podsloju i vrednost CSI bita iz SN polja (ako se ovaj bit ne koristi postavlja se na vrednost 0). Pri tome, ako se ne koristi interliving tehnika, formirani blokovi se prosleđuju sekvencijalno jedan za drugim SAR podsloju. Ako se koristi interliving tehnika tada se vrši interliving blokova tako da se u bloku koji se prosleđuje SAR podsloju nalazi učešljan sadržaj više originalnih blokova. Odnosno od grupe originalnih blokova je dobijena grupa učešljanih blokova gde svaki sadrži po deo od svakog originalnog bloka iz početne grupe. Ideja interliving tehnike je da smanji efekat bursta grešaka. Kao što znamo FEC (*Forward Error Correction*) metode mogu ispraviti mali broj grešaka, tipično samo jednobitske greške, pa ako se dogodi burst grešaka nije moguće ispraviti te greške. Međutim, ako se uradi interliving, burst grešaka pogađa ustvari različite originalne blokove, pa kad se na prijemu izvrši deinterliving i dobiju originalni blokovi, dobijamo raščešljavanje bursta grešaka na originalne blokove, pa se gledajući originalne blokove ponaosob dobija da oni sadrže mali broj grešaka koje zatim FEC metode mogu ispraviti. Na prijemu, CS podsloj rekonstruiše originalne podatke koje vraća korisniku tj. aplikacionom sloju. Ako je korišćen interliving (učešljavanje) na predaji, tada se vrši deinterliving (raščešljavanje) na prijemu. Generalna ideja interlivinga je prikazana na slici 1.3.1.2. Crvenom bojom su označene greške u prenosu. U primeru je prikazan prenos blokova dužine 4 bita, gde je izvršen interliving na nivou bita, tj. učešljani su biti. Kao što se vidi, u prenosu je u jednom bloku došlo do greške na tri bita. Nakon deinterlivinga, greške su raščešljane pa imamo tri bloka sa po jednom greškom što je i bio cilj interlivinga. Razmera učešljavanja se određuje na osnovu očekivane maksimalne dužine bursta grešaka, tako da se raščešljavanjem i u tom najgorem slučaju dobiju blokovi sa brojem grešaka koji se može korigovati FEC metodom. Ako bi se desilo da burst bude duži od dužine za koju je projektovan interliving, tada će neki raščešljani blokovi sadržati greške koje se neće moći ispraviti.



Slika 1.3.1.2. Primer interlivinga

Ukoliko se vrši korekcija bitskih grešaka u korisnom sadržaju ITU-T I.363.1 standard predlaže upotrebu Reed-Solomonovog koda (128,124) koji može da ispravi do dva pogrešna bajta. Tada se formira tzv. FEC okvir koji se sastoji od 128 bajtova, pri čemu su poslednja 4 bajta zaštitni bajtovi. 47 FEC okvira čine jedan FEC blok. CSI bit se koristi za označavanje početka FEC bloka. Razlog ovakve strukture je posledica dužine od 128 bajtova zbog upotrebe Reed-Solomonovog koda (128,124) i činjenice da se SAR podsloju prosleđuju blokovi od 47

bajtova dužine, pa je neophodno označiti prijemnoj strani početak FEC bloka da bi mogla korektno da vrši dekodiranje. Pošto 128 i 47 nemaju zajednički delilac, veličina FEC bloka je morala da bude 128x47 bajtova. CSI bit se u prvoj ćeliji FEC bloka postavlja na vrednost 1, a u svim ostalim ćelijama FEC bloka na vrednost 0, čime se na jednostavan način šalje indikacija suprotnoj strani gde počinje FEC blok. Pošto ovaj predloženi kod ispravlja greške na nivou bajta, interliving se radi na nivou bajtova (učešljavanje se vrši na nivou bajtova) - interliving se koristi da bi se poboljšala otpornost na burstove grešaka.

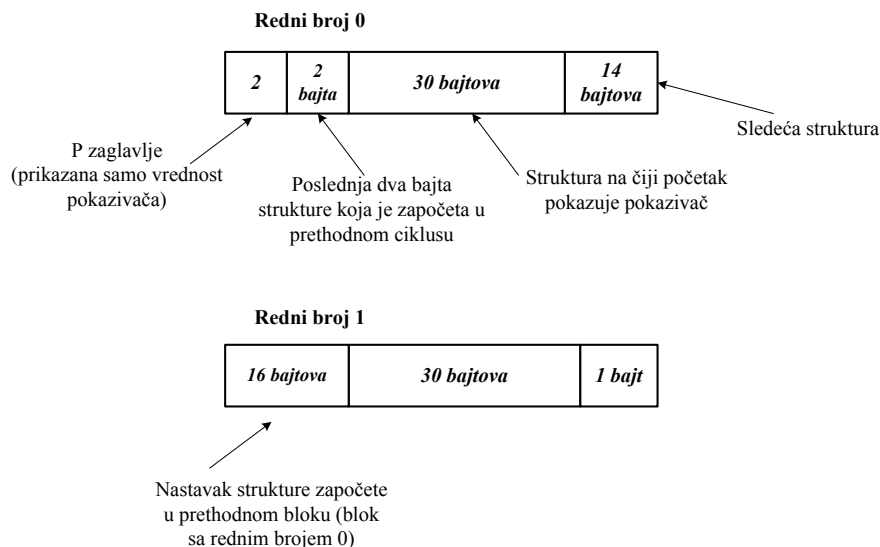
Obradom vrednosti rednih brojeva iz SN polja se detektuju izgubljene ćelije, kao i ćelije primljene u pogrešnom redosledu. Dodatnim procesiranjem se mogu ublažiti greške, a takođe u slučaju izgubljenih ćelija se može generisati *dummy* sadržaj korisniku radi održavanja konstantnog protoka (naravno, korisniku se signalizira da je u pitanju *dummy* sadržaj). Takođe, kao rezultat procesiranja se mogu generisati izveštaji o broju i procentu izgubljenih ćelija i sl. Detalji oko procesiranja vrednosti rednih brojeva se mogu naći u I.363.1 preporuci.

Varijacije kašnjenja se javljaju usled različitih kašnjenja ćelija pri prolasku kroz ATM mrežu, a koje se dešavaju usled različitih uticaja, pre svega zbog čekanja u redovima čekanja u ATM svičevima (vreme čekanja zavisi od trenutne popunjenosti reda za čekanje, ali i od vremena čekanja na obavljanje komutacije koje zavisi od arhitekture komutatora u ATM sviču i trenutnog stanja u redovima za čekanje). Stoga se u CS podsloju implementiraju baferi koji treba da omoguće apsorpciju varijacije kašnjenja na prijemu tako da se prosleđuju podaci korisniku bez varijacije kašnjenja. Bafer se popunjava do izvesne granice kada počinju da se prosleđuju podaci korisniku. Ako bafer uvek ima podatke, varijacija kašnjenja će biti značajno umanjena pa je zato bitno da se bafer ne isprazni. Takođe je bitno i da se bafer ne prepuni jer tada dolazi do gubitaka korisničkih podataka na prijemnoj strani. Ovaj bafer se često naziva i *payout* bafer.

Ukoliko predajna i prijemna strana nisu sinhronizovane na isti takt, neophodno je preneti informaciju o taktu predajne strane tako da prijemna strana može rekonstruisati takt kojim su generisani podaci na predaji i da ih tim rekonstruisanim taktom pušta korisniku. Postoje dva metoda za rekonstrukciju takta - adaptivna metoda i SRTS (*Synchronous Residual Time Stamp*) metoda. Obe metode su detaljno opisane u I.363.1 preporuci. Adaptivna metoda se zasniva na merenju popunjenosti bafera. Naime, na prijemnoj strani se podaci upisuju u bafer kako pristignu. Lokalni taktom se iščitavaju podaci i prosleđuju korisniku. Ako bafer krene da se prazni, znači da je lokalni takt previše brz, pa mu treba smanjiti frekvenciju. Ako bafer krene da se prepunjava, znači da je lokalni takt previše spor, pa mu treba povećati frekvenciju. Na ovaj način se vrši dinamička adaptacija vrednosti lokalnog takta i vrednost tog lokalnog takta bi trebala da varira oko vrednosti takta sa predajne strane. U slučaju SRTS metode se podrazumeva da su predajna i prijemna strana deo iste sinhronizacije mreže i da su sinhronizovane na isti takt tj. da primaju isti referentni takt. Međutim, predajna strana tj. korisnik šalje informacije koristeći svoj lokalni takt koji nije sinhron sa referentnim taktom. Otuda, predajna strana šalje razliku svog lokalnog takta u odnosu na referentni takt, pa prijemna strana formira svoj lokalni takt na osnovu te primljene informacije (a to je moguće jer i prijemna strana prima isti referentni takt pa može da primeni tu primljenu razliku i formira lokalni takt koji će biti 'isti' kao lokalni takt na predajnoj strani - generisani takt na prijemnoj strani će se malo razlikovati u odnosu na takt sa predajne strane usled više uticaja (na primer, kodirana razlika nije 100% tačna usled upotrebe diskretnih vrednosti) pa otuda navodnici). Razlika se šalje koristeći CSI bit.

Nekada korisnik želi da mu se vrati informacija strukturirana u obliku u kojem ju je prosledio AAL sloju. Na primer, ako je prosledio informaciju u vidu poruka, tada želi da se na

prijemnoj strani prosleđuju poruke, a ne nestrukturirani niz bajtova. Da bi se očuvala originalna struktura, CS pod sloj vrši prenos informacije o strukturi tako da prijemna strana može da rekonstruiše originalnu strukturu podataka. Ograničenje je da dužina strukture mora biti konstantna, što je u suštini posledica toga da aplikacija zahteva konstantan protok i tada je najčešće struktura periodična i uvek iste veličine. Očuvanje strukture se tipično koristi u emulaciji kola. Ako se koristi prenos informacije o strukturi, tada se razlikuju P format bloka i ne P format bloka koji se prosleđuju SAR podsloju. U slučaju ne P formata, blok je isti kao i kad se ne prenosi informacija o strukturi. Ovaj format se obavezno koristi u slučajevima kad je redni broj bloka neparan (redni broj koji će se staviti u SN polje SAR zaglavlja). P format se može koristiti samo u slučajevima kada je redni broj bloka paran. Pri tome, u jednom ciklusu rednih brojeva (0 do 7) dozvoljeno je da samo jedan blok bude u P formatu (svi ostali su u ne P formatu). P format kreira blok od P zaglavlja + 46 bajtova korisničkih podataka, pri čemu je P zaglavlje dužine 1 bajt. P zaglavlje sadrži bit parnosti i sedmobitni pokazivač. Bit parnosti se postavlja na vrednost tako da čitavo P zaglavlje ima paran broj jedinica. Pokazivač pokazuje na početak jedne strukture (pokazivač predstavlja ofset strukture u bajtovima u odnosu na P zaglavlje). Ostale strukture se mogu rekonstruisati na osnovu činjenice da je struktura uvek iste veličine. Pokazivač može imati vrednost od 0 do 92, čime se ukazuje na činjenicu da struktura počinje u dotičnom bloku ili sledećem bloku. Vrednost 93 ukazuje da se tekuća struktura završava na kraju narednog bloka. Vrednost 127 označava da ne postoji početak strukture u tekućem ciklusu rednih brojeva. Pravila za upotrebu P formata nalažu da se P format postavi u prvom bloku unutar ciklusa u kome može da se signalizira početak nove strukture (da pokazivač ima vrednost u granicama 0 do 93). Ako u čitavom ciklusu nema nove strukture niti se tekuća struktura završava na samom kraju poslednjeg bloka ciklusa, P format se koristi u poslednjem bloku ciklusa sa parnim rednim brojem i u njemu se pokazivač postavlja na vrednost 127. Da bi se ukazalo da se za blok koristi P struktura, CSI bit se postavlja na vrednost 1. Primer strukturiranja je prikazan na slici 1.3.1.3.



Slika 1.3.1.3. Primer strukturiranja

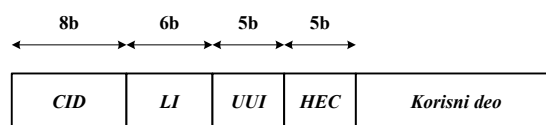
U datom primeru, početak strukture se već nalazi u početku novog ciklusa, pa se odmah u tom bloku koristi P struktura. Pokazivač pokazuje na ofset od dva bajta, što znači da su prva dva bajta nakon P zaglavlja završetak strukture započete u prethodnom ciklusu. Nakon ta dva bajta

sledi struktura na koju ukazuje pokazivač iz P zaglavlja. U primeru je uzeto da je struktura veličine 30 bajtova. Stoga sledeća struktura smešta samo prvih 14 bajtova u bloku sa rednim brojem 0, odnosno 16 bajtova u bloku sa rednim brojem 1. Po istom principu se ređaju sledeće strukture. Očigledno, u datom primeru P struktura bi se uvek koristila u bloku sa rednim brojem 0, jer je struktura dužine 30 bajtova, pa bi u prvom bloku ciklusa (blok sa rednim brojem 0) uvek postojao početak nove strukture. U slučaju veoma dugačkih struktura koje prevazilaze broj bajtova koji su na raspolaganju unutar ciklusa (8x47-1 bajtova) bi u pojedinim ciklusima bila korišćena vrednost pokazivača 127 (ciklusi u kojima ne počinje nova struktura, niti završava tekuća) koja bi se stavljala u blok sa rednim brojem 6. U većini slučajeva ciklus počinje blokom sa rednim brojem 0, (poslednji blok je tada blok sa rednim brojem 7), što je i korišćeno u ovom objašnjenju primera, ali ciklus može da počne i od nekog drugog rednog broja (na primer, ciklus 4,5,6,7,0,1,2,3).

1.3.2. AAL 2

AAL 2 tip je razvijen za opsluživanje aplikacija koje su vremenski osetljive i imaju mali protok koji je varijabilan, pri čemu AAL 2 tip omogućava multipleksiranje većeg broja tokova u jednu ATM vezu. Na prijemu se vrši demultipleksiranje u originalne individualne tokove koji se prosleđuju korisnicima. Tipičan primer aplikacije je prenos telefonskih razgovora iz mobilne telefonije. AAL 2 tip je definisan ITU-T I.363.2 standardu.

U AAL 2 tipu se koriste SSCS (*Service Specific Convergence Sublayer*) i CPS (*Common Part Sublayer*) podslojevi (u suštini se može smatrati da je CS podsloj podeljen na SSCS i CPS podslojeve i da nema SAR podsloja). SSCS podsloj je zadužen za prijem podataka od korisnika (aplikacionog sloja) i prosleđivanje tih podataka CPS podsloju u vidu tzv. CPS paketa. Pri tome, način prosleđivanja sa stanovišta kada se šalju CPS paketi zavisi od tipa aplikacije koja se opslužuje. Svakoj aplikaciji koja se opslužuje je dodeljen njen SSCS podsloj (tj. resursi su definisani samo za tu aplikaciju). CPS podsloj vrši prijem paketa od SSCS podslojeva i vrši multipleksiranje tih paketa za prenos preko zajedničke ATM veze. Na prijemnoj strani, CPS podsloj vrši demultipleksiranje pa prosleđuje CPS pakete odgovarajućim SSCS podslojevima, a potom SSCS podslojevi šalju te podatke svojim korisnicima.



Slika 1.3.2.1. Struktura CPS paketa

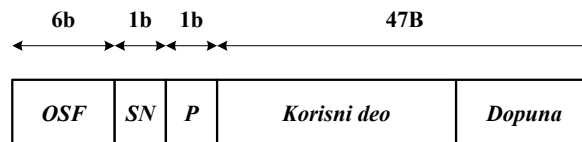
Struktura CPS paketa je prikazana na slici 1.3.2.1. CPS paket se sastoji iz sledećih delova:

- *CID (Channel Identifier)* - Ovo polje predstavlja identifikaciju korisnika CPS podsloja. Korisnik CPS podsloja je SSCS podsloj ili AAL 2 menadžment sloj. AAL 2 menadžment sloj je zadužen za kreiranje kanala (dodavanje novog toka u multipleks), raskidanje kanala (uklanjanje toka iz multipleksa) i za izveštavanje o statusu kanala. CID ne sme imati vrednost 0, a vrednosti 1 do 7 su rezervisane, pa su tako na raspolaganju vrednosti 8 do 255. Na osnovu ovog polja CPS podsloj na prijemu zna kome treba proslediti primljeni CPS paket.
- *LI (Length Indicator)* - Predstavlja dužinu korisnog dela u bajtovima umanjenu za 1 (ako je dužina korisnog dela 25 bajtova, tada je LI = 24). Po difoltu maksimalna

dužina korisnog dela je 45 bajtova, ali se ona može promeniti prilikom kreiranja tj. uspostave kanala (maksimalna ostvariva dužina je 64 bajta). Maksimalna dužina je važeća na nivou kanala tj. na nivou istog CID identifikatora. Dva različita kanala (različite CID vrednosti) mogu imati različito podešenu maksimalnu dužinu.

- *UUI (User-to-User Indication)* - UUI polje se može koristiti za transparentan prenos informacija između korisnika CPS podsloja (koji se nalaze na krajevima istog CID kanala), a takođe se koristi i za razlikovanje korisnika CPS podsloja (SSCS podsloj ili AAL 2 menadžment sloj), pošto vrednosti 30-31 sme koristiti AAL 2 menadžment sloj, a vrednosti 0-27 SSCS podsloj. Vrednosti 28-29 su rezervisane za buduću upotrebu.
- *HEC (Header Error Control)* - Ovo polje predstavlja zaštitu (tj detekciju grešaka) zaglavlja CPS paketa u koje spadaju (CID, LI i UUI polja zajedno sa HEC poljem). Koristi se CRC zaštita sa generišućim polinomom x^5+x^2+1 . Ako sa $M(x)$ označimo sadržaj CID, LI i UUI polja, tada se vrednost HEC polja dobija kao ostatak deljenja $M(x) \cdot x^{19}$ generišućim polinomom.
- *Korisni deo* - U korisni deo CPS paketa se stavljaju podaci dobijeni od korisnika tj. aplikacionog sloja.

