

Bredbåndsaksess og internettjenester via satellitt

- tekniske og økonomiske utfordringer -



Satvir Singh Parmar

Oppgave for graden Candidatus Scientiarum

**Fysisk Institutt
Universitetet i Oslo
Januar 2003**



Copyright © Satvir Singh Parmar, 2003

Fysisk institutt
Universitetet i Oslo

Dersom teksten er skrevet ut på papir gjelder: “Etter lov av 12. mai 1960 om opphavsrett til åndsverk, er det forbudt å mangfoldiggjøre innholdet i dette heftet, helt eller delvis, uten forfatterens tillatelse. Forbudet gjelder enhver form for mangfoldiggjøring ved trykking, kopiering, stensilering, båndspilling, video o.l.”

I elektronisk form gjelder: Manuskriptet kan leses fritt fra webservere ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo, og det er tillatt å skrive ut heftet for eget bruk. I tråd med forrige avsnitt er det likevel forbudt å kopiere heftet for videre distribusjon til andre. Det er også forbudt å kopiere filen og legge den over til andre webservere.

Ved direkte sitat eller bruk av resultater fra denne teksten skal forfatters referanse benyttes.

Kontakt Satvir Singh Parmar dersom du skulle ønske annet bruk av dette materialet enn det som er gitt tillatelse til ovenfor. Adressen er:

Fysisk institutt
Universitetet i Oslo
Postboks 1048, Blindern
0316 Oslo
Tel: 918 35 663
E-post: satvir.parmar@fys.uio.no, satvirparmar@hotmail.com

Forord

Denne hovedoppgaven er en del av min *candidatus scientiarum* - grad ved Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo. Arbeidet har vært gjort i samarbeid med Telenor Forskning og Utvikling gjennom deres forskningsprogram *Det totale bredbåndstilbud*.

Aller først føler jeg at det er på plass å takke min hovedveileder Agne Nordbotten som gjorde det mulig for meg å lære masse om satellittsystemer generelt og interaktive satellittsystemer spesielt. I tillegg ønsker jeg å takke Fysisk Institutt ved internveileder Torfinn Lindem og Elektronikkgruppa, som har gitt meg gode rammebetingelser for å dyrke mine faglige interesser de siste 18 månedene. Jeg er ytterst takknemlig for at jeg har fått muligheten til å sette meg inn i et felt som til vanlig ikke undervises eller forskes på ved Fysisk Institutt.

I tillegg ønsker jeg å takke Steinar Kristensen og Gwenael Berthet fra Nera, Borgar Olsen og Jørn Kårstad fra Telenor, samt Tore Aarønes fra Norsk Telecom for faglige diskusjoner og tilgang til viktige data og betraktninger. Dette har vært meget nyttig i et fagfelt hvor boklitteraturen ofte ligger på etterskudd.

Bjørn Veseth i Teleavisen takkes også, for diskusjoner rundt økonomi og prismodeller. Det er hyggelig at han har vist interesse for oppgavens temaer og etterlyst en kronikk/kommentar i deres avis om bruk av satellitter for bredbåndsaksess i Norge.

Jeg synes også det er morsomt å nevne at det faktisk er, paradoksalt nok, Internettet selv som har vært min viktigste inngangsport til et fagfelt som det har vært frustrerende få å diskutere med i hverdagen. Internettet og gode søkemotorer har vært en nødvendighet for å kunne sette seg inn i teknologier i rivende utvikling.

Avslutningsvis ønsker jeg å rette en stor takk til superjentene Ingunn Bjørhovde og Hanne Grinaker som tok på seg den tunge jobben å lese korrektur på deler av oppgaven. Disse to, gode venner og min nærmeste familie fortjener takknemlige ord for at de har støttet meg og gitt meg andre ting å tenke på i en lærerik, men meget frustrerende arbeidsprosess.

Jeg håper denne oppgaven vil være til nytte for kommende studenter, og at våre resultater kan brukes i sammenheng med diskusjonen rundt utrulling av bredbånd i Norge.