SSCS podsloj dobija podatke od korisnika i pakuje ih u CPS pakete. U odgovarajućim vremenskim trenucima (koji zavise od tipa aplikacije koja se opslužuje) SSCS podsloj prosleđuje CPS paket. CPS podsloj prima CPS pakete od svih SSCS podslojeva tj. od svih kanala koji se multipleksiraju na istu ATM vezu. CPS podsloj pakuje ove pakete u tzv. CPS-PDU jedinice koje predstavljaju koristan sadržaj ATM ćelije za ATM sloj. CPS-PDU jedinica je prikazana na slici 1.3.2.2. Kao što se vidi, CPS-PDU jedinica je dužine 48 bajtova.



Slika 1.3.2.2. Struktura CPS-PDU jedinice

CPS-PDU jedinica na početku sadrži tzv. startno polje (*STF - Start Field*). *OSF (Offset Field)* predstavlja početak CPS paketa u CPS-PDU jedinici (ako ima više CPS paketa, ovo polje se odnosi na prvi početak CPS paketa). *OSF* polje olakšava ekstrakciju CPS paketa iz CPS-PDU jedinice. Naime, na početku korisnog dela CPS-PDU jedinice može da se nalazi završetak CPS paketa čiji početni deo se nalazi u prethodnoj CPS-PDU jedinici. Ako bi došlo do gubitka ove prethodne CPS-PDU jedinice, ne bi mogla da se odredi dužina CPS paketa, pa samim tim se ne bi znalo gde završava CPS paket i time bi bila onemogućena ekstrakcija CPS paketa. Otuda je *OSF* polje značajno za efikasnu ekstrakciju CPS paketa. *SN (Sequence Number)* polje predstavlja redni broj CPS-PDU jedinice (redni broj je 0 ili 1). *P (Parity)* bit je bit parnosti koji služi za detekciju grešaka u startnom polju. *Korisni deo* sadrži CPS pakete. Ukoliko CPS-PDU jedinica ne može da se popuni do kraja, na kraj se stavlja dopuna (*Padding*) u kojoj su svi bajtovi postavljeni na vrednost 0 (otuda je zabranjena CID vrednost 0 jer se time lako detektuje prisustvo dopune u CPS-PDU jedinici). Ako je *OSF* vrednost postavljena na 47 tada u dotičnoj

CPS-PDU jedinici ne započinje nijedan CPS paket (ova situacija je moguća ako se CPS paket proteže na tri CPS-PDU jedinice što je moguće ako je, na primer, CPS paket dužine 64 bajta).

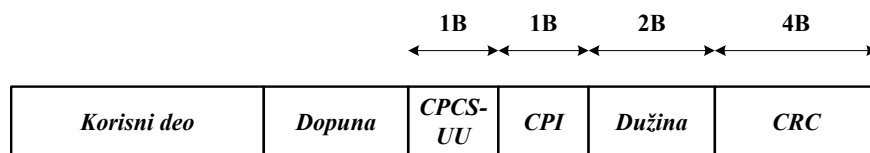
CPS-PDU jedinica se šalje ATM sloju koji je smešta u korisni deo ATM ćelije. Na prijemu, CPS podsloj vrši ekstrakciju CPS paketa koje na osnovu CID vrednosti i UUI vrednosti prosleđuje odgovarajućem SSCS podsloju i AAL 2 sloju menadžmenta (na osnovu UUI vrednosti CPS podsloj zna da li je u pitanju SSCS podsloj ili AAL 2 sloj menadžmenta). SSCS podsloj potom prosleđuje korisni deo iz CPS paketa svom korisniku.

1.3.3. AAL 5

AAL 5 tip je namenjen prenosu korisničkih podataka (neosetljivih na kašnjenje), pri čemu se čuva redosled podataka i detektuju se i prijavljuju greške u prenosu. Istu namenu ima i AAL 3/4 tip, ali je komplikovaniji, pa se u praksi koristi jednostavniji AAL 5 tip (otuda nismo opisivali AAL 3/4 tip). AAL 5 tip je definisan ITU-T I.363.5 standardu.

AAL 5 tip sadrži CS i SAR podslojeve, pri čemu je CS podsloj dodatno podeljen na CPCS (*Common Part CS*) i SSCS (*Service Specific CS*) podslojeve koji su ekvivalentni CPS i SSCS podslojevima AAL 2 tipa.

SAR podsloj prima podatke od CPCS podsloja u vidu blokova čija je dužina umnožak 48 bajtova. Blokovi se nazivaju CPCS-PDU jedinicama. SAR podsloj razbija CPCS-PDU jedinice na celine dužine od 48 bajtova koje se prosleđuju ATM sloju na smeštanje u korisni deo ATM ćelije. SAR podsloj koristi AUU (*ATM-User-to-ATM-User indication*) bit iz PTI polja (to je najniži bit u PTI polju što se može zaključiti i iz tabele 1.2.1) u zaglavlju ATM ćelije za signaliziranje suprotnom kraju da dotična ATM ćelija nosi poslednji deo CPCS-PDU jedinice dobijene od CPCS podsloja. Na prijemnoj strani, SAR podsloj rekonstruisanu CPCS-PDU jedinicu prosleđuje CPCS podsloju.



Slika 1.3.3.1. Struktura CPCS-PDU jedinice

Struktura CPCS-PDU jedinice je prikazana na slici 1.3.3.1. CPCS-PDU jedinica se sastoji od:

- *Korisni deo* - Ovaj deo sadrži podatke dobijene od SSCS podsloja.
- *Dopuna* - Dopuna korisnog dela tako da dužina CPCS-PDU jedinice bude umnožak od 48 bajtova. Stoga se dužina dopune kreće u granicama 0 do 47 bajtova.
- *CPCS-UU (CPCS User-to-User Indication)* - Preko ovog polja CPCS slojevi mogu međusobno da razmenjuju informacije.
- *CPI (Common Part Indicator)* - Trenutna funkcija ovog polja je da obezbedi da zaleđe (*trailer*) CPCS-PDU jedinice bude dužine 8 bajtova. Potencijalno se ovo polje može koristiti za označavanje poruke koju je generisao AAL 5 menadžment sloj.

- *Dužina (Length)* - Ovo polje predstavlja dužinu korisnog dela u bajtovima.
- CRC - Ovo polje predstavlja CRC polje dužine 32 bita koje se koristi za detekciju bitskih grešaka u prenosu. Koristi se generišući polinom $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$. CRC zaštita se primenjuje na kompletnu CPCS-PDU jedinicu (korisni deo, dopuna, CPCS-UU, CPI i dužinu).

Postupak za računanje vrednosti CRC polja je sledeći:

- 1) Deo koji se štiti (korisni deo, dopuna, CPCS-UU, CPI i dužina) se pomera za 32 mesta ulevo, pri čemu se upražnjenih 32 mesta popunjava nulama.
- 2) Zatim se najviših 32 bita invertuje (0 u 1 i obrnuto).
- 3) Vršiti se deljenje generišućim polinomom.
- 4) Dobijeni ostatak se invertuje i stavlja u CRC polje.

Jedna moguća varijanta na prijemu je da se opisani postupak ponovi i potom dobijena vrednost poredi sa primljenim CRC poljem. Ako se vrednosti poklapaju onda se smatra da je prenos bio bez grešaka, u suprotnom je prenos bio sa greškama koje su detektovane. Druga varijanta je ponavljanje opisanog postupka, ali uzimajući i CRC polje u obzir, tj. u koraku 1) se uzima i CRC polje. Ukoliko je rezultujući neinvertovani ostatak deljenja generišućim polinomom (ne radi se korak 4) jednak 11000111000001001101110101111011 tada nije bilo grešaka u prenosu, a u suprotnom je bilo grešaka u prenosu koje su i detektovane.

CPCS podsloj podržava striming mod rada kao i mod za prenos poruka. U striming modu CPCS podsloj prima od SSCS podsloja sadržaj korisnog dela CPCS-PDU jedinice u više delova, pri čemu je moguće započeti slanje CPCS-PDU jedinice i dok nije primljen kompletan sadržaj korisnog dela (otuda i naziv striming). U modu za prenos poruka SSCS podsloj prosleđuje odjednom (u jednoj celini) kompletan sadržaj korisnog dela CPCS-PDU jedinice. Na prijemu, kada se primi CPCS-PDU jedinica, koristan deo se prosleđuje SSCS podsloju. U slučaju grešaka u CPCS-PDU jedinicama, one se mogu odbaciti ili proslediti SSCS podsloju sa indikacijom da postoje greške (koja opcija će se primeniti zavisi od upotrebljenog SSCS podsloja tj. servisa koji se opslužuje).

Sam SSCS podsloj nije detaljno opisan u ITU-T I.363.5 standardu. SSCS podsloj prima podatke od korisnika i eventualno dodaje zaglavlje podacima i tako formirane celine prosleđuje CPCS podsloju. Na prijemu, primljene podatke dobijene od CPCS podsloja prosleđuje korisniku (nakon uklanjanja eventualnog zaglavlja).

1.4. Kvalitet servisa

Kao što je već ranije rečeno, ATM mreže su kreirane tako da obezbede podršku za kvalitet servisa korisnicima. Međutim, da bi se obezbedio kvalitet servisa potrebno je definisati parametre na osnovu kojih će se procenjivati postignuti kvalitet servisa, odnosno pomoću kojih će korisnici definisati ATM mreži kakav nivo kvaliteta servisa žele. Ali, nije dovoljno samo posmatrati parametre kvaliteta servisa u mehanizmu obezbeđivanja kvaliteta servisa, već se moraju posmatrati i parametri koji opisuju saobraćaj koji generiše korisnik. Na primer, ako bi svi korisnici generisali konstantan protok, tada bi mreži bilo jednostavno utvrditi da li postoji dovoljno kapaciteta u mreži za njihovo opsluživanje jer je ukupan protok korisnika na jednom

linku jednak zbiru pojedinačnih protoka. Međutim, ukoliko je protok varijabilan, tada mreža može da proveri da li ima dovoljno kapaciteta na osnovu posmatranja vršnih protoka na isti način kao u slučaju konstantnih protoka. Ali, ovakav pristup bi doveo do slabijeg iskorišćenja kapaciteta mreže jer bi korisnici u proseku slali manjim protocima, i iskorišćenje bi bilo slabije što je prosečan protok niži od vršnog protoka. Očigledno je iz ovog jednostavnog primera da je bitno opisati i karakteristike saobraćaja koji generiše korisnik da bi mreža mogla kvalitetno da opsluži protok i optimalno rezerviše resurse u mreži da bi se postigao željeni kvalitet servisa, a da se pri tome ne naruši kvalitet servisa tekućih veza.

1.4.1. Saobraćajni parametri

U ATM mrežama postoji više saobraćajnih parametara koji se mogu posmatrati, a koji parametri će se koristiti u konkretnoj situaciji zavisi od tipa servisa (aplikacije), kao i od toga koje parametre podržava konkretna implementacija ATM mreže. Definišu se sledeći saobraćajni parametri:

- **Vršni protok ćelija** (*PCR - Peak Cell Rate*) - Predstavlja gornju granicu protoka saobraćaja koji korisnik može da pošalje mreži, pri čemu se protok izražava u ATM ćelijama po sekundi. Razlog za korišćenje jedinice ćelije po sekundi potiče od toga što ekvivalentan protok u korisničkim bitima zavisi od upotrebljenog AAL tipa, pa je onda uniformnije posmatrati protok ćelija. Uostalom, ćelije su te koje i stižu mrežu. U I.371 preporuci je definisano da se vršni protok posmatra kao minimalni vremenski razmak između dve susedne korisničke ćelije. U istoj preporuci je definisan diskretan skup od 16384 mogućih vrednosti vršnog protoka koji se kreće u granicama od 1 ćelija/s do 4.29077 Gćelija/s. Diskretan skup je definisan da bi bilo moguće pregovarati ovaj parametar sa mrežom (koristi se 14 bita za opis ovog parametra). I.371 definiše da je ovaj parametar obavezan prilikom pregovaranja sa mrežom u toku uspostave veze. Format PCR protoka je (jedinica PCR protoka je ćelije po sekundi):

$$PCR = [2^m(1+k/512)] \quad (1.4.1.1)$$

$$m \in [0,31], k \in [0,511]$$

- **Najveći prosečni protok ćelija** (*SCR - Sustained Cell Rate*) - Naziv ovog parametra je pomalo zbunjujući i ovaj parametar predstavlja gornju granicu prosečnog protoka ćelija (i ovaj parametar se izražava u ćelijama po sekundi). Naime, ne posmatra se prosečni protok ćelija kao saobraćajni parametar. Umesto toga, definiše se interval posmatranja T . Vrednost ovog intervala nije standardizovana, ali se tipično koristi vrednost od 1s. Na primer, ako bi veza trajala $70T$, tada bi imali 70 tačaka posmatranja. U svakoj tački bi izmerili koliko ćelija je generisao korisnik i u svakom intervalu bi stoga našli prosečan protok ćelija dotičnog intervala (N_i/T gde je N_i broj generisanih ćelija u intervalu i). Maksimalna vrednost prosečnog protoka posmatrajući sve tačke posmatranja bi predstavljala najveći prosečni protok ćelija tj. SCR parametar. Naravno, prilikom uspostave veze tj. pregovaranja korisnik šalje SCR parametar (ako se šalje SCR parametar) koji procenjuje na osnovu saobraćaja koji će generisati tj. na osnovu tipa aplikacije koji koristi. Korisnik ako poštuje postignuti dogovor, ne bi smeo ni u jednom intervalu posmatranja T tokom veze da generiše prosečan protok veći od SCR. SCR bi trebao da se nalazi u granicama između prosečnog i vršnog protoka

ćelija tj. ne može biti manji od prosečnog protoka ćelija, a ni veći od vršnog protoka ćelija.

- **Maksimalna veličina bursta** (*MBS - Maximum Burst Size*) - Ovaj parametar se izražava u ćelijama. Predstavlja maksimalan broj ćelija koje se šalju kontinualno jedna za drugom (*back-to-back*) na vršnom protoku. *Bursty* saobraćaj je karakterističan po tome da se generiše u naletima. Naime, nakon duže pauze, sledi intezivno slanje podataka, koju sledi ponovo duža pauza, nakon koje opet ide intezivno slanje podataka itd. Što je duži period pauze i što je intezivnije slanje za vreme aktivnog perioda to je izvor više *bursty*. *Bursty* saobraćaj može da izazove povećanje gubitaka ćelija u mreži usled prepunjenja bafera u pojedinim mrežnim čvorovima, pa je stoga bitno opisati *bursty* prirodu izvora saobraćaja (na primer, na osnovu ovog parametra čvorovi mogu bolje da procene koliki im bafer treba za dotični tok).
- **Tolerancija na varijaciju kašnjenja ćelija** (*CDVT - Cell Delay Variation Tolerance*) - Za razliku od prethodna tri parametra koji predstavljaju opis izvora saobraćaja i koje definiše korisnik (preciznije nudi korisnik i pregovara njihove vrednosti sa mrežom), ovaj parametar definiše mreža tj. tipično administrator konfiguriše vrednost ovog parametra koja će se koristiti u mreži. Razlog je što ovaj parametar reflektuje uticaj multipleksiranja više tokova na ATM sloju (drugi korisnički tokovi, signalizacione ćelije, ćelija za nadgledanje) pored korisničkog toka za koji se uspostavlja veza. Naime, korisnik definisanjem vršnog protoka ćelija, definiše i minimalan interval između dve uzastopne ćelije, ali i pored toga što korisnik poštuje taj minimalan interval, može se desiti da usled multipleksiranja više tokova na ATM sloju, dođe do narušavanja intervala između dve uzastopne ćelije. Nije problem ako se interval poveća, ali jeste ako se smanji ispod minimalne granice koja je dogovorena na osnovu vršnog protoka. Mreža može pogrešno smatrati da je korisnik narušio dogovor i stoga odbaciti takvu ćeliju. Da se to ne bi desilo definiše se CDVT parametar, koji je u suštini najviše zavisn od broja tokova koji se multipleksiraju, a pošto broj tokova može da varira tokom vremena, pri čemu treba uzeti u obzir i signalizacione ćelije i menadžment ćelije, tipično administrator konfiguriše CDVT parametar koji će se koristiti u svim vezama (ili konfiguriše način njegovog jednostavnog izračunavanja na osnovu drugih parametara). CDVT parametar se koristi u GCRA (*Generic Cell Rate Algorithm*) algoritmu kojim se analizira da li korisnik poštuje dogovorene parametre prenosa i koji će biti objašnjen nešto kasnije.