Satvir Singh Parmar
Blindern, Januar 2003

Innholdsfortegnelse

Forord	1
DEL I	17
OPPGAVENS MÅLSETNING OG BAKGRUNN	17
Kapittel 1	19
Innledning	19
1.1 Bakgrunn	19
1.2 Problemstilling og oppgavens mål	20
1.3 Oppgavens oppbygning	21
Kapittel 2	23
Satellittkommunikasjon	23
2.1 Digital Video Broadcasting	24
2.1.1 Systemkomponenter	25
2.2 Spesielle forhold knyttet til bruk av TCP/IP via satellitt	26
2.3 Kostnad og kvalitetskrav	27
2.4 Interaktive satellitt-teknologier og operatører	28
2.4.1 Tradisjonell VSAT	28
2.4.2 DVB-RCS	29
2.4.3 Andre satellittnettleverandører	29
Kapittel 3	31
Internettets historie	31
3.1 DARPA/ARPA	31
3.2 Hvordan kom Internett til Norge?	32
3.3 IP blir felles plattform	34
3.4 Dagens Internett blir til: ARPANET fases ut	35
Kapittel 4	37
Bredbånd	37
4.1 Hva er bredbånd?	37
4.2 Ulike kommunikasjonsteknologier og deres kapasiteter	38
4.2.1 DSL - Digital Subscriber Line	38
4.2.2 Kabel-TV	39
4.2.3 Radio-overføring	39
4.2.4 UMTS - Universal Mobile Telecommunications System	40
4.2.5 Satellitt	40

4.2.6	Strømnettet (PLC - Power Line Communication)	40
4.2.7	Faste, leide linjer	40
4.2.8	Fiberoptiske kabler	40
DEL II		43
KOMMUNIKASJONSTEORI OG STANDARDER FOR INTERNETT		43
Kapittel 5		45
TCP/IP		45
5.1	TCP	45
5.2	IP	47
5.2.1	Datagramleveranse	48
5.2.2	IP-Pakker	48
5.2.3	Globale IP-adresser	50
5.2.4	IPv6 – fremtidens nettverkplattform	51
5.3	TCP – Oppkoplingen	52
5.4	Sliding Window	55
5.4.1	Algoritmen	56
5.5	Slow Start og Congestion Avoidance	58
5.6	Fast Retransmit og Fast Recovery	60
5.7	Spesielle problemer med pakketransport over satellitt	60
5.7.1	Stort forsinkelse-båndbredde produkt (DBP)	60
5.7.2	Stor forsinkelse	61
5.7.3	RTO-målinger	62
5.7.4	Kumulative ACK	62
5.7.5	Delayed ACK	62
5.7.6	Kommunikasjonskanalens kvalitet – Bit Error Rate (BER)	62
5.7.7	Asymmetriske kanaler	63
5.7.8	Variabel tidsforsinkelse	63
5.7.9	Oppkopplingsbrudd	63
5.7.10	Løsninger	63
5.8	Tjenestekvalitet over satellitt (Quality Of Service)	64
5.8.1	IntServ og DiffServ	65
Kapittel 6		67
DVB-RCS		67
6.1	Nettverket	69
6.1.1	RCST synkronisering	70
6.2	Transportmekanismer i DVB-RCS	71
6.2.1	ATM trafikkburst	71
6.2.2	MPEG2-TS trafikkburst	72
6.2.3	Synkronisering og ressursallokering	72
6.3	MAC – meldinger (Medium Access Control)/Tilgangskontroll	75

6.3.1	Enkapsulering av MAC-meldinger og data	75
6.4	Problemer med bredbåndstjenester med DVB-RCS	77
6.4.1	Forsinkelse	77
6.4.2	Opplink-nedlink-problemet	78
6.5	Nedlink: MPEG-TS	79
6.5.1	Fargebilder	80
6.5.2	Rammetyper	80
6.5.3	Sende MPEG over et datanettverk	81
6.6	Opplink: Multippel Aksess	83
6.6.1	FDMA	83
6.6.2	TDMA	83
6.6.3	CDMA	84
6.6.4	MF-TDMA	84
6.6.5	Oppdeling av den totale link-kapasiteten	86
6.6.6	Transportstrøm	88
Kapittel 7		91
Tjenestesjangre innen Multimedia		91
7.1	Multimedietjenestene i detalj	93
7.1.1	Websurfing	93
7.1.2	Video-on-Demand (VoD)	93
7.1.3	Videokonferanse	93
7.1.4	Filoverføring	94
7.1.5	Kringkasting	94
7.1.6	Opplasting og monitorering	94
7.2	Båndbredde- og kapasitetskrav	95
DEL III		99
EKSPERIMENTELL VERIFISERING		99
Kapittel 8		101
Eksperimentell verifisering/evaluering		101
8.1	Systemoppsett og testforberedelser	102
8.1.1	Dynamisk ressursallokering	103
8.1.2	Forberedelser	104
8.1.3	Forventet kapasitet	104
8.2	Testprosedyrer	105
8.2.1	FTP-filoverføring	105
8.2.2	IP-trafikk	106
8.3	Resultat av tester gjort på DVB-RCS testsystem	107
8.3.1	Testresultater	107
8.3.2	Nytt testforsøk	109
8.3.3	Trafikkbelastning på Pilotoppsett av DVB-RCS	110

DEL IV **113**
ØKONOMISKE BETRAKTNINGER **113**

Kapittel 9 **115**

Kostnadsoverslag for data via DVB-RCS **115**

- 9.1 DVB-RCS – kostnadsrammer, fortrinn og ulemper 115
- 9.2 ADSL 118
- 9.3 Kapasitet 119
 - 9.3.1 Kapasitet per satellittposisjon 119
 - 9.3.2 Kapasitetsbegrepet – momentan hastighet vs. snitthastighet 120
 - 9.3.3 Prioritet 121
 - 9.3.4 Kapasitetsbehovet i HB@ (Hybrid Bredbånds @ksess) 121
 - 9.3.5 Ujevnt kapasitetsbehov som følge av ujevnt bruksmønster 122

Kapittel 10 **123**

Scenarieteknikk: **123**

Datamengdebehovet for én brukerprofil **123**

- 10.1 Trafikkscenarier 124
- 10.2 Én bruker – kostnader og kapasitet 127
 - 10.2.1 Scenario 1 - hjemmebruker; hverdag – kveld/natt: 127
 - 10.2.2 Scenario 2 - hjemmebruker; helger og ferie – dag/kveld/natt: 129
- 10.3 Drøfting av scenariene som ble brukt 130
- 10.4 Kostnadsbetraktninger med nedjustert kapasitetsbehov 131
- 10.5 Hvilke konklusjoner kan trekkes? 133

Kapittel 11 **135**

Mulige prismodeller **135**

- 11.1 Etablerte prismodeller for internettaksess 136
- 11.2 Fordeler og ulemper ved de enkelte prismodellene 136
 - 11.2.1 Bruksuavhengig prising/fastpris 136
 - 11.2.2 Tidsbasert prising 137
 - 11.2.3 Volumbasert prising 138
 - 11.2.4 Kombinert prising 138
- 11.3 Tiscali 138
- 11.4 British Telecom 139
- 11.5 Viktige trender 140
 - 11.5.1 Hvor er det mest behov for bredbånd? 140
 - 11.5.2 Storbrukere og flaskehalser 140
 - 11.5.3 Vil peer-to-peer tjenester tillates i fremtiden? 141
- 11.6 Skisse av mulig prismodell for DVB-RCS 142
 - 11.6.1 Investering i infrastruktur vs. investering i kapasitet 142
 - 11.6.2 Hvilket markedssegment vil DVB-RCS antakeligvis treffe? 144
 - 11.6.3 Markedspenetrasjon – antall brukere 146
 - 11.6.4 Installasjonskostnader 147
 - 11.6.5 Månedsutgifter for sluttbruker 148

11.6.6	Oppsummering og konklusjon	149
DEL V		151
AVSLUTTENDE BETRAKTNINGER OG KONKLUSJON		151
Kapittel 12		153
Konklusjon		153
12.1	Teknisk	153
12.2	Økonomisk	154
Kapittel 13		157
Avsluttende betraktninger		157
13.1	Simultankapasitet og forsinkelse	157
13.1.1	Celleteknologi	157
13.1.2	Svitsjing, om-bord-prosessering (OBP) og enkelthopp systemer	159
13.2	Multicast	159
13.3	Komprimeringsteknologi	161
13.4	Konvergens av teknologier	162
13.4.1	Always-on	162
13.4.2	Multitransponder-mottaker	162
13.5	Sentralisert vs. spredt infrastruktur	164
13.6	Hvilke aksessteknologier vil overleve?	164
DEL VI		167
APPENDIKS		167
A.1 ATM		169
	Cellene	169
A.2 Prismodelltyper og datamengdekostnad		170
	Klassedelte prismodelltyper med forskjellige utgangspriser	170
	Prismodell A	170
	Prismodell B (70% av prisene i A)	170
	Prismodell C (50% av prisene i A)	170
	Inntjening på månedsbasis med 45 000 brukere	171
	45 000 brukere: Prismodell A	171
	45 000 brukere: Prismodell B (70% av prisene i A)	171

45 000 brukere: Prismodell C (50% av prisene i A)	171
Inntjening på månedsbasis med 30 000 brukere	172
30 000 brukere (Prismodell A)	172
30 000 brukere (Prismodell B / 70% av A)	172
30 000 brukere (Prismodell C / 50% av A)	172
Inntjening på månedsbasis med 15 000 brukere	173
15 000 brukere (Prismodell A)	173
15 000 brukere (Prismodell B / 70 % av A)	173
15 000 brukere (Prismodell C / 50% av A)	173