1.4.2. Parametri kvaliteta servisa

Parametri kvaliteta servisa se koriste da kvantifikuju korisnikove zahteve za kvalitetom opsluživanja i na osnovu ovih parametara, kao i parametara korisnikovog saobraćaja i trenutnog stanja u mreži, mreža procenjuje da li ponuđena veza može da se ostvari ili ne. Ako može da se ostvari, a da se pri tome ne naruši kvalitet tekućih veza, onda će ponuđena veza biti uspostavljena. U suprotnom, veza će biti odbačena ili će biti pregovarani drugačiji niži zahtevi za kvalitetom servisa ili niži saobraćajni parametri korisnika koji mogu biti postignuti, a korisnik će, u zavisnosti od toga da li mu odgovaraju ti lošiji uslovi (lošija ponuda) ili ne, da prihvati ili odbije ponudu. Parametri kvaliteta servisa koji se definišu su:

- **Procenat gubitaka ćelija (CLR - Cell Loss Rate)** - Definiše procenat gubitaka ćelija. Ovaj parametar je jedan od prvih korišćenih u ATM mrežama, a takođe često se dešava da je ovaj parametar kvaliteta servisa i jedini ponuđen (što nije problem ako se prenose vremenski nezavisne aplikacije poput prenosa podataka). Ovaj parametar je jednostavan za procenu i to je razlog njegove popularnosti, pa su razvijeni mnogi algoritmi zasnovani na ovom parametru koji se koriste prilikom uspostave veze za procenu da li veza može da se prihvati ili ne.
- **Džiter (Jitter)** - Predstavlja varijaciju vremena koji unosi mreža. Naime, vremena između ćelija na izvoru se razlikuju od vremena između istih tih ćelija na odredištu. Najveći uticaj na ovu razliku imaju vremena čekanja ćelija u redovima za čekanje koja se razlikuju od ćelije do ćelije. Ovaj parametar je važan za aplikacije prenosa audio i video signala u realnom vremenu, jer utiče na dimenzionisanje *playout* bafera.
- **Kašnjenje ćelije (CTD - Cell Transfer Delay)** - Predstavlja ukupno kašnjenje ćelije kroz mrežu (od izvorišta do odredišta). Ovo kašnjenje se sastoji od fiksnog dela i promenljivog dela. Fiksni deo se sastoji od komponenata kašnjenja koje su uvek prisutne i nepromenjive poput vremena propagacije, vremena slanja na izlazni link i sl. Na promenjivi deo najviše utiče vreme čekanja u redovima za čekanje unutar mrežnih čvorova.
- **Varijabilno kašnjenje ćelije (Peak-to-Peak Cell Delay Variation)** - Predstavlja varijabilni deo kašnjenja ćelije CTD.
- **Maksimalno kašnjenje ćelije (max CTD - Maximum Cell Transfer Delay)** - Predstavlja gornju granicu kašnjenja ćelije CTD. Pri tome, tipično se ne izražava kao apsolutna granica, već kao granica koja u određenom procentu slučajeva (na primer, 99%) neće biti prevaziđena. Ovaj parametar, kao i CLR i varijabilno kašnjenje ćelije se tipično koriste kao parametri kvaliteta servisa koje korisnik specificira prilikom uspostave veze kao svoje zahteve. Varijabilno kašnjenje ćelije i maksimalno kašnjenje ćelije se tipično izražavaju u ms.
- **Procenat pogrešnih ćelija (CER - Cell Error Rate)** - Procenat ćelija koje stignu na odredište sa greškama u korisnom delu (broj pogrešno primljenih ćelija podeljen sa brojem ukupno poslatih ćelija).
- **Procenat veoma oštećenih blokova ćelija (SECBR - Severly Errored Cell Block Ratio)** - Procenat veoma oštećenih blokova ćelija se definiše kao broj veoma oštećenih blokova ćelija podeljen sa brojem ukupno poslatih blokova ćelija. Pod blokom ćelija se podrazumeva skup uzastopno poslatih ćelija (može se reći i burst ćelija).
- **Protok pogrešno rutiranih ćelija (CMR - Cell Misinsertion Rate)** - Broj ćelija koje se rutirane na pogrešno odredište (usled neotkrivenih grešaka u ATM zaglavlju) podeljen sa vremenom posmatranja. Parametri CER, SECBR i CMR se ne koriste u procesu uspostave veze tj. korisnik ne koristi ove parametre za izražavanje svojih zahteva u pogledu kvaliteta servisa. Ovi parametri se (eventualno) koriste za nadgledanje rada mreže.

1.4.3. Klase servisa

Pošto postoji veliki broj aplikacija tj. tipova korisnika koji koriste usluge ATM mreže, bilo bi nezgodno definisati poseban skup parametara i saobraćaja i kvaliteta servisa za svakog od njih ponaosob. Znatno je efikasnije definisati diskretan i manji skup klasa servisa koje se nude jer je tako lakše vršiti nadgledanje rada mreže, kao i procenu da li nova veza može da se prihvati ili ne. Klase servisa su nezavisne od AAL tipa kojeg korisnik koristi što je i logično jer AAL tip se nalazi samo u korisničkim uređajima (na korisničkoj strani) kao što se i vidi sa slike 1.2.1, dok su u pregovorima oko kvaliteta servisa uključeni i korisnik i mreža, pri čemu je mreža ta koja treba i da sprovede ispunjenje dogovorenog kvaliteta servisa. Klase servisa je definisao i ATM forum i ITU-T organizacija, pri čemu se neke od klasa poklapaju, a neke ne, kao što se može videti iz tabele 1.4.3.1.

Tabela 1.4.3.1 - Klase servisa ATM foruma i ITU-T organizacije

ATM forum	ITU-T	Saobraćajni parametri	Parametri kvaliteta servisa
CBR	DBR	PCR, CDVT	CLR, max CTD, <i>Peak-to-Peak Cell Delay Variation</i>
RT-VBR	-	PCR, SCR, MBS, CDVT	CLR, max CTD, <i>Peak-to-Peak Cell Delay Variation</i>
NRT-VBR	SBR	PCR, SCR, MBS, CDVT	CLR
UBR	-	-	-
ABR	ABR	PCR, MCR, CDVT	CLR
GFR	GFR	PCR, MCR, MBS, MFS	CLR
-	ABT	PCR, SCR, CDVT	CLR

CBR (*Constant Bit Rate*) klasa se koristi za servise koji generišu konstantan protok tokom čitavog trajanja veze, poput emulacije kola i prenosa u realnom vremenu audio (ili video) signala kodiranog koderom konstantnog protoka. Za opis inteziteta saobraćaja je dovoljan samo vršni protok ćelija PCR jer je protok konstantan. Takođe, koristi se i CDVT parametar pošto i pored konstantnog protoka može doći do manjih varijacija u realnom slanju ćelija na link usled multipleksiranja sa ćelijama drugih tokova. Za opis kvaliteta servisa se koriste maksimalno kašnjenje ćelije (max CTD) i varijabilno kašnjenje ćelije (*Peak-to-Peak Cell Delay Variation*) pošto su u pitanju aplikacije koje su osetljive na vremensko kašnjenje. Takođe, koristi se i procenat gubitaka ćelija CLR koji se i inače koristi u većini klasa. ITU-T klasa DBR (*Deterministic Bit Rate*) iz preporuke I.371 odgovara CBR klasi.

RT-VBR (*Real-Time Variable Bit Rate*) klasa se koristi za servise koji generišu promenljiv protok i vremenski su osetljivi, poput prenosa audio (ili video) signala kodiranog koderom promenljivog protoka. Pošto je generisani protok promenljiv, nije dovoljan samo vršni protok ćelija PCR, već su potrebni i najveći prosečni protok ćelija SCR i maksimalna veličina bursta MBS za kompletno opisivanje generisanog saobraćaja. CDVT parametar se takođe koristi iz istih razloga kao i u slučaju CBR klase. Pošto su u pitanju aplikacije koje su osetljive na vremensko kašnjenje, pored CLR parametra, za opis kvaliteta servisa se koriste i maksimalno kašnjenje ćelije (max CTD) i varijabilno kašnjenje ćelije (*Peak-to-Peak Cell Delay Variation*).

NRT-VBR (*Non Real-Time Variable Bit Rate*) klasa se koristi za servise koji generišu promenljiv protok i nisu vremenski osetljivi. Usled promenljivog protoka, kao i kod RT-VBR klase, koriste se PCR, SCR i MBS parametri. CDVT parametar se takođe koristi iz istih razloga kao i u slučaju CBR klase. Pošto su u pitanju vremenski neosetljivi servisi, za opis kvaliteta servisa se koristi samo CLR parametar. ITU-T klasa SBR (*Statistical Bit Rate*) iz preporuke I.371 odgovara NRT-VBR klasi.

UBR (*Unspecified Bit Rate*) klasa se koristi takođe za servise koji generišu promenljiv protok i nisu vremenski osetljivi, ali kod kojih se koristi princip najboljeg pokušaja (*best-effort* princip koji se koristi i u IP protokolu). UBR klasa je predviđena prvenstveno za prenos podataka tj. za aplikacije poput veb brauzovanja, elektronske pošte i prenosa fajlova. UBR ne previđa nikakve saobraćajne parametre ni parametre kvaliteta servisa jer je u pitanju klasa koja predviđa upotrebu *best-effort* principa. Korisnik može da specificira DMCR (*Desirable Minimum Cell Rate*) parametar koji predstavlja željeni minimalni protok ćelija, ali mreža može da ignoriše ovu vrednost parametra. Takođe, mogu biti signalizirane i PCR (korisnik definiše ovu vrednost) i CDVT (mreža, tj. administrator postavlja ovu vrednost) vrednosti, ali mreža ne mora da ih koristi.

ABR (*Available Bit Rate*) klasa se koristi za servise koji su vremenski neosetljivi i koji mogu da menjaju svoj protok u skladu sa stepenom zagušenja u mreži. Korisnik specificira maksimalni tj. vršni protok ćelija PCR, kao i minimalni protok ćelija (MCR - *Minimum Cell Rate*). Protok ćelija koji generiše korisnik će se kretati u granicama MCR i PCR. Kada u mreži nema zagušenja, signaliziraće se korisniku da može da poveća protok, kada počne da se javlja zagušenje u mreži, signaliziraće se korisniku da smanji protok. CDVT parametar se takođe koristi iz istih razloga kao i u slučaju CBR klase. Za opis kvaliteta servisa se koristi samo CLR parametar pošto su u pitanju vremenski neosetljivi servisi.

GFR (*Guaranteed Frame Rate*) klasa je predviđena za vremenski neosetljive servise koji zahtevaju garantovan minimalan protok ćelija MCR, pri čemu korisnici mogu slati i većim protokom od MCR. Podaci koji se šalju su organizovani u okvire (otuda u imenu klase termin *frame*) koji se prenose preko AAL 5 CPCS-PDU jedinica. Pri tome, mreža ne garantuje isporuku okvira za slučaj prekoračenja garantovanog MCR protoka. U slučaju odbacivanja, mreža pokušava da odbaci kompletan okvir, a ne samo pojedinačnu CPCS-PDU jedinicu, jer ako se odbaci jedna CPCS-PDU jedinica, isporuka ostalih CPCS-PDU jedinica istog okvira ionako nema smisla jer okvir ne može da se kompletira. Za razliku od ABR klase, mreža ne obaveštava eksplicitno korisnika o zagušenju u mreži da bi smanjio svoj protok, već proces detekcije zagušenja ostavlja korisniku (na primer, TCP protokol ima mehanizam za detekciju zagušenja u mreži). Za opis saobraćajnih parametara se koriste PCR, MCR, MBS i MFS parametri, gde MFS (*Maximum Frame Size*) predstavlja maksimalnu veličinu okvira. Za opis kvaliteta servisa se koristi samo CLR parametar pošto su u pitanju vremenski neosetljivi servisi.

ABT (*ATM Block Transfer*) klasa se koristi za servise promenljivog protoka koji su vremenski neosetljivi, pri čemu je vršni protok PCR ispod 2% kapaciteta svakog od linkova na putu do odredišta. Ova klasa je namenjena saobraćaju izrazito *bursty* prirode i ideja je da se u mreži resursi rezervišu samo za vreme trajanja bursta. Kada korisnik ima burst za slanje on pošalje zahtev da mu se dodeli propusni opseg u mreži koji jednak njegovom vršnom protoku. Zahtev prolazi kroz sve svičeve na putu do odredišta i ako svi svičevi tj. linkovi imaju dovoljno slobodnog kapaciteta, oni ga rezervišu za dotični burst i korisniku se vraća pozitivna potvrda pa korisnik šalje svoj burst. Nakon slanja bursta korisnik signalizira da resursi mogu da se oslobode i ta poruka prolazi kroz sve deonice puta čime se oslobađaju resursi. U slučaju da nisu mogli da se zauzmu resursi u mreži na svim deonicama, korisniku bi bila vraćena negativna potvrda, pa bi korisnik morao da pokuša nešto kasnije. U slučaju pozitivne potvrde mreža može da garantuje CLR, kašnjenje ćelija i varijaciju kašnjenja ćelija (*max CTD* i *Peak-to-Peak Cell Delay Variation*) unutar bloka. Takođe, neke mreže koriste i malo modifikovanu varijantu u kojoj korisnik odmah nakon slanja zahteva šalje svoj burst tako da on brže stigne na odredište, jer ako

zauzimanje resursa ne bude uspešno burst će biti odbačen što je ekvivalentno tome da burst nije ni poslat. Ali, ako zauzimanje resursa bude uspešno burst će pre stići do svog odredišta. U ovom slučaju, mreža može da garantuje samo CLR parametar. Što se tiče saobraćajnih parametara razlikuju se statički parametri koji se pregovaraju na početku uspostave veze i dinamički parametri koji se pregovaraju dinamički tokom veze, preciznije kada se šalje zahtev za slanje bursta. Statički parametri obuhvataju PCR, SCR i CDVT. Dinamički parametar obuhvata BCR i CDVT za dotični blok. BCR (*Block Cell Rate*) definiše protok ćelija dotičnog bloka. PCR, ustvari, definiše koja je maksimalna vrednost BCR koju korisnik može da zahteva tokom trajanja veze, a SCR opisuje dugoročno ponašanje izvora saobraćaja.

1.5. Mehanizmi za kontrolu zagušenja mreže

Da bi ATM mreža radila korektno i ispunjavala obaveze prema korisnicima u pogledu kvaliteta servisa, neophodno je da se zagušenja u mreži javljaju što ređe, a onda kada se jave važno je da mreža što efikasnije reaguje i ukloni zagušenje. Postoje dve grupe mehanizama kontrole zagušenja:

- Preventivna kontrola zagušenja
- Reaktivna kontrola zagušenja

Preventivna kontrola zagušenja, kao što i samo ime kaže, pokušava da spreči pojavu zagušenja. Ova kontrola se vrši prilikom uspostave veze i tokom trajanja veze. Prilikom uspostave veze kontrola se vrši tako što se proverava da li mogu da se u mreži garantuju traženi parametri kvaliteta servisa i alociraju resursi za dotičnu vezu, a da se pri tome ne naruše ostale tekuće veze. Zatim, tokom trajanja veze mreža nadgleda slanje ćelija korisnika i preduzima mere ukoliko korisnik ne šalje ćelije u skladu sa dogovorenim saobraćajnim parametrima. Na primer, odbacuju se ili se označavaju sa prioritetom za odbacivanje ćelije koje narušavaju dogovorene saobraćajne parametre.

Reaktivna kontrola zagušenja, kao što i samo ime ukazuje, se aktivira kada se dogodi zagušenje u mreži. Mreža tada signalizira korisnicima da smanje generisanje saobraćaja (smanje svoje protoke) da bi se mreža rasteretila.

1.5.1. Preventivna kontrola zagušenja

Preventivna kontrola zagušenja se sastoji iz dva dela - kontrole za dozvolu uspostave veze CAC (*Call Admission Control*) i kontrole za forsiranje ugovorenog protoka korisnika (*bandwidth enforcement*). CAC kontrola se vrši za vreme uspostave veze, a *bandwidth enforcement* kontrola za vreme trajanja veze.

Tokom uspostave veze, CAC kontrola na svim deonicama puta proverava da li se može postići željeni nivo kvaliteta servisa. Ukoliko ne može, veza se odbija, u suprotnom, veza se prihvata i rezervišu se odgovarajući resursi u mreži (mrežnim čvorovima na putu). Napomenimo da su tačka-tačka veze bidirekzione i da se pri tome parametri saobraćaja i kvaliteta servisa mogu razlikovati po smerovima tj. ne moraju da se poklapaju u opštem slučaju. Takođe, ako se prilikom ispitivanja puta, ispostavi da ne može da se postigne željeni kvalitet servisa, ispituju se i alternativni putevi tj. veza se odbija samo ako ne postoji nijedan put kroz mrežu na kome može da se postigne zahtevani kvalitet servisa. Algoritmi CAC kontrole se mogu podeliti u dve grupe - algoritmi determinističke alokacije propusnog opsega i algoritmi statističke alokacije propusnog opsega.

Algoritmi determinističke alokacije rade sa vršnim protokom PCR i veoma su jednostavni za implementaciju. Odluka da li će se prihvatiti nova veza se donosi tako što se proverava da li je PCR dotične veze manji ili jednak od propusnog opsega koji je na raspolaganju tj. koji je trenutno slobodan. Ako je ovaj uslov ispunjen veza se prihvata, u suprotnom veza se odbija (naravno, ova provera se radi u svim mrežnim čvorovima na putu). Ako je veza prihvaćena i uspostavljena, svaki čvor će umanjiti slobodan popusni opseg za vrednost PCR uspostavljene veze (pošto pozitivan odgovor putuje od odredišta ka izvorištu, svi čvorovi na putu će znati da je veza odobrena i u tom momentu izvršiti alokaciju resursa, tj. izvršiti umanjene slobodnog propusnog opsega za PCR vrednost). Ovi algoritmi se primenjuju u slučaju CBR klase servisa, tj. kada izvor šalje konstantnim protokom. Međutim, u slučaju da korisnik šalje promenljivim protokom, ovi algoritmi nisu efikasni, naročito ukoliko se vršni protok značajno razlikuje od prosečnog protoka, pošto tada dolazi do preteranog zauzimanja resursa. U prevodu, rezerviše se preveliki propusni opseg za dotičnu vezu što dovodi do slabijeg iskorišćenja linkova (koji se nalaze na dotičnom putu) u mreži.

Algoritmi statističke alokacije se stoga moraju koristiti za klase servisa koje se koriste za korisnike koji generišu saobraćaj promenljivim protokom. Ovi algoritmi rezervišu propusni opseg koji je manji od vršnog protoka toka jer u slučaju izvora promenljivog protoka, značajan deo vremena izvor neće slati vršnim protokom (ovde u proceni pomaže i SCR parametar i MBS parametar) pa ako se pretpostavi da neće svi izvori slati vršnim protokom u isto vreme (niti će to biti trajni događaj) ima smisla dodeliti propusni opseg koji je manji od vršnog protoka. Usled toga, zbir vršnih protoka odobrenih veza može da prevaziđe propusni opseg linka (zbir prosečnih protoka odobrenih veza, naravno, ne sme da prevaziđe propusni opseg linka). Algoritmi statističke alokacije ne smeju biti preterano kompleksni jer moraju da rade u realnom vremenu (veza mora da se odobri ili odbije u kratkom vremenskom periodu), ali problem koji trebaju da reše nije nimalo jednostavan. Naime, saobraćajni parametri koje pošalje korisnik važe na UNI interfejsu gde je korisnik priključen na mrežu. Međutim, oni ne moraju da važe dublje u mreži. Na primer, već smo naveli da dolazak ćelija može da varira čak i na UNI interfejsu usled multipleksiranja sa drugim tokovima, pa je stoga uveden CDVT parametar. Unutar mreže tok se multipleksira sa još većim brojem drugih tokova, pa su efekti još izraženiji. Usled multipleksiranja sa velikim brojem tokova, MBS parametar može da značajno poraste unutar mreže (saobraćaj postaje još više *bursty*), a isto važi i za vršni protok PCR. Stoga ne važe isti parametri tokom procene u svim mrežnim čvorovima na putu. Međutim, proračun za donošenje odluke (prihvatanje ili odbijanje) ne sme biti komplikovan pa je poželjno raditi sa originalnim saobraćajnim parametrima koji su dobijeni od korisnika. Otuda, većina algoritama statističke alokacije radi samo sa CLR parametrom jer je njega najlakše proceniti, dok je znatno manji broj algoritama koji proračunavaju i maksimalno kašnjenje s kraja na kraj i porede ga sa max CDT parametrom. Algoritmi koji procenjuju i kašnjenje tipično podrazumevaju određeni algoritam raspoređivanja (*WFQ - Weighted Fair Queuing*, *EDF - Earliest Deadline First*, statički prioriteti i sl.) koji se koristi u svim mrežnim čvorovima na putu i na osnovu njega procenjuju kašnjenje koje unosi mrežni čvor. Poznati algoritmi statističke alokacije su ekvivalentni protok, transfer ATM blokova, VP veze.

Ekvivalentni protok predstavlja vrednost protoka potrebnog za opsluživanje toka da bi se za taj tok postigla verovatnoća gubitaka ćelija p . Što je tok više *bursty* to će vrednost ekvivalentnog protoka biti bliža vršnom protoku, a što je tok manje *bursty* to će vrednost ekvivalentnog protoka biti bliža prosečnom protoku. Ekvivalentan protok se računa aproksimativno radi postizanja jednostavnosti implementacije i formula po kojoj se računa je:

$$e = R \frac{a - Q + \sqrt{(a - Q)^2 + 4aQr}}{2a}, \quad (1.5.1.1)$$

$$a = bR(1 - r)\ln(1/p)$$

gde je e ekvivalentan bitski protok, R vršni bitski protok ponuđenog toka, r udeo vremena kada je tok aktivan, b srednje vreme trajanja perioda aktivnosti, Q veličina bafera dodeljenog toku u bitima, p verovatnoća gubitaka ćelija. Parametar p , ustvari, predstavlja CLR parametar. Parametar r se računa kao količnik prosečnog trajanja aktivnosti izvora (korisnika) i zbiru prosečnih vremena trajanja pauze i aktivnosti izvora. Odluka o prihvatanju ili odbijanju veze se donosi proračunom ekvivalentnog protoka e i njegovim poređenjem sa slobodnim propusnim opsegom. Ako je e manje ili jednako od slobodnog propusnog opsega tada se veza odobrava, u suprotnom se odbija. Ako je veza odobrena slobodni propusni opseg će biti umanjen za vrednost e . Međutim, i ovo aditivno ponašanje ekvivalentnog protoka može dovesti do slabijeg iskorišćenja linka, pa je dodato unapređenje u vidu procenjenog ukupnog zauzetog propusnog opsega:

$$e_{uk} = \min \left\{ \rho + \sigma \sqrt{-2 \ln(p) - \ln(2\pi)}, \sum_{i=1}^N e_i \right\}, \quad (1.5.1.2)$$

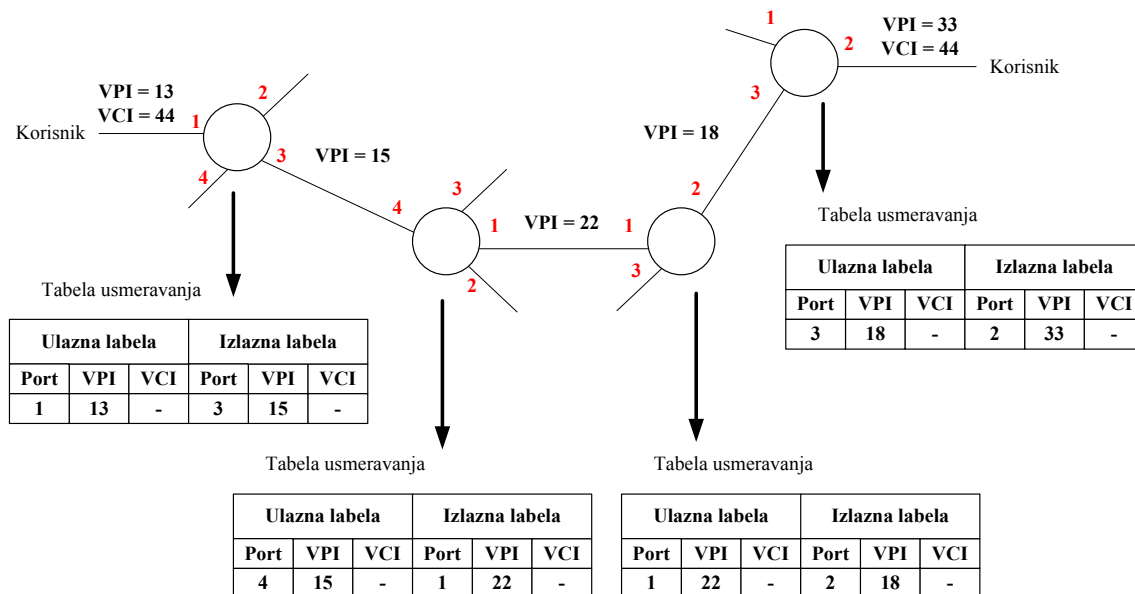
$$\sigma = \sum_{i=1}^N \sqrt{r_i (R_i - r_i)}$$

gde je N ukupan broj tokova, e_{uk} procenjeni ukupan ekvivalentni protok N tokova, ρ prosečan bitski protok uzimajući u obzir svih N tokova. Ako se koristi ova modifikacija, tada se postupak zasniva na tome da se izvrši proračun (1.5.1.2) uzimajući u obzir tekuće veze i vezu za koju se vrši ispitivanje. Ako se dobije da je e_{uk} manje ili jednako od ukupnog propusnog opsega veza se prihvata, u suprotnom se veza odbija.

Transfer ATM blokova predstavlja algoritam koji smo već opisali u slučaju ABT klase servisa, gde se vrši dinamičko rezervisanje i oslobađanje resursa u mreži za slanje burstova.

Tehnika VP (*Virtual Path*) veza se zasniva na uspostavi virtuelnog puta između pojedinih mrežnih čvorova pri čemu je virtuelnom putu dodeljen određeni propusni opseg u svim čvorovima koji su deo tog virtuelnog puta. Potom se virtuelnom putu mogu dodavati veze u vidu virtuelnih kanala pri čemu se ispituje da li se veza može dodati ili ne. Ispitivanje se vrši nekim od algoritama determinističke ili statističke alokacije, pri čemu se posmatra slobodan propusni opseg virtuelnog puta. Ako je veza odobrena ona se dodaje u virtuelni put, u suprotnom se veza odbacuje. Komutiranje u virtuelnim čvorovima se vrši na bazi VPI identifikatora, a na čitavoj deonici veze (tj. ćelije veze) ne menjaju svoj VCI identifikator što je prikazano na slici 1.5.1.1. Kao što se vidi, u tabelama usmeravanja se koristi samo VPI identifikator, dok VCI identifikator ostaje nepromenjen na čitavom putu. Ideja ove tehnike je da olakša proces ispitivanja da li veza može da se uspostavi ili ne, jer se ispitivanje vrši samo na nivou resursa dodeljenih virtuelnom putu u mrežnom čvoru što smanjuje dimenziju problema (na primer, redukuje se broj tokova za koje treba da se proveriti da li im se narušava kvalitet servisa). Takođe, na ovaj način operateri lakše uslužuju velike korisnike koji uspostavljaju velik broj veza između pojedinih ivičnih čvorova mreže (na ivične čvorove se povezuju korisnički uređaji) pošto tada operateri uspostavljaju virtuelni put koji potom korisnik koristi za svoje veze u vidu virtuelnih kanala u dotičnom putu. Na taj način, operater lako kontroliše kvalitet servisa za sve veze korisnika jer je to uradio formiranjem virtuelnog puta i kontrolisanjem da virtuelni put ima garantovane

parametre kvaliteta servisa. Pri tome, važno je naglasiti da resurse dodeljene virtuelnom putu koristi samo dotični virtuelni put.

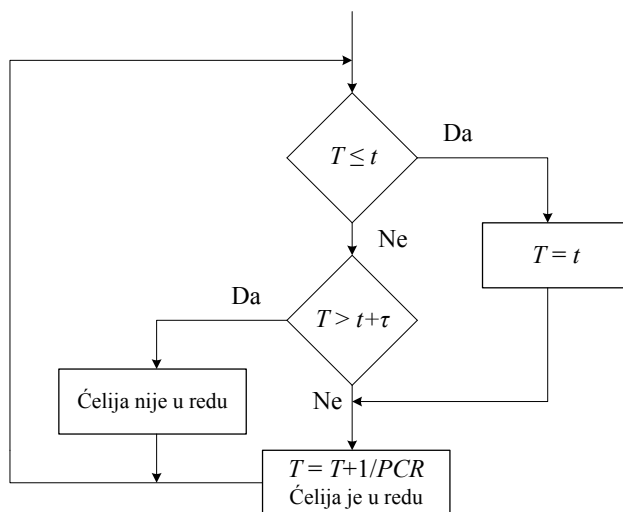


Slika 1.5.1.1. Prosleđivanje na osnovu VPI

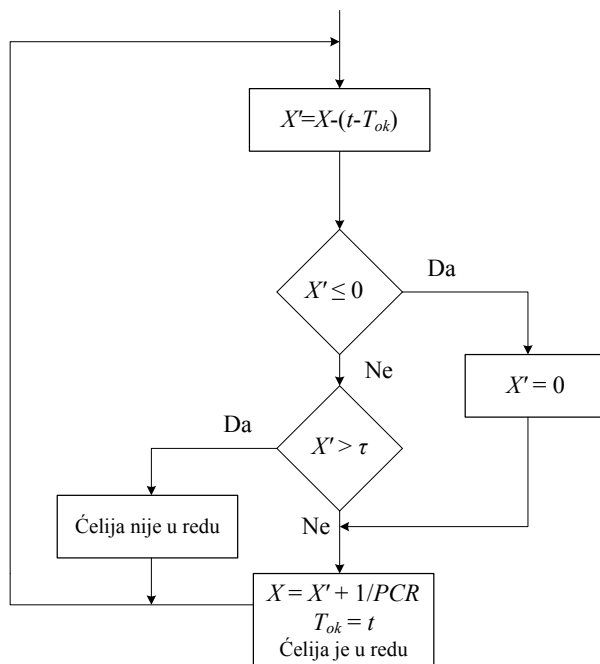
Kada je veza uspostavljena, mreža počinje da nadzire saobraćaj korisnika da proveri da li je u skladu sa dogovorenim saobraćajnim parametrima. Ova provera se vrši na UNI interfejsu na kojem je korisnik priključen. Provera je bitna jer korisnik može i da se ne pridržava dogovorenog čime bi mogao ugroziti kvalitet servisa ostalim korisnicima čije su veze u toku. Čelije koje narušavaju dogovor se mogu odbaciti ili se mogu označiti kao prioritne za odbacivanje postavljanjem CLP bita (u ATM zaglavlju) na vrednost 1 čime se signalizira da će u slučaju zagušenja ove čelije biti prve odbačene. Najpoznatiji algoritam za nadziranje je GCRA (*Generic Cell Rate Algorithm*) algoritam. GCRA algoritam se može koristiti za nadziranje vršnog protoka čelija PCR, kao i maksimalnog prosečnog protoka čelija SCR. Za nadziranje PCR potrebno je poznavati PCR i CDVT parametre. Za nadziranje SCR potrebno je poznavati SCR i MBS parametre. Postoje dve varijante GCRA algoritma - virtuelno raspoređivanje i kontinualna bušna kofa. Obe varijante su definisane u ITU-T I.371 preporuci, pri čemu su dijagrami toka dati u ovom tekstu malo modifikovani u odnosu na one date u preporuci radi lakšeg razumevanja (dati dijagrami toka su u potpunosti ekvivalentni onima iz I.371 preporuke).

Dijagram toka rada virtuelnog raspoređivanja za nadziranje PCR protoka je prikazan na slici 1.5.1.2, pri čemu T predstavlja teoretski očekivano vreme dolaska čelije (inicijalno je postavljeno na vrednost 0 čime se postiže da prva čelija nikad ne narušava dogovor što je i logično jer nema prethodnih čelija na osnovu kojih bi mogao da se proceni PCR protok), t predstavlja vreme dolaska čelije, predstavlja vrednost CDVT parametra. Vrednost $1/PCR$ predstavlja teoretski razmak između dve uzastopne čelije kada se one generišu vršnim protokom. Kada stigne čelija vrši se prva provera $T \leq t$. Ako je ispunjen ovaj uslov, tada je čelija stigla ili u očekivano teoretsko vreme ili nakon njega, pa u svakom slučaju čelija ne narušava dogovor. Stoga se teoretsko vreme postavlja na realno vreme stizanja čelije ($T = t$) i potom se vrši inkrement teoretski očekivanog vremena za $1/PCR$. Ako nije ispunjen uslov $T \leq t$ tada se vrši provera da li je narušavanje u granicama tolerancije. Ako nije ispunjen uslov $T > t + \tau$, tada je čelija u granicama tolerancije i samim tim smatra se da čelija ne narušava dogovor, i pri tome se

vrši povećanje teoretskog vremena T za $1/PCR$. Ako je ispunjen uslov $T > t + \tau$, tada ćelija narušava dogovor. Ova ćelija se ili odbacuje ili označava preko CLP bita da ima prioritet u odbacivanju (biće među prvima za odbacivanje u slučaju zagušenja).



Slika 1.5.1.2. Virtuelno raspoređivanje



Slika 1.5.1.3. Kontinualna bušna kofa

Dijagram toka rada kontinualne bušne kofe za nadziranje PCR protoka je prikazan na slici 1.5.1.3, pri čemu T_{ok} predstavlja vreme dolaska ćelije poslednje ćelije koja nije narušila dogovor, t predstavlja vreme dolaska ćelije, predstavlja vrednost CDVT parametra, X predstavlja trenutno stanje bušne kofe koje je predstavljeno u vidu vremena koje varira oko idealne vrednosti $1/PCR$. Vrednost $1/PCR$ predstavlja teoretski razmak između dve uzastopne ćelije kada se one generišu vršnim protokom. Po dolasku prve ćelije T_{ok} se postavlja na vrednost t , dok se X postavlja na vrednost 0 tako da prva ćelija nikad ne može da naruši dogovor. X' predstavlja pomoćnu promenljivu koja označava odstupanje od očekivanog vremena dolaska

ćelije. U prvoj proveru se proverava da li je $X' \leq 0$. Ako je ispunjen ovaj uslov, ćelija je stigla u očekivano vreme ili nakon njega, pa samim tim ćelija ne narušava dogovor. X' se postavlja na 0, pa se samim tim X postavlja na $1/PCR$, a T_{ok} se postavlja na vreme pristizanja ove ćelije t . Ako je pri prvoj proveru X' bio pozitivan, tada se proverava da li je X' veći od τ , tj. da li narušava postavljenu toleranciju. Ako je narušena tolerancija, tada ćelija narušava dogovor, u suprotnom ćelija ne narušava dogovor. Ako ćelija ne narušava dogovor tada se X računa kao $X'+1/PCR$, a T_{ok} se postavlja na vreme pristizanja ove ćelije t . Ako ćelija narušava dogovor, tada se ta ćelija ili odbacuje ili označava preko CLP bita da ima prioritet u odbacivanju (biće među prvima za odbacivanje u slučaju zagušenja).