A.3 Gjeldende DSL – priser	170
Privat	170
Bedrift	170

Figurer

Figur 2.1: Komponenter i en interaktiv satellittløsning	26
Figur 2.1: Dekningsområde for Telenors satellitter og Intelsat 707	28
Figur 5.1: OSI-modellen	46
Figur 5.2: TCP-IP-modellen, også kalt internettmodellen	46
Figur 5.3: En IP-datapakke	49
Figur 5.4: IP-adresstyper	51
Figur 5.5: TCP header format	53
Figur 5.6: Treveis håndtrykk	54
Figur 5.7: Eksempel på en TCP/ACK-sesjon	54
Figur 5.8: Nettverket som et rør (eng: pipe)	55
Figur 5.9: Sliding window hos sender	56
Figur 5.10: Sliding window hos mottaker	57
Figur 5.11: Pakker i transit under slow start	59
Figur 5.12: TCP i oppstartsfase	59
Figur 6.1: Referansemodellen for interaktive satellittsystemer	67
Figur 6.2: Referansemodell for interaktivt satellittnettverk [18 – ETSI, 2000]	70
Figur 6.3: ATM-trafikkbursts	71
Figur 6.4: MPEG2-TS trafikkburst	72
Figur 6.5: Synkronisering av flere RCST'er i et MF-TDMA satellittsystem	73
Figur 6.6: Prinsippskisse for multipleksing av data fra flere brukere over satellitt	73
Figur 6.7: Synkroniseringens burst format (SYNC)	74
Figur 6.8: Inndelingen av en CSC-Burst	74
Figur 6.9: ATM-enkapsulert i en DULM-melding	76
Figur 6.10: MPEG enkapsulert i en DULM-melding	77
Figur 6.11: Et dobbelt satellitthopp og Opplink/Nedlink-problemet	79
Figur 6.12: MPEG2-komprimering av bilderammer	81
Figur 6.13: MPEG2-komprimert videostrøm	82
Figur 6.14: FDMA – frekvensdeling	83
Figur 6.15: TDMA – tidsdeling	84
Figur 6.16: CDMA – kodebasert deling	84
Figur 6.17: Fastluke MF-TDMA	85
Figur 6.18: MF-TDMA med dynamisk lukeallokering	85
Figur 6.19: Typisk superframe-organisering i et interaktivt satellitt nettverk	87
Figur 6.20: Superframe-oppbygging	87
Figur 6.21: Rammeoppbygging	88
Figur 6.22: En TDM-transportstrøm fra én transponder	89
Figur 8.1: Systemoppsettet som ble brukt under testene på DVB-RCS pilotnettverk sommeren/høsten 2002	102
Figur 8.2: Trafikkbelastningen over Nittedal jordstasjon generert av DVB-RCS pilotsystem den 19.11-2002	110
Figur 11.1: BTs skisse over hjemmesystem for toveis bredbånd over satellitt	135
Figur 11.2: Hvordan investeringsnivået til de enkelte bredbåndsteknologiene øker med økt dekningsgrad og forskjellig brukertetthet [35 - FWBA]	143
Figur 11.3: Bosetningsmønsteret i Norge	145

Figur 13.1: Inndelingsskisse av det totale frekvensbånd.....	158
Figur 13.2: Spotbeam; bruk av celleteknologi i satellittnettverk	158
Figur 13.3: OBP; skisse av et enkelthopp-system.....	159
Figur 13.4: RCST med evne til å lytte på flere transpondere simultant.....	163