Obe varijante GCRA algoritma se mogu iskoristiti i za nadziranje SCR parametra. Tada se kao teoretski očekivano vreme između dve susedne ćelije uzima vrednost $1/SCR$ umesto $1/PCR$ u GCRA algoritmu. Takođe se koristi parametar tolerancije na burstove koja se izražava u vidu:

$$\tau_B = (MBS - 1)(1/SCR - 1/PCR) \quad (1.5.1.3)$$

Pošto će izvor povremeno regularno slati na vršnom protoku, odnosno na protoku većem od SCR vrednosti važno je ne odbacivati ove ćelije iako će one narušavati očekivani razmak između ćelija od $1/SCR$. Međutim, treba biti u mogućnosti proceniti koliki je maksimum ovih ćelija koje narušavaju ovaj očekivani razmak, jer će prevelik broj tih ćelija, ipak, narušiti dogovorenu SCR vrednost. Stoga se parametar tolerancije τ u GCRA algoritmu računa kao:

$$\tau = \tau_B + CDVT \quad (1.5.1.3)$$

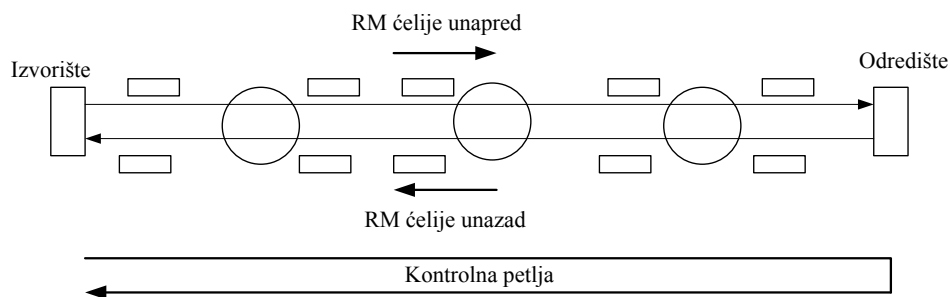
Već smo naveli da se ćelije koje naruše dogovor, ipak, mogu pustiti u mrežu, ali sa setovanim CLP bitom. Ako dođe do zagušenja u mreži prvo se odbacuju ćelije sa postavljenim CLP bitom. Postoji više mehanizama za odbacivanje ovih ćelija u slučaju zagušenja, a među poznatijima su *push-out* algoritam i *threshold* algoritam. U slučaju *push-out* algoritma, ćelija koja naiđe na pun bafer se odbacuje ako je njen CLP bit postavljen na 1. Ako je njen CLP bit postavljen na 0, tada se ćelija odbacuje ako se u baferu nalaze samo ćelije sa CLP bitom postavljenim na 0, u suprotnom se odbacuje poslednje upisana ćelija sa CLP bitom koji je postavljen na 1 i na njeno se mesto upisuje pristigla ćelija. U slučaju *threshold* algoritma, postavlja se prag u baferu. Kada se bafer popuni iznad praga u bafer se mogu upisivati samo ćelije sa CLP bitom na 0, a ćelije sa CLP bitom postavljenim na 1 će se odbacivati tj. neće se upisivati u bafer. Očigledno je *push-out* algoritam efikasniji, ali je isto tako znatno komplikovaniji za realizaciju od *threshold* algoritma. Neki algoritmi odbacivanja su svesni da su pojedine ćelije deo veće celine, tj. deo AAL 5 CPCS-PDU jedinica, pa u slučaju odbacivanja vrše odbacivanje svih ćelija dotične AAL 5 CPCS-PDU jedinice. Pri tome se razlikuju algoritmi koji odbacuju samo dotičnu ćeliju i sve sukcesivne ćelije AAL 5 CPCS-PDU jedinice, i oni koji odbacuju sve ćelije AAL 5 CPCS-PDU jedinice.

1.5.2. Reaktivna kontrola zagušenja

Reaktivna kontrola zagušenja se zasniva na reakciji mreže prilikom detektovanja zagušenja i koja se sastoji u obaveštavanju korisnika da je došlo do zagušenja i da treba da privremeno smanje svoj saobraćaj da bi se mreža rasteretila. Trenutno, samo ABR klasa servisa podržava reaktivnu kontrolu zagušenja. Pri tome, podrazumeva se da korisnik ima mogućnost smanjivanja i povećanja protoka tj. prilagođavanja protoka u skladu sa obaveštenjima iz mreže,

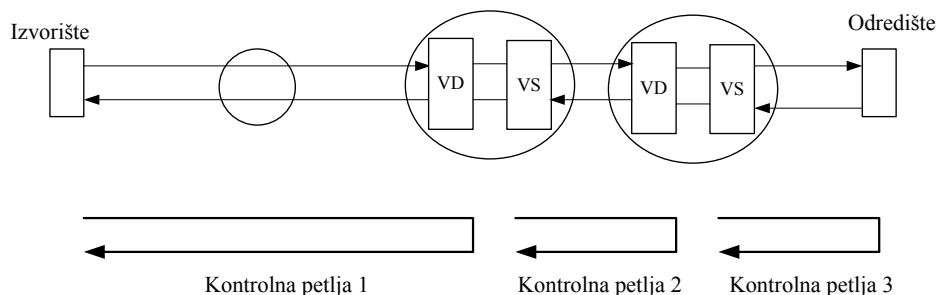
što je i logično jer bi u suprotnom korisnik tražio drugu klasu servisa. Napomenimo da je ITU-T definisao ABR klasu u I.371 preporuci.

Za obaveštavanja o trenutnom stanju mreže i time podešavanja protoka korisnika koriste se RM (*Resource Management*) ćelije. Iz tabele 1.2.1 se može videti da PTI polje ATM zaglavlja ima vrednost 110 za RM ćelije. Korisnik šalje RM ćeliju koja prolazi kroz ATM svičeve (ATM mrežne čvorove) na putu do odredišta. Odredište prima RM ćeliju i vraća je u suprotnom smeru ka izvorištu. ATM svičevi u skladu sa trenutnim stanjem eventualno modifikuju sadržaj ove unatrag poslate RM ćelije. Korisnik na izvorištu prima RM ćeliju i na osnovu njenog sadržaja menja (povećava ili smanjuje) ili ostavlja istim svoj trenutni protok generisanja ćelija. RM ćelije koje idu od izvorišta do odredišta se nazivaju RM ćelije unapred, a RM ćelije koje se vraćaju natrag od odredišta do izvorišta se nazivaju RM ćelije unazad. Ova sprega tj. petlja RM ćelija se naziva kontrolna petlja i primer jedne kontrolne petlje je prikazan na slici 1.5.2.1. Podsetimo se da su konekcije bidirekcionne pa u suštini istovremeno postoje dve kontrolne petlje jer korisnik istovremeno i šalje i prima. Na slici 1.5.2.1 je prikazana samo jedna kontrolna petlja u vezi radi preglednosti. Mrežni čvorovi su označeni krugovima.



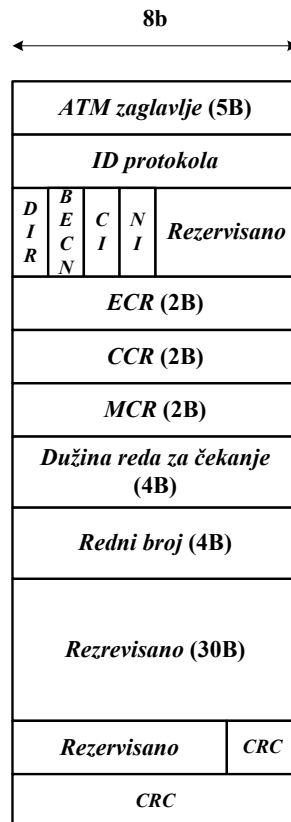
Slika 1.5.2.1. Kontrolna petlja

Same RM ćelije se mogu slati u opsegu i van opsega. Slanje u opsegu podrazumeva da se RM ćelije tumače kao deo toka ćelija veze i ulaze u proveru dogovora koji je korisnik postigao sa mrežom u vezi protoka. Pri tome, korisnik šalje na svakih k ćelija jednu RM ćeliju (tipično na svakih $k=31$ ćelija podataka korisnik šalje jednu RM ćeliju). Ukoliko korisnik u određenom periodu nema ćelija za slanje, koristi se tajmer za odluku o slanju RM ćelije, pri čemu se RM ćelija šalje tek kad istekne tajmer i kada je bar m ćelija podataka poslato od prethodne RM ćelije (tipično je $m=2$). Korisnik iz nekog razloga može odlučiti da ne čeka regularno na slanje RM ćelije, pa tada može poslati RM ćeliju van opsega, tj. ovakva RM ćelija se ne uračunava kao deo protoka dogovorenog sa mrežom. Stoga se u RM ćeliji poslatoj van opsega postavlja CLP bit na vrednost 1. Naravno, postoji ograničenje u intezitetu slanja ovakvih ćelija van opsega.



Slika 1.5.2.2. Kontrolna petlja izdvojena na segmente

Pošto korisnici mogu biti međusobno veoma udaljeni, vreme propagacije može biti veoma veliko pa povratna sprega ostvarena kontrolnom petljom može biti isuviše inertna za brzo prilagođavanje korisnika trenutnoj situaciji u mreži. Otuda se kontrolna petlja može izdeliti na više segmenata kao što je prikazano na slici 1.5.2.2. I ovde je prikazana kontrolna petlja za samo jedan smer komunikacije radi bolje preglednosti. Virtuelna odredišta (*VD - Virtual Destination*) se koriste da zatvore kontrolnu petlju na segmentu i ona pokušavaju da oponašaju konačno odredište. Virtuelni izvori (*VS - Virtual Source*) se koriste da otvore kontrolnu petlju na segmentu. Sama komunikacija između VD i VS u mrežnom čvoru nije standardizovana, već je ostavljeno proizvođačima da kreiraju sopstvena rešenja.



Slika 1.5.2.3. Struktura RM ćelije

Na slici 1.5.2.3 je prikazana struktura RM ćelije. Delovi RM ćelije (ne računajući ATM zaglavlje), za slučaj kada se RM ćelija koristi u sklopu ABR klase servisa, su:

- *ID protokola (Protocol ID)* - Definiše protokol kome pripada RM ćelija. U slučaju kada se RM ćelija koristi u okviru ABR klase servisa ovo polje je postavljeno na vrednost 1.
- *DIR (Direction)* - Bit koji predstavlja smer RM ćelije - unapred ili unazad. RM ćelija unapred ima DIR=0, a RM ćelija unazad ima DIR=1.
- *BECN (Backward Explicit Congestion Notification)* - Bit koji određuje da li je u pitanju regularno kreirana RM ćelija ili ne. Ako je BECN=0, u pitanju je RM ćelija koju je generisao izvor i koja je potom vraćena unatrag na odredišnoj strani. Ako je BECN=1, u pitanju je RM ćelija koju je generisao ATM svič ili odredište

u cilju da obavesti izvorište o pojavi zagušenja u mreži, ne čekajući da to uradi preko regularne RM ćelije koju generiše izvorište.

- *CI (Congestion Indication)* - Bit kojim se signalizira pojava zagušenja u mreži. Ako je $CI=0$, tada se signalizira da nema zagušenja, a kada je $CI=1$, tada se signalizira da ima zagušenja u mreži (u tom slučaju korisnik bi morao da smanji protok, sem ako već ne šalje na minimalnom protoku MCR).
- *NI (No Increase)* - Bit kojim se signalizira (u kombinaciji sa CI bitom) da li korisnik sme da poveća protok ili ne. Ako je $CI=0$ i $NI=1$ tada korisnik treba da ostane na trenutnom protoku, a ako je $CI=0$ i $NI=0$ tada korisnik može da poveća svoj protok.
- *ECR (Explicit Cell Rate)* - U ovo polje izvorište upisuje željeni protok (koji ne može biti veći od dogovorenog PCR protoka). Svičevi na putu, kao i odredište mogu upisati novu (manju) vrednost ukoliko ne mogu da podrže vrednost koja je navedena u ovom polju. Vrednost ovog polja se može promeniti više puta tokom prolaska kroz kontrolnu petlju, jer neki naredni svičevi mogu imati potrebu da dodatno smanje protok koji mogu u tom momentu dozvoliti korisniku. Preko ovog polja će izvor biti obavešten o dozvoljenom tj. mogućem protoku ćelija (*ACR - Available Cell Rate*) koji može ostvariti u trenutnoj situaciji.
- *CCR (Current Cell Rate)* - U ovo polje izvorište upisuje svoj trenutni protok (koji je važeći u trenutku slanja dotične RM ćelije).
- *MCR (Minimum Cell Rate)* - U ovo polje izvorište upisuje MCR protok koji dogovoren prilikom uspostave veze. Vrednosti CCR i MCR, svičevi i odredište mogu da iskoriste prilikom proračuna vrednosti za ECR u cilju određivanja da li će modifikovati vrednost ECR polja ili ne.
- *Dužina reda za čekanje (Queue Length)* - Svičevi mogu u ovo polje da upišu broj ćelija dotičnog toka (na koji se odnosi RM ćelija) koji se trenutno nalazi u baferu sviča. Svič će upisati novu vrednost samo ako trenutni broj ćelija prevazilazi vrednost navedenu u ovom polju. Izvorište podešava vrednost ovog polja na 0. Pri tome, ako svič nema mogućnost da odredi broj ćelija dotičnog toka koji se trenutno nalazi u sviču, tada svič ne modifikuje vrednost ovog polja.
- *Redni broj (Sequence Number)* - Ako se koristi ovo polje, tada izvorište inkrementira vrednost ovog polja u svakoj sukcesivnoj RM ćeliji koju pošalje. Ova vrednost se ne menja na čitavom putu kroz kontrolnu petlju i služi izvorištu kao dodatna informacija, na primer, za procenu vremena potrebnog da RM ćelija prođe kroz čitavu kontrolnu petlju.
- *Rezervisano (Reserved)* - Svi biti koji su rezervisani se trenutno ne koriste.
- *CRC* - Ovo polje se koristi za detekciju grešaka u RM ćeliji. Generišući polinom je $x^{10}+x^9+x^5+x^4+x+1$. Ako sa $M(x)$ predstavimo korisni deo ATM ćelije bez CRC polja, vrednost CRC polja se računa kao ostatak deljenja $M(x) \cdot x^{10}$ sa generišućim polinomom.

Vrednosti ECR, CCR i MCR se izražavaju u istom formatu od 14 bita koji je opisan u I.371 preporuci i koji smo već spomenuli prilikom opisa PCR saobraćajnog parametra, uz sitniju modifikaciju dodatkom nz bita:

$$ECR = \left[2^m (1 + k / 512) \right] \cdot nz$$

$$m \in [0,31], k \in [0,511], nz \in \{0,1\}$$
(1.5.2.1)

U trenutku uvođenja ABR klase servisa, postojali su i stariji ATM svičevi koji nisu podržavali generisanje obaveštavanja preko ECR vrednosti, već su mogli koristiti samo EFCN (*Explicit Forward Congestion Notification*) bit iz ATM zaglavlja kao signalizaciju da je došlo do zagušenja (EFCN bit je srednji bit u PTI polju korisnički ćelija što se može zaključiti iz tabele 1.2.1). Stoga postoje dva moda obaveštavanja o zagušenju binarni mod i eksplicitni mod. Binarni mod koristi EFCN bit, a eksplicitni mod koristi ECR polje, kao i CI i NI bite. Važno je napomenuti da RM ćelija ne sadrži EFCN bit, već samo korisnička (data) ćelija.

Izvorište šalje RM ćeliju koja prolazi kroz ATM svičeve na putu do odredišta. RM ćelija u ECR polju sadrži vrednost protoka koju bi korisnik hteo da ostvari (biti DIR, BECN, CI i NI su postavljeni na 0). ATM svičevi u slučaju zagušenja setuju EFCN bit u korisničkim ćelijama. Odredište, na osnovu prijema aktivnih EFCN bita, kod sebe beleži status da je došlo do zagušenja u smeru unapred (smer izvorište -> odredište). Kada stigne RM ćelija na odredište, odredište ispituje status zagušenja koje zavisi od EFCN bita iz korisničkih ćelija, i u slučaju da je zagušenje bilo detektovano vrši se setovanje CI bita da bi se signaliziralo zagušenje smera unapred. Odredište ukoliko je zagušeno modifikuje ECR polje, kao i CI i NI bite da bi signaliziralo (svoje) zagušenje. Ako nema zagušenja (ni odredište nije zagušeno, ni status zagušenja ne signalizira zagušenje) tada se samo prepisuju vrednosti iz originalne RM ćelije koje se odnose na zagušenje (ECR, CI i NI vrednosti). Odredište potom šalje RM ćeliju unazad (DIR bit je sada postavljen na 1) i istovremeno resetuje status zagušenja (koje se postavlja na osnovu EFCN bita) jer sada RM ćelija koja je poslata nosi obaveštenje o dotičnom eventualnom zagušenju. Na smeru unazad RM ćelija prolazi kroz svičeve. Svi svičevi koji podržavaju ECR polje, vrše proračun kojim određuju koliki protok mogu da dozvole dotičnom toku. Ukoliko proračun kao rezultat dobije vrednost protoka manju od onoga u ECR polju, vrši se modifikacija ECR polja. U suprotnom, ECR polje ostaje na staroj vrednosti. Takođe, ako imaju podršku za polje dužina reda za čekanje, tada u njega upisuju broj ćelija dotičnog toka koji se nalazi u sviču u slučaju da taj broj ćelija prevazilazi broj naveden u dotičnom polju. Ukoliko je svič trenutno zagušen, on može da aktivira NI i/ili CI bit. Način na koji svič procenjuje zagušenje, odnosno proračunava ECR polje zavisi od same implementacije, ali proračun ECR polja ne sme da naruši princip fer servisa svih tokova koji prolaze kroz svič. Napomenimo da svičevi navedene modifikacije RM ćelije mogu izvršiti i u smeru unapred i u smeru unazad (bolje je da se izvršava samo u smeru unazad jer se tako stavljaju svežije informacije, a RM ćelija svejedno mora proći čitav smer unazad da bi stigla do odredišta). Kada izvorište primi RM ćeliju, na osnovu vrednosti NI i CI bita, kao i ECR polja eventualno proračunava i postavlja novu vrednost protoka ćelija. Korisnik prvo proračunava vrednost na osnovu svog trenutnog protoka ćelija i NI i CI bita primljenih u RM ćeliji:

- Ako je $CI=1$ tada korisnik mora da smanji protok po formuli $ACR \cdot RDF$, gde je ACR (*Allowed Cell Rate*) ak t u dn i p ntok korisn ka, a RDF (*Rate Decrease Factor*) koeficijent koji postavlja mreža prilikom uspostave veze. Pri tome, ako se

dobije vrednost ispod MCR protoka, korisnik postavlja proračunatu vrednost na MCR vrednost.

- Ako je $CI=0$ i $NI=0$ tada korisnik može da poveća protok po formuli $ACR \cdot RIF$, gde je ACR (*Allowed Cell Rate*) aktuelni protok korisnika, a RIF (*Rate Increase Factor*) koeficijent koji postavlja mreža prilikom uspostave veze. Pri tome, ako se dobije vrednost iznad PCR protoka, korisnik postavlja proračunatu vrednost na PCR vrednost.
- Ako je $CI=0$ i $NI=1$ korisnik zadržava aktuelnu vrednost svog protoka.

Potom korisnik proračunatu vrednost poredi sa vrednošću iz ECR polja i kao svoj novi protok postavlja onu koja je manja (ako je kojim slučajem ECR vrednost manja od MCR vrednosti, tada korisnik kao novu vrednost svog protoka koristi MCR vrednost).

Pošto korisnik dinamički menja dogovor sa mrežom oko svog protoka, mreža mora da dinamički menja parametre GCRA algoritma za nadziranje protoka korisnika da li je u skladu sa trenutnim dogovorom. Umesto parametra $1/PCR$ se koristi parametar $1/ACR$, a parametar ACR se dinamički menja tokom veze.

U slučaju kada svič ili određište žele da signaliziraju zagušenje izvorištu ne čekajući RM ćelije od izvorišta, oni mogu generisati svoje RM ćelije koje će poslati izvorištu. Te ćelije će imati setovan BECN bit (DIR bit će takođe biti 1 jer RM ćelija ide smerom unazad). Naravno, postoji ograničenje u generisanju ovih ćelija koje je tipično postavljeno na 10 ćelija u sekundi. Pri tome, ove ćelije signaliziraju zagušenje upotrebom NI i CI bita.

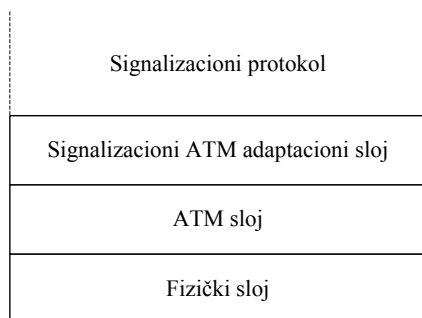
1.6. Signalizacija u ATM mrežama

Kao što smo već ranije naveli, postoje dva tipa veza - permanentne (PVC) veze i komutirane (SVC) veze. PVC veze postavlja administrator, dok se SVC veze dinamički uspostavljaju na zahtev korisnika. Stoga je signalizacija potrebna za uspostavu veze bitna za SVC veze. Razlikuju se dva tipa signalizacije. Signalizacija između korisnika i ATM mreže (tačnije ATM mrežnog čvora na kojeg je povezan korisnik) i signalizacija unutar ATM mreže (između ATM mrežnih čvorova). Signalizacija između korisnika i ATM mreže se odvija na UNI interfejsu i koristi se Q.2931 signalizacija, a signalizacija unutar ATM mreže se odvija na NNI interfejsima i koristi se PNNI (*Private Network Node Interface*) signalizacija.

Princip uspostave veze je sledeći. Korisnik započinje uspostavu veze na svom UNI interfejsu koristeći Q.2931 signalizaciju u okviru koje navodi i adresu traženog korisnika. Potom mrežni čvor pomoću PNNI signalizacije uspostavlja put kroz ATM mrežu do traženog korisnika. PNNI signalizacija se sastoji iz dva celine - signalizacione celine i rutirajuće celine. Signalizaciona celina je odgovorna za uspostavljanje, održavanje i raskidanje veza na NNI interfejsima, dok je rutirajuća celina odgovorna za razmenu i distribuciju informacija o određištima i putevima do njih, kao i o informacijama o mrežnoj topologiji (ekvivalentno protokolima rutiranja iz IP mreža). Na osnovu rada rutirajuće celine mrežni čvorovi mogu da proračunaju putanju do traženog korisnika. Na kraju se opet koristi Q.2931 signalizacija na UNI interfejsu traženog korisnika. U slučaju uspostave veze tačka-više tačkaka dodatno se koristi Q.2971 signalizacija uz Q.2931 signalizaciju.

Signalizacija se razmenjuje putem ATM ćelija, a ATM arhitektura sa stanovišta signalizacije je prikazana na slici 1.6.1. Osnovna razlika u odnosu na arhitekturu sa stanovišta

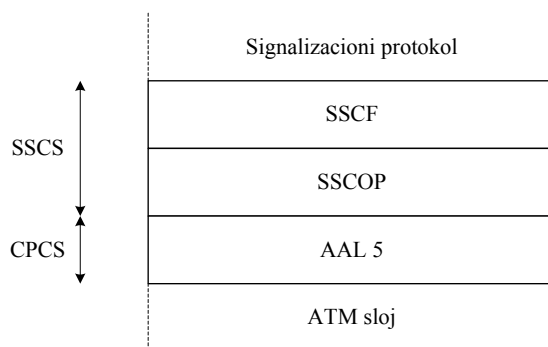
prenosa korisničkih podataka je u adaptacionom sloju. Za razmenu signalizacije se koristi signalizacioni ATM adaptacioni sloj SAAL (*Signalling AAL*). Njegove usluge koriste signalizacioni protokoli (Q.2931, Q.2971, PNNI)



Slika 1.6.1. ATM arhitektura sa stanovišta signalizacije

1.6.1. SAAL

Kao što smo videli u prethodnom delu poglavlja, AAL sloj nije obezbeđivao pouzdan prenos korisnicima u smislu da će svi podaci sigurno stići bez grešaka korisniku sa suprotne strane (bez bitskih grešaka, bez izgubljenih podataka i sa ispravnim redosledom). Međutim, za ispravan rad ATM mreže neophodno je da se signalizacija pouzdano razmenjuje jer je ona bitna za uspostavu, održavanje i raskid veza. Na primer, da bi se što pre oslobodili resursi u mreži za završenu vezu, signalizacija o raskidu treba što pre da se pouzdano razmeni. Stoga SAAL sloj obezbeđuje pouzdanu razmenu signalizacionih poruka.



Slika 1.6.1.1. Struktura SAAL sloja

SAAL sloj se sastoji od SSCS (*Service-Specific Convergence Sublayer*) podsloja i CPCS (*Common Part Convergence Sublayer*) podsloja (slika 1.6.1.1). CPCS podsloj je, ustvari, AAL 5. SSCS se sastoji iz dva dela SSCF (*Service-Specific Coordination Function*) dela i SSCOP (*Service-Specific Connection Oriented Protocol*) dela. SSCF deo mapira servise koje zahteva signalizacioni protokol u servise koje nudi SSCOP protokol tj. praktično vrši svojevrsnu konverziju servisa. SSCF za UNI interfejs je definisan u Q.2130 preporuci, a za NNI interfejs u Q.2140 preporuci. SSCOP protokol je zadužen za ostvarivanje pouzdanog prenosa signalizacionih poruka i definisan je u Q.2110 preporuci. Očigledno je da je SSCOP definisan da pruži istu uslugu pouzdanog prenosa bilo kom tipu signalizacije, dok je SSCF definisan da prilagodi signalizacione protokole SSCOP delu, pa otuda više varijanti SSCF dela. CPCS podsloj tj. AAL5 deo se koristi za prilagođenje poruka koje generiše SSCOP za prenos preko ATM ćelija.

1.6.1.1. SSCOP

SSCOP deo je zadužen da uspostavi vezu između dva susedna čvora preko koje će potom da se razmenjuje signalizacija. Naravno, SSCOP može i da raskine vezu. Neke od funkcija koje SSCOP dela su:

- Uspostava i održavanje veze između dva susedna ATM entiteta za razmenu signalizacionih poruka.
- Održavanje originalnog redosleda podataka.
- Detekcija grešaka u prenosu.
- Korekcija grešaka primenom tehnike selektivnog ponavljanja.
- Kontrola toka slanja signalizacionih poruka.
- Prenos signalizacionih poruka, pri čemu se podaci mogu prenositi i pouzdano i nepouzdanu u zavisnosti od preferenci korisnika (signalizacionog protokola).
- Izveštavanje o svim greškama koje su detektovane.

Tabela 1.6.1.1.1 - SSCOP PDU jedinice

Uloga	Naziv	Vrednost PDU tipa	Opis
Uspostava	BGN	0001	Zahtev za uspostavom SSCOP veze
	BGAK	0010	Potvrda zahteva za uspostavom
	BGREJ	0111	Odbijanje zahteva za uspostavom
Raskid	END	0011	Zahtev za raskidom
	ENDAK	0100	Potvrda zahteva za raskidom
Resinhronizacija	RS	0101	Zahtev za resinhronizacijom
	RSAK	0110	Potvrda zahteva za resinhronizacijom
Oporavak	ER	1001	Zahtev za oporavak od greške
	ERAK	1111	Potvrda zahteva za oporavak od greške
Pouzdan prenos	SD	1000	Numerisani podaci
	POLL	1010	Statusne informacije predajnika za zahtevom da prijemnik pošalje svoje statusne informacije
	STAT	1011	Zahtevane statusne informacije prijemnika
	USTAT	1100	Nezahtevane statusne informacije prijemnika
Nepouzdan prenos	UD	1101	Nenumerisani podaci
Prenos menadžment poruka	MD	1110	Nenumerisane menadžment poruke

SSCOP dva susedna ATM entiteta međusobno razmenjuju SSCOP PDU jedinice. Postoji više tipova SSCOP PDU jedinica kao što se može videti iz tabele 1.6.1.1.1. SSCOP PDU jedinice su grupisane po njihovim ulogama, poput jedinice za uspostavu veze, jedinice za raskid veze i dr.

Poruke iz grupe za uspostavu veze se koriste za proces uspostave SSCOP veze između dva susedna ATM entiteta. BGN predstavlja zahtev za uspostavom veze, na koji se šalje pozitivan (BGAK) ili negativan (BGREJ) odgovor. Ako se veza uspostavi, sve statusne informacije se resetuju, kao i baferi dodeljeni vezi. Statusne informacije su, na primer, redni broj SD poruke za koju se očekuje sledeća potvrda, redni broj koji će biti dodeljen sledećoj SD poruci

koja se šalje i sl. Lista svih statusnih informacija predajnika i prijemnika se može naći u Q.2110 preporuci.

Poruke iz grupe za raskid veze se koriste za proces raskidanja SSCOP veze između dva susedna ATM entiteta. END predstavlja zahtev za raskidom veze, na koji se šalje potvrda (ENDAK).

Poruke iz grupe za resinhronizaciju veze se koriste za proces resinhronizacije statusnih informacija vezanih za SSCOP vezu. RS predstavlja zahtev za resinhronizacijom, na koji se odgovara RSAK potvrdom. Resinhronizacija informacija podrazumeva usklađivanje statusne informacije koja se odnosi na maksimalan redni broj koji je prijemnik spreman da primi u svoj bafer što omogućuje predajniku da utvrdi kada da pauzira slanje tj. koliko još SD poruka može da pošalje.

Poruke iz grupe za oporavak veze se koriste za proces oporavka od nastale greške. ER predstavlja zahtev za oporavak od greške, na koji se odgovara ERAK potvrdom. U principu i ovde se podešava ista statusna informacija kao i u slučaju resinhronizacije.

Poruke iz grupe za pouzdan prenos se koriste u procesu pouzdanog prenosa signalizacionih poruka. SD se koristi za pouzdan prenos signalizacionih poruka, a pošto u ovom slučaju SD poruke sadrže redni broj neophodan za rekonstrukciju originalnog redosleda, onda se za ove podatke kaže da su u pitanju numerisani podaci. POLL zahtev šalje statusne informacije predajnika, pri čemu se zahteva da prijemnik pošalje svoje statusne informacije koji ih potom šalje u vidu STAT odgovora. Ako prijemnik želi samostalno poslati svoje statusne informacije (bez iniciranja preko POLL zahteva), onda koristi USTAT poruku.

Ako se želi poslati signalizaciona poruka, a da se ne koristi mehanizam pouzdanog prenosa, tada se ona šalje pomoću UD poruke koja označava nenumerisane podatke jer se ne koristi redni broj pošto se ovaj podatak šalje 'van redosleda'. MD poruke se koriste za nepouzdan prenos poruka između menadžment slojeva u ATM entitetima.

Postoji ukupno 15 formata SSCOP PDU jedinica. Koji format se koristi zavisi od poruke koja se šalje. Strukture svih formata se mogu naći u Q.2110 preporuci.

Kao što smo napomenili koristi se princip selektivnog ponavljanja, što znači i da se u prijemniku implementira bafer za prihvatanje PDU jedinica koje stignu van očekivanog redosleda. Za potvrđivanje se koriste STAT i USTAT poruke. Periodično se generiše POLL zahtev, na osnovu kojeg prijemnik može da utvrdi eventualne greške u prenosu (rupe u prijemu) pošto POLL zahtev sadrži stanje predajnika. Na primer, na osnovu POLL zahteva prijemnik može da utvrdi redni broj poslednje poslate SD poruke i proverom stanja svojih statusnih informacija tj. svog bafera može da utvrdi koje poruke nisu primljene i pošalje u okviru STAT poruke listu nedostajućih SD poruka. Ako prijemnik u toku rada utvrdi grešku u prenosu, tada će ta strana automatski generisati USTAT poruku sa identifikacijama SD poruka koje treba retransmitovati. SD poruke koje treba retransmitovati se navode u vidu njihovih rednih brojeva, tako da predajnik na osnovu njih zna koje SD poruke treba retransmitovati. SD poruke se čuvaju u baferu predajnika sve dok se pozitivno ne potvrde. Kao što vidimo, SSCOP obezbeđuje pouzdan prenos BEC (*Backward Error Correction*) tehnikom selektivnog ponavljanja. Pri tome je zanimljivo da SSCOP ne dodaje zaštitno (CRC) polje, već to ostavlja AAL 5 sloju. AAL 5 sloj će prilikom prosljeđivanja da signalizira da li su prosljeđeni podaci bez ili sa bitkim greškama.

SSCOP se orijentiše na logičku proveru vrednosti polja i rednih brojeva u SSCOP PDU jedinicama.

1.6.1.2. SSCF

SSCF deo u slučaju UNI interfejsa je definisan u Q.2130 preporuci, a u slučaju NNI interfejsa u Q.2140 preporuci. Osnovna uloga SSCF interfejsa je da prilagodi zahteve od signalizacionog protokola SSCOP delu tj. da izvrši svojevrsnu konverziju zahteva signalizacionog protokola u operacije koje SSCOP deo može da izvrši. U suprotnom smeru vrši konverziju poruka dobijenih od SSCOP dela u poruke koje prosleđuje signalizacionom protokolu.

U slučaju UNI interfejsa, SSCF deo sa signalizacionim protokolom može da razmenjuje poruke AAL-ESTABLISH, AAL-RELEASE, AAL-DATA i AAL-UNITDATA. AAL-ESTABLISH se koristi za uspostavu signalizacione veze, AAL-RELEASE se koristi za raskid signalizacione veze, AAL-DATA se koristi za slanje signalizacionih poruka na pouzdan način, a AAL-UNITDATA se koristi za slanje signalizacionih poruka na nepouzdan način. Sa druge strane, SSCF komunicira sa SSCOP delom koristeći poruke AA-ESTABLISH, AA-RELEASE, AA-DATA, AA-UNITDATA, AA-RESYNC, AA-RETRIEVE, AA-RETRIEVE COMPLETE, AA-RECOVER. Može se videti korelacija ovih poruka sa porukama (PDU jedinicama) koje se koriste na SSCOP delu. Očigledno, ako signalizacioni protokol pošalje AAL-ESTABLISH zahtev za uspostavom signalizacione veze, SSCF deo će kreirati AA-ESTABLISH zahtev ka SSCOP delu na osnovu kojeg će SSCOP deo formirati vezu za pouzdan prenos signalizacionih poruka. AAL-DATA i AAL-UNITDATA će biti mapirani u AA-DATA i AA-UNITDATA, respektivno. U suprotnom smeru, SSCF će izvršiti konverziju poruka dobijenih od SSCOP dela u poruke koje će biti prosleđene signalizacionom protokolu. Na primer, AA-DATA će biti mapiran u AAL-DATA poruku koja će biti prosleđena signalizacionom protokolu. Poruka prema SSCOP delu ima više jer SSCF može da dodatno upravlja SSCOP delom. Na primer, može da izda zahtev za resinhronizacijom SSCOP veze.

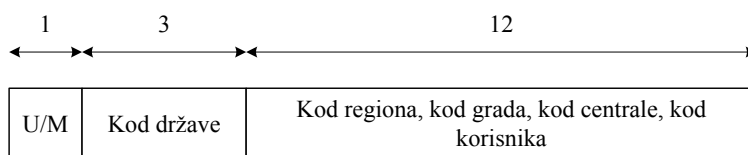
SSCF za NNI interfejs se razlikuje u odnosu na UNI interfejs usled drugačijeg signalizacionog protokola kojeg opslužuje. Broj AAL poruka je sada veći, i kompletan spisak se može naći u Q.2140 preporuci. Na primer, za uspostavu signalizacione veze se koristi AAL-START, za slanje signalizacione poruke se koristi AAL-MESSAGE_FOR_TRANSMISSION, a za prosleđivanje primljene poruke signalizacionom protokolu se koristi AAL-RECEIVED_MESSAGE. U slučaju NNI interfejsa se signalizacione poruke šalju pouzdano. Takođe, komplikovanija je upotreba signalizacionog linka, jer se vrši provera ispravnosti linka slično kao u No7 signalizaciji (u tu svrhu se radi tzv. poravnanje signalizacionog linka, pa ako poravnanje bude uspešno proglašava se da je signalizacioni link u funkciji i da može da se koristi za prenos signalizacionih poruka). Razlog je što je broj veza za koje se razmenjuje signalizacija na NNI interfejsu znatno veći nego na UNI interfejsu, pa je pouzdanost razmene signalizacije na NNI interfejsu od esencijalnog značaja (otuda se signalizacione poruke razmenjuju samo na pouzdan način) za ispravno funkcionisanje mreže. Poruke ka SSCOP delu su iste kao u slučaju UNI interfejsa, ali postoje manje razlike u njihovom korišćenju. Na primer, na NNI interfejsu SSCF deo neće izdati zahtev za nepouzdanom slanje signalizacione poruke pomoću AA-UNITDATA, dok je na UNI interfejsu to dozvoljeno. Isto tako, na NNI interfejsu, SSCF deo ne izdaje zahtev za resinhronizacijom SSCOP delu.

1.6.1.3. Signalizacioni kanal

Signalizacija se prenosi preko ATM ćelija, što se može zaključiti i sa slike 1.6.1, pa je potrebno definisati VCI i VPI identifikatore koji će označavati signalizacioni kanal. Kombinacija VPI=0 i VCI=5 označava tačka-tačka signalizacioni kanal između dva susedna ATM entiteta. Preko ovog kanala se razmenjuje signalizacija za sve veze (svi korisnički virtuelni kanali (VCI) svih virtuelnih puteva (VPI)) na dotičnom linku tj. interfejsu između dva susedna ATM entiteta. Signalizacija koja se razmenjuje na ovaj način se naziva nepridružena signalizacija. Za slučaj da je potrebno razmeniti signalizaciju između udaljenih entiteta povezanih virtuelnim putem (na kom se VCI identifikator korisničke veze koja pripada dotičnom putu ne menja duž čitavog virtuelnog puta) tada se koristi VCI=0, a VPI se postavlja na vrednost VPI identifikatora dodeljenog virtuelnom putu na dotičnoj deonici. Ova signalizacija se tada odnosi samo na veze tj. virtuelne kanale koji pripadaju dotičnom virtuelnom putu. Signalizacija koja se razmenjuje na ovaj način se naziva pridružena signalizacija.

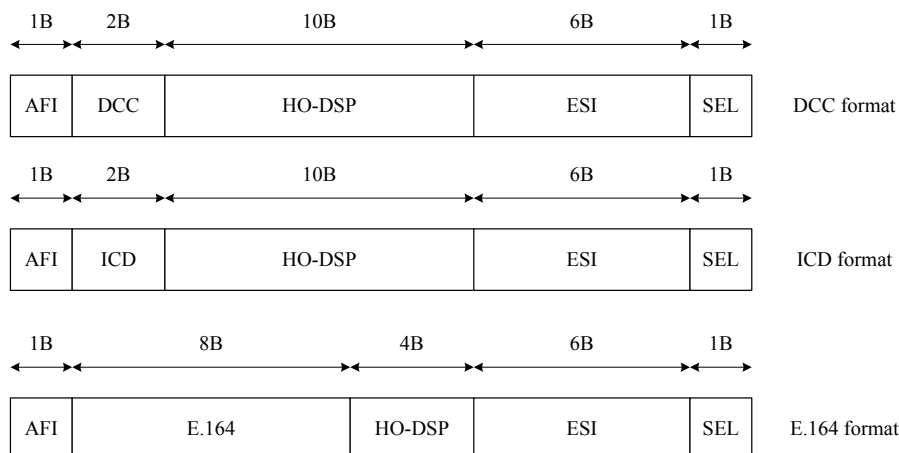
1.6.2. Adresiranje

Da bi ATM mreža mogla identifikovati korisnike, i kreirati veze između korisnika neophodno je da korisnici imaju ATM adrese. Javne ATM mreže koriste E.164 format adresa, a privatne ATM mreže OSI NSAP (*Network Service Access Point*) format.



Slika 1.6.2.1. E.164 format

E.164 format prikazan na slici 1.6.2.1. se zasniva na ISDN planu numeracije gde se adrese sastoje od maksimalno 16 decimalnih cifara. Pošto se cifre kodiraju sa 4 bita, ovaj format je dužine 64 bita. Prva cifra (U/M) označava da li je u pitanju unicast ili multicast adresa. Sledeće tri cifre označavaju kod države, a preostale cifre redom označavaju kod regiona, kod grada, kod centrale i kod korisnika, pri čemu broj cifara za svaki od ovih kodova zavisi od plana numeracije na nivou države. Pod centralom se, ustvari, podrazumeva ATM mrežni čvor na koji se povezuju korisnici.



Slika 1.6.2.2. Formati privatnih adresa

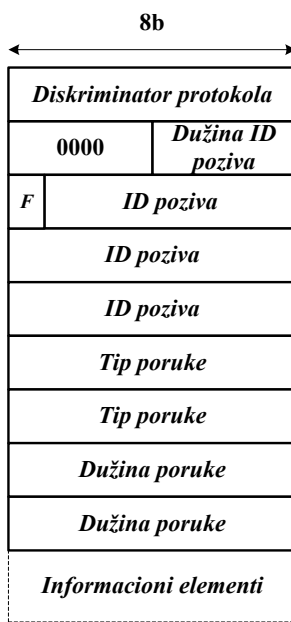
Privatne ATM adrese su dužine 20 bajtova. Sastoje se od dva dela - IDP (*Initial Domain Part*) i DSP (*Domain-Specific Part*). IDP deo definiše telo odgovorno za dodelu DSP vrednosti, tj. telo koje je dodelilo vrednost iz DSP dela. IDP deo se dalje deli na AFI (*Authority and Format Identifier*) i IDI (*Initial Domain Identifier*). AFI (dužine jednog bajta) definiše format IDI identifikatora i sintaksu DSP dela. Postoje tri formata - DCC (*Data Country Code*), ICD (*International Code Designator*) i E.164. Sva tri formata su prikazana na slici 1.6.2.2. IDI predstavlja telo koje je dodelilo vrednost DSP dela, kao i domen kome pripada vrednost DSP dela. DSP deo se sastoji HO-DSP (*High Order DSP*) polja, ESI (*End Ssystem Identifier*) polja i SEL (*SELector*) polja. HO-DSP polje sadrži vrednost dodeljenu od odgovarajućeg tela predstavljenog u IDI identifikatoru. HO-DSP može da se sastoji iz više delova ako postoji hijerarhija poddomena u dotičnom domenu. ESI predstavlja adresu korisničkog uređaja, a SEL predstavlja korisnika ili aplikaciju na uređaju tj. predstavlja adresu na nivou uređaja. Često se za ESI koristi MAC adresa (koja se koristi u ethernet mrežama), a takođe se može koristiti i IPv4 adresa.

1.6.3. Signalizacioni protokoli

Signalizacioni protokoli prvenstveno služe za uspostavljanje, raskid i održavanje korisničkih veza. Međutim, unutar mreže je neophodna i signalizacija koja omogućava čvorovima informacije o mrežnoj topologiji u cilju određivanja puta do odredišta. Stoga se na UNI interfejsu koristi Q.2931 protokol namenjen procesu opsluživanju poziva tj. veze, a na NNI interfejsu tj. unutar ATM mreže se koristi PNNI signalizacija koja je takođe zadužena za opsluživanje poziva, ali i za komunikaciju između mrežnih čvorova u cilju razmene informacija o mrežnoj topologiji i time određivanja putanja do odredišta. Na UNI interfejsu se za uspostavu tačka-više tačkava veza koristi dodatno i Q.2971 protokol.

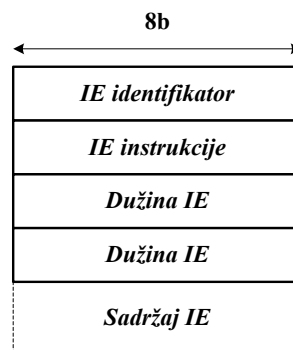
1.6.3.1. Format signalizacione poruke

Isti format signalizacione poruke se koristi za Q.2931, Q.2971 i PNNI protokole. Format signalizacione poruke je prikazan na slici 1.6.3.1.1.



Slika 1.6.3.1.1. Format signalizacione poruke

Diskriminator protokola predstavlja identifikaciju signalizacionog protokola koji je formirao dotičnu signalizacionu poruku. Dužina identifikatora poziva definiše broj bajtova koji se koriste u polju identifikator (ID) poziva. Identifikator poziva predstavlja jedinstvenu identifikaciju poziva (veze) na koji se odnosi dotična signalizaciona poruka i nema korelaciju sa VPI/VCI identifikatorima, već je to identifikacija koju koriste signalizacioni protokoli za označavanje veze za koju se razmenjuje signalizacija. Identifikator se dodeljuje na početku signalizacije za vezu (prilikom uspostave veze) i koristi se sve dok se veza ne raskine. Identifikator dodeljuje strana koja inicira uspostavu veze. Pošto se može desiti da obe strane dodele isti identifikator za vezu koju su inicirale, koristi se F (*Flag*) bit za razlikovanje ovakvih veza. F bit na vrednost 0 postavlja ona strana koja je inicirala dotičnu vezu (identifikovanu preko identifikatora poziva), a suprotna strana postavlja F bit na vrednost 1. Na ovaj način, čak i ako obe strane dodele isti identifikator za vezu koju su inicirale, F bit omogućava razlikovanje ove dve veze. Tip poruke definiše koja signalizaciona poruka se prenosi, a koje sve signalizacione poruke postoje zavisi od samog signalizacionog protokola. Dužina poruke predstavlja dužinu korisnog dela poruke (informacioni elementi) u bajtovima. Informacioni elementi sadrže korisne informacije, pri čemu signalizaciona poruka može da sadrži i više informacionih elemenata.



Slika 1.6.3.1.2. Struktura informacionog elementa

Struktura jednog informacionog elementa (IE) je prikazana na slici 1.6.3.1.2. IE identifikator, ustvari, predstavlja tip informacionog elementa. IE instrukcije pomažu procesiranju informacionog elementa. U ovom polju se, na primer, može nalaziti tip kodiranja sadržaja IE, instrukcije za slučaj da prijemna strana ne podržava dotični informacioni element i sl. Dužina IE predstavlja dužinu sadržaja IE u bajtovima. Sadržaj IE predstavlja sam korisni deo (sadržaj) informacionog elementa.

1.6.3.2. Q.2931

Q.2931 signalizacija je zasnovana na Q.931 signalizaciji koja se koristi u baznom (N)-ISDN pristupu. Q.2931 signalizacija je namenjena za signalizaciju na UNI interfejsu, između korisnika i ATM mreže (tj. ATM čvora na koji je korisnik povezan). Vrednost diskriminatora protokola je 00001001. Vrednost polja dužina ID poziva je 3, odnosno sva tri bajta dužine ID poziva se koriste, odnosno prisutni su u zaglavlju signalizacione poruke. Tabela 1.6.3.2.1 daje prikaz tipova signalizacionih poruka i njihovo kodiranje višim bajtom tipa poruke.

Q.2931 u opštem slučaju koristi od navedenih poruka ALERTING, CALL PROCEEDING, CONNECT, CONNECT ACK, SETUP, RELEASE, RELEASE COMPLETE, NOTIFY, STATUS i STATUS ENQUIRY. Preostale poruke se koriste samo u slučaju kada se opslužuju (N)-ISDN bazirani servisi. U Q.2931 se može naći spisak informacionih elemenata za

svaku od signalizacionih poruka (u istoj preporuci su navedeni kodovi informacionih elemenata koji se stavljaju u polje IE identifikator). Pri tome, neki informacioni elementi su obavezni, a neki opcioni da se pojave u telu signalizacione poruke. Na primer, SETUP poruka koja se koristi za iniciranje uspostave poziva sadrži između ostalog, opis saobraćajnih parametara (obavezan), parametre kvaliteta servisa (obavezan), AAL parametre (opcion) i dr.

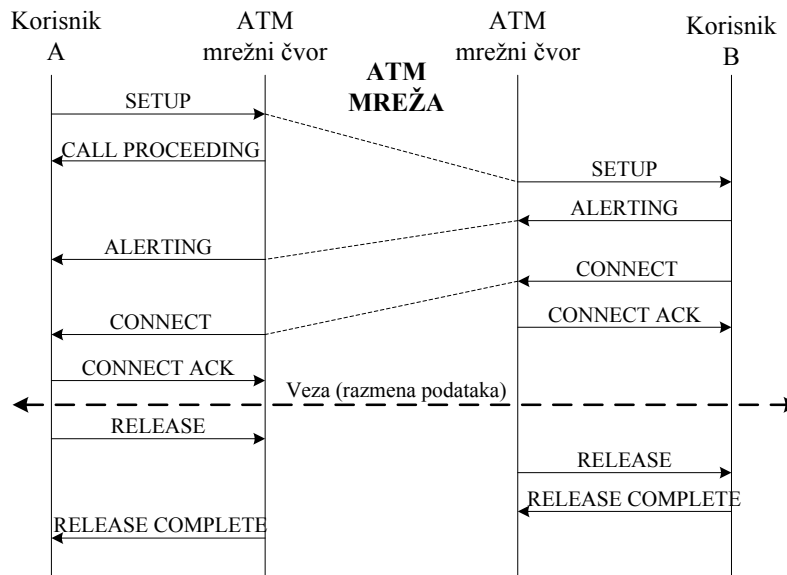
Tabela 1.6.3.2.1 - Q.2931 signalizacione poruke

Uloga	Naziv	Vrednost višeg bajta tipa poruke
Uspostava	ALERTING	00000001
	CALL PROCEEDING	00000010
	CONNECT	00000111
	CONNECT ACK	00001111
	PROGRESS	00000011
	SETUP	00000101
	SETUP ACK	00001101
Raskid	RELEASE	01001101
	RELEASE COMPLETE	01011010
	RESTART	01000110
	RESTART ACK	01001110
Ostalo	INFORMATION	01111011
	NOTIFY	01101110
	STATUS	01111101
	STATUS ENQUIRY	01110101

Struktura nižeg bajta tipa poruke je 100F00AA, gde F predstavlja signalizaciju strani koja prima poruku šta treba da radi sa neprepoznatim porukama, a AA biti akciju koju treba preduzeti ako poruka nije prepoznata na prijemu (na primer, primljena poruka nije podržana ili informacioni element u poruci nije podržan). Ako je F=0 tada vrednost AA bita nije relevantna i prijemnik u slučaju da nije prepoznao poruku reaguje u skladu sa svojom konfiguracijom (na primer, raskida vezu). Ako je F=1, tada prijemnik treba da preduzme akciju navedenu u AA bitima. Akcija može biti raskid veze (AA=00), odbacivanje i ignorisanje poruke (AA=01), odbacivanje poruke, ali vraćanje izveštaja da je došlo do odbacivanja poruke usled njenog neprepoznavanja (AA=10).

Na slici 1.6.3.2.1 je prikazan primer uspostave i raskida veze između dva korisnika. Korisnik A inicira vezu tako što šalje poruku SETUP u kojoj navodi da želi da ostvari vezu sa korisnikom B, i u poslatoj SETUP poruci se nalazi i adresa korisnika B. Takođe, u SETUP poruci se navode, između ostalog, i saobraćajni parametri veze, kao i QoS parametri (klasa servisa). ATM čvor šalje poruku CALL PROCEEDING da bi korisnik znao da je uspostava veze sa traženim korisnikom u toku. ATM čvor primenom PNNI signalizacije nalazi put do traženog korisnika i potom prosleđuje SETUP poruku do korisnika B. Mrežni čvor na strani korisnika B, obaveštava traženog korisnika SETUP porukom da korisnik A želi uspostaviti vezu sa njim. ALERTING porukom se signalizira da se korisnik obaveštava o pozivu. ALERTING poruka se kroz ATM mrežu (pomoću PNNI signalizacije) prosleđuje do mrežnog čvora korisnika A, koji korisniku A prosleđuje dotičnu ALERTING poruku. Kada korisnik B prihvati vezu, generisaće CONNECT poruku koja će preći isti put (na isti način) kao i ALERTING poruka i stići do korisnika A. Korisnik A potvrđuje ovu poruku sa CONNECT ACK porukom svom mrežnom čvoru (mrežni čvor korisnika B je takođe potvrdio korisniku B CONNECT poruku sa CONNECT ACK porukom). Opočinje komunikacija između korisnika. Bilo koja strana može

da raskine vezu. U primeru sa slike 1.6.3.2.1, korisnik A raskida vezu. Porukom RELEASE pozivajući korisnik raskida vezu. Mrežni čvor na strani korisnika A pokreće proceduru da PNNI signalizacijom raskine vezu kroz mrežu do određiškog korisnika. Kada se obavi ova procedura, ka korisniku se šalje poruka RELEASE COMPLETE čime je raskinuta veza na strani korisnika A. Kada poruka o raskidu stigne do mrežnog čvora na strani korisnika B, on obaveštava korisnika B RELEASE porukom o raskidu veze. Korisnik B nakon što oslobodi sve svoje resurse vezane za dotičnu vezu, šalje RELEASE COMPLETE poruku kao signalizaciju da je raskinuo vezu. Treba primetiti da su RELEASE COMPLETE poruke od lokalnog značaja, tj. nisu međusobno u korelaciji ove poruke na strani korisnika A i B.



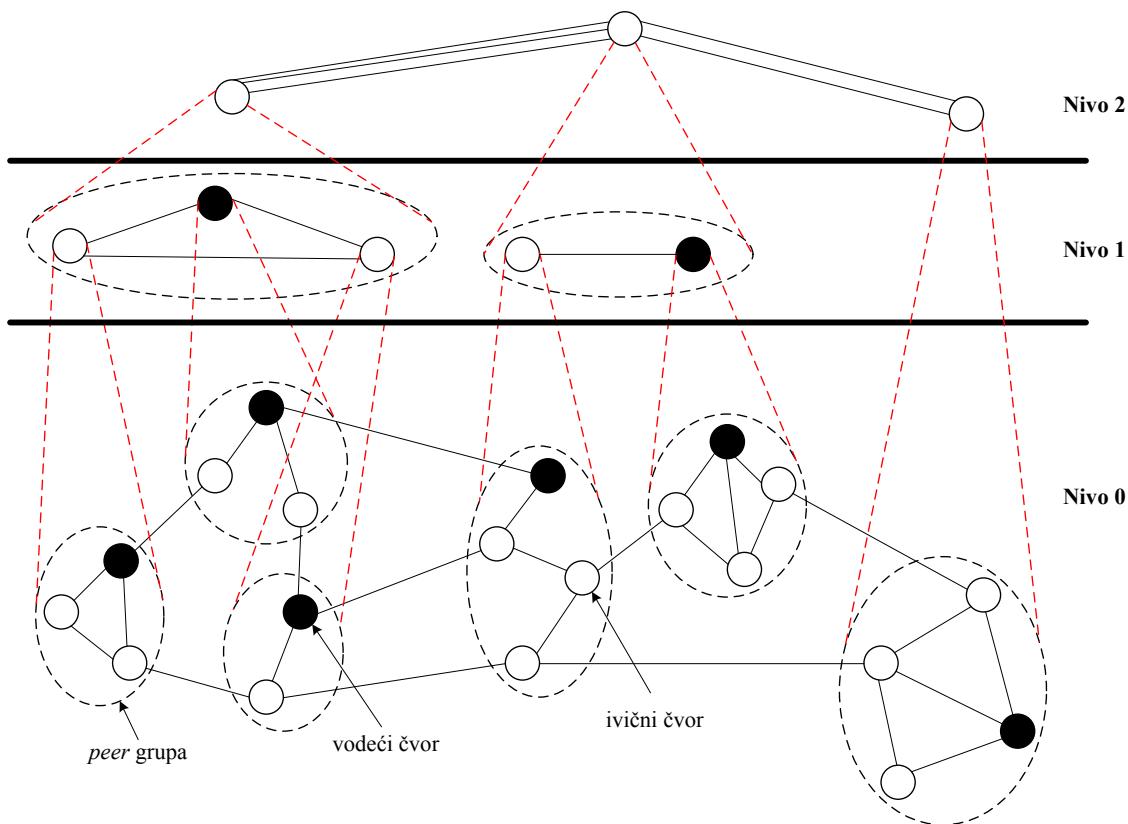
Slika 1.6.3.2.1. Primer Q.2931 uspostave i raskida veze

1.6.3.3. PNNI

PNNI signalizacija se koristi na NNI interfejsu, tj. unutar ATM mreže. PNNI predstavlja skraćenicu od *Private Network Node Interface*, ali i od *Private Network-to-Network Interface*. PNNI je definisan u istoimenom standardu ATM foruma i sastoji se u suštini iz dva dela - dela koji se odnosi na signalizaciju za opsluživanje veze (tzv. signalizacioni deo) i dela koji se odnosi na razmenu informacija o mrežnoj topologiji i određištima (tzv. rutirajući deo). U kratkim crtama ćemo objasniti osnovne principe i funkcije ova dva dela ne ulazeći u detalje.

Rutirajući deo obavlja sledeće funkcije:

- Automatsko otkrivanje suseda i nadziranje stanja linkova
- Sinhronizacija informacija o topologiji mreže
- Plavljenje poruka koje nose informacije o topologiji mreže
- Biranje vodećeg čvora u *peer* grupi
- Agregacija informacija o topologiji mreže
- Kreiranja hijerarhijskih nivoa



Slika 1.6.3.3.1. Hijerarhijska logička struktura ATM mreže

Da bi mrežni čvorovi mogli da rutiraju poziv do odredišta (tražnog korisnika), neophodno je da čvorovi znaju kompletnu mrežnu topologiju (sve čvorove, linkove i odredišta). Međutim, u slučaju većih mreža takvo rešenje je nepraktično, odnosno nije skalabilno. Otuda se vrši podela na hijerarhije da bi se smanjila količina informacija koju mrežni čvor mora da poznaje (slično kao u Internet mreži gde se, na primer, koriste OSPF zone i administrativni domeni). Na najnižem nivou hijerarhije se definišu tzv. *peer* grupe. Unutar *peer* grupe svaki mrežni čvor će znati kompletnu mrežnu topologiju te grupe. Više *peer* grupa se udružuje u sledeći nivo hijerarhije, pri čemu svaku grupu predstavlja tzv. logički čvor grupe. Logički čvor grupe je u suštini predstavnik svoje *peer* grupe u višem nivou hijerarhije i on ostalim čvorovima (logički čvorovi drugih grupa) višeg nivoa hijerarhije (kojem pripada) predstavlja agregirane informacije o svojoj *peer* grupi. Agregirane informacije se koriste da bi se smanjila količina informacija koja se razmenjuje (to je i bio cilj kreiranja hijerarhija), ali i da se sakriju detaljne informacije o unutrašnjoj strukturi *peer* grupe iz sigurnosnih razloga (slično kao kod BGP protokola u Internet mreži). Na identičan način se grupe iz ovog sledećeg nivoa hijerarhije mogu udružiti u viši nivo hijerarhije, gde će opet svaku grupu predstavljati jedan čvor u tom sledećem nivou hijerarhije. Na ovaj način se velike mreže mogu izdeliti na manje celine i može se principom agregacije kontrolisati količina informacija koja se razmenjuje između grupa, odnosno informacije koje čvorovima omogućuju da izvrše funkciju rutiranja poziva do krajnjeg odredišta tj. traženog korisnika. Takođe, mogu se udruživati i grupe iz različitih nivoa hijerarhije, preciznije grupe koje se udružuju u viši nivo hijerarhije ne moraju ispod sebe imati identičan broj nižih hijerarhijskih nivoa. ATM adresa sadrži informacije o pripadnosti hijerarhijskim grupama, tj. na osnovu odgovarajućeg dela ATM adrese čvorovi znaju da li pripadaju istoj grupi nekog hijerarhijskog

nivoa (koji deo ATM adrese se koristi za identifikaciju hijerarhijske pripadnosti zavisi od konfiguracije tj. administrator mreže će konfigurisati čvorove tako da oni znaju tu informaciju). Slika 1.6.3.3.1 ilustruje princip kreiranja hijerarhijskih nivoa. Ivični čvorovi su oni čvorovi *peer* grupe koji su povezani i sa čvorovima drugih *peer* grupa (slično ivičnim ruterima iz Internet mreža). Na najvišem nivou čvorovi su povezani sa više linkova, što je posledica toga što postoji više veza između dotičnih grupa ako se pogleda najniži nivo hijerarhije. Linkovi na višim nivoima hijerarhije su logički linkovi i oni u principu reflektuju veze između odgovarajućih grupa sa nižih nivoa hijerarhije. Isto tako, čvor sa višeg nivoa hijerarhije fizički odgovara nekom od čvorova sa najnižeg nivoa hijerarhije. Čvorovi na višim nivoima hijerarhije se povezuju međusobno koristeći komutirane virtuelne kanale za razmenu rutirajuće signalizacije među sobom. Inače, linkovi se na svim nivoima nazivaju logičkim linkovima, pošto i na najnižem nivou osim fizičkih linkova, to može biti i virtuelni put između dva čvora koja nisu međusobno direktno fizički povezana.

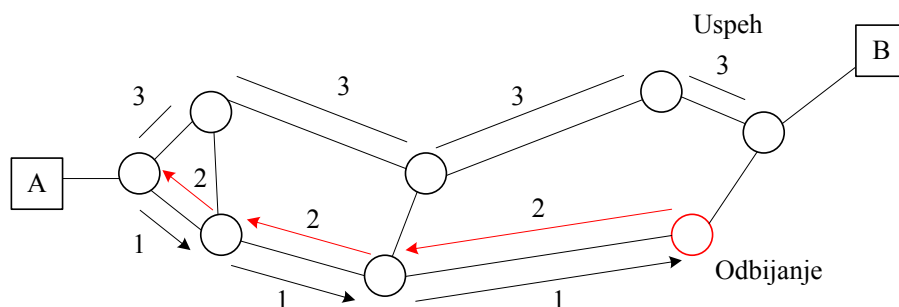
ATM čvorovi, kada se aktiviraju, kreću da šalju 'hello' poruke preko svojih linkova i to u virtuelnom kanalu namenjenom za slanje rutirajuće signalizacije (VPI=0 i VCI=18 u slučaju fizičkog linka, ili VPI=V ($V>0$) i VCI=18 u slučaju logičkog linka tj. virtuelnog puta). Na taj način se otkrivaju susedni čvorovi, ali, isto tako, u toku rada, razmena 'hello' poruka omogućava da se detektuje prekid u radu linka ili susednog čvora (tada će doći do prekida prijema 'hello' poruke od suseda). ATM čvorovi na početku znaju svoje konfigurisane informacije poput na koje linkove i odredišta su povezani, koje klase servisa podržavaju, koji propusni opseg imaju na raspolaganju i sl. Ove informacije se razmenjuju unutar *peer* grupe po principu plavljenja slično kao u slučaju OSPF protokola iz Internet mreže. Na taj način, svaki čvor će dobiti informacije od svih ostalih čvorova dotične *peer* grupe pa će moći da rekonstruiše topologiju mreže *peer* grupe kojoj pripada. Time se postiže sinhronizacija informacija o topologiji mreže, tj. svi čvorovi unutar iste *peer* grupe će rekonstruisati istu topologiju mreže. Da sused pripada istom domenu se detektuje na osnovu ATM adresa. Ukoliko sused ne pripada istoj *peer* grupi tada čvor ne šalje informaciju o topologiji tom susedu. U slučaju detekcija promene u mreži, čvor će ponovo izračunati topologiju mreže i proslediti svoje ažurirane informacije ostalim čvorovima u mreži metodom plavljenja. Isto tako, čak i ako nema promena, čvor će periodično slati svoje informacije da bi sprečio zastarevanje informacija u bazama podataka ostalih čvorova. Inače, informacije o topologiji podrazumevaju povezanost čvorova i linkova, ali i podršku za kvalitet servisa u čvorovima, cene linkova, propusni opseg linkova i druge informacije neophodne za kvalitetno rutiranje poziva na bazi odredišta, zahtevanog kvaliteta servisa i saobraćajnih parametara. Na ovaj način se smanjuje verovatnoća da se poziv rutira na čvorove i linkove koji ne podržavaju ili nemaju resurse da podrže korisnikove saobraćajne parametre i zahtevani kvalitet servisa. U slučaju male ATM mreže, praktično bi se mogla formirati samo jedna *peer* grupa, odnosno samo najniži hijerarhijski nivo. Međutim, kao što smo naveli, ovaj princip nije adekvatan za veće mreže, pa se otuda u većim ATM mrežama formira i više *peer* grupa i više hijerarhijskih nivoa.

Da bi *peer* grupe mogle međusobno razmenjivati podatke vezane za rutiranje, svaka *peer* grupa bira vodeći čvor. Proces biranja je u suštini neprestani proces, pošto se u slučaju otkaza trenutnog vodećeg čvora automatski bira novi vodeći čvor. Takođe, aktivacijom novog čvora u mreži može doći do smene trenutnog vodećeg čvora ovim novim aktiviranim čvorom. Vodeći čvor radi, pored poslova vezanih za rutirajući deo PNNI signalizacije koje rade i ostali čvorovi, i dodatne poslove koji se odnose na agregiranje informacija o topologiji mreže i odredištima i pripremanju tih informacija za oglašavanje na višem nivou hijerarhije. Tipično je vodeći čvor

istovremeno i predstavnik *peer* grupe na sledećem (višem) nivou hijerarhije, ali ne mora da bude u opštem slučaju.

Na višem nivou hijerarhije svaku grupu sa nižeg nivoa predstavlja logički čvor grupe koji predstavlja apstrakciju čitave grupe u vidu jednog čvora. Princip komunikacije je veoma sličan najnižem nivou hijerarhije, s tim da se na ovom nivou s pravom koristi termin logički link jer se koriste komutirani virtuelni kanali za povezivanje tih čvorova na višem nivou hijerarhije (tj. ne koristi se VCI=18 kao kanal namenjen za rutirajući deo signalizacije, već vrednost VPI i VCI identifikatora zavisi od vrednosti dodeljene dotičnoj signalizacionoj vezi, tj. kanalu). Logički čvor grupe prima od vodećeg čvora grupe (kao što smo rekli tipično je to fizički isti čvor) agregirane informacije o topologiji i odredištima grupe sa nižeg hijerarhijskog nivoa. Ove informacije se razmenjuju na dotičnom hijerarhijskom nivou tako da svaka grupa saznaje informacije o odredištima van grupe i načinu kako da dođe do njih (deo puta do tih odredišta koji se nalazi van same grupe će biti naznačen u vidu grupa kroz koje se mora proći da bi se došlo do odredišne grupe, a svaka grupa ponaosob će se postarati za rutiranje kroz svoju topologiju - slično kao kod BGP protokola iz Internet mreže). Informacije koje logički čvor grupe primi od drugih čvorova dotičnog hijerarhijskog nivoa će distribuirati principom plavljenja čvorovima svoje grupe čiji je predstavnik na višem nivou hijerarhije. Na taj način, svaki čvor niže hijerarhijske grupe će znati i za odredišta van dotične grupe i način kako doći do njih (preko kog ivičnog čvora grupe). Ovaj princip se rekurzivno primenjuje pri kreiranju viših nivoa hijerarhije.

Ivični čvorovi u komunikaciji sa susedima iz druge grupe ne razmenjuju podatke o topologiji. Oni razmenjuju proširene 'hello' poruke koje pored praćenja stanja linka omogućavaju da grupe razmene informacije o tome koje predstavnik grupe (logički čvor grupe) na višem nivou hijerarhije. Na taj način, omogućeno je kreiranje logičkih linkova na višem nivou hijerarhije neophodnih za razmenu informacija na tom višem nivou hijerarhije.



Slika 1.6.3.3.2. Primer upotrebe alternativne putanje u uspostavi veze

Signalizacioni deo PNNI signalizacije je baziran na signalizaciji na UNI interfejsu tj. na Q.2931 signalizaciji. Prilikom uspostave poziva neophodno je naći put do odredišta. Postoje dve strategije. Prva je *hop-by-hop* strategija gde čvor samo proračunava sledeći čvor na putanji. Druga varijanta je izvorišno rutiranje gde mrežni čvor na koga je povezan pozivajući korisnik proračunava kompletnu putanju. Putanja se proračunava na bazi informacija skupljenih radom rutirajućeg dela, kao i informacija dobijenih od korisnika (adresa traženog korisnika, saobraćajni parametri, klasa kvaliteta servisa). Preporuka je da se koristi izvorišno rutiranje jer je pouzdanije i ne postoji mogućnost kreiranja petlje kao kod *hop-by-hop* varijante. U slučaju izvorišnog rutiranja, mrežni čvor će proračunati putanju kroz svoju *peer* grupu i niz grupa kroz koje se treba proći do traženog odredišta. Pri tome, svaka grupa će ponaosob (tačnije, ivični čvor u koga se došlo iz prethodne grupe) proračunati detaljnu putanju kroz svoju topologiju. Prilikom uspostave

poziva se proverava da li poziv može biti uslužen, a da se postigne željeni kvalitet servisa i da se ne naruši kvalitet servisa tekućih veza. Ako poziv ne može biti adekvatno opslužen dolazi do odbijanja poziva. PNNI signalizacioni deo omogućava tzv. *crankback* proceduru u okviru koje se raskida veza do tačke odbijanja i pokušava se alternativnom putanjom uspostaviti veza do traženog korisnika. Tek kad na svim alternativnim putanjama dođe do neuspeha, veza se definitivno odbija. Na slici 1.6.3.3.2 je prikazana jedna takva situacija. Prvo je pokušana uspostava na putu 1, ali je došlo do odbijanja (označeno crvenim strelicama), a potom je pokušao alternativni put označen brojem 3 na kojem je došlo do uspeha tj. uspešnog uspostavljanja veze.