Tabeller

Tabell 6.1: Betydningen av parameterne i CSC-burst.....	75
Tabell 6.1: Eksisterende MPEG-standarder per 2002.....	80
Tabell 7.1: Multimedietjenester definert i Embrace, og som er vanlige kategorier i bredbåndsbransjen.....	92
Tabell 7.2: Båndbreddekrav for bredbåndstjenester	96
Tabell 8.1: FTP testresultater fra et DVB-RCS testnettverk, sommer/høst 2002	107
Tabell 8.2: HTTP testresultater fra DVB-RCS testnettverk, sommer/høst 2002	108
Tabell 8.3: Netmeeting testresultater fra DVB-RCS testnettverk, sommer/høst 2002	108
Tabell 10.1: Definisjon av scenarier for hjemmebruker	124
Tabell 10.2: Antatt bruksmønster for multimedia i hjemmemarkedet, hverdag, kveld og natt.....	125
Tabell 10.3: Antatt bruksmønster for multimedia i hjemmemarkedet; helger og ferie.....	125
Tabell 10.4: Gjennomsnittlig og maks kapasitetsbehov for hjemmemarked; hverdag, kveld og natt.....	126
Tabell 10.5: Gjennomsnittlig og maks kapasitetsbehov for hjemmemarked; helger og ferie	127
Tabell 10.6: Antatt bruksmønster for internettbasert multimedia i hjemmemarkedet; hverdager.....	132
Tabell 10.7: Antatt bruksmønster for internettbasert multimedia i hjemmemarkedet; helger og ferie.....	133
Tabell 10.8: Kostnadsprofil på bakgrunn av justert brukerscenario	134
Tabell 11.1: Hastighetsprofil på BTs satellittløsning, oktober 2002.....	139

DEL I

Oppgavens målsetning og bakgrunn

Kapittel 1

Innledning

1.1 Bakgrunn

Både myndighetene i Norge og de fleste land i resten av verden har satt seg mål om å knytte sine innbyggere til Internett. De fleste har innsett at Internettet er et medium som bringer nye verdier til samfunnet og skaper innovative krefter i industri, næringsliv og befolkning.

I første rekke dreide diskusjonen seg om hvordan knytte alle innbyggerne til Internett. Flere brukere har medført flere internettjenester, som i sin tur stiller nye krav til datanettverkens bakstruktur. Tyngre internettjenester krever større hastighet, eller bredere kapasitetsbånd (bredbånd), til sluttbruker. Derfor har man i den senere tid sett en dreining i fokus. Nå har diskusjonens kjerne blitt hvordan man skal ta steget vekk fra smalbandteknologier som modem og ISDN, til å kunne tilby bredbandsaksess til folket. EU har gjennom sitt 6. rammeprogram gitt målsettingen ”Bredbånd til alle” topp prioritet.

Det overordnede målet er at alle innbyggere skal få tilgang til bredbandstjenester, uavhengig av hvor i landet de bor eller hvilken befolkningstetthet det er i deres region. Det finnes etter hvert mange bredbandsteknologier, som DSL, kabel og fiber, alle med forskjellige egenskaper i forhold til pris, kapasitet og dekningsområde. Spørsmålet nå er hvem som skal tilby bredbandsaksessen, hvilken teknologi som er gunstig økonomisk og da hvilken teknologi som bør brukes. Dette er en vurdering som må tas i henhold til teknologienes respektive egenskaper. I Norge er dette en beslutning man har latt være opp til det private næringsliv. Forskjellige operatører har forskjellig teknologi og investerer der de ser det finnes et stort nok marked til å gjøre utrulling lønnsom. Problemet oppstår imidlertid med det følgende:

De ovennevnte teknologiene har én ting til felles: De krever tunge investeringer i infrastruktur, og kostnaden eskalerer dersom de skal nå ut til *alle* brukere i en nasjon.

Teknologier som baserer seg på kabel eller fiber er mindre lønnsomme desto færre brukere det er per arealenhet i områdene de ruller ut i. Dette faktum har den naturlige følge at det private næringsliv har fokusert på utbygging i sentrale strøk, mens utkant-Norge til dels har blitt neglisjert. Det virker som om dagens utrullingsmodell har medført færre bredbandsmuligheter jo lavere befolkningstetthet det er i et område.

Myndighetene i Norge har definert et ønske og mål om å tilby alle norske husstander bredbandsaksess, på lik linje med andre land i Europa og den vestlige verden. Dog er det ett evig distriktpolitisk dilemma også i denne saken; veldig få bredbandsteknologier lønner seg i rurale områder. Hvordan skal man da kunne klare å tilby bredbånd til alle husstander, dersom de private bredbandsoperatørene vegrer seg for å grave kabler, ledninger eller fiber til enhver bosetning i landet og befolkningstettheten er for lav for kravet i bredbands radioaksess systemer?

Noen mener at myndighetene må ta ansvar for å bygge ut infrastrukturen til et landsomfattende bredbåndsnett, på lik linje med veier, elektriske nett og annen infrastruktur. Staten på sin side venter til det siste, for å se hvordan utviklingen med markedsstyrt utrulling ter seg. Uansett, resultatet er at noen må vente lenger på bredbånd enn andre. Dette skaper et teknologisk skille i befolkningen, der noen har aksess på tjenester som andre ikke har stor nok kapasitet til å bruke. Dette er et skille som helt klart setter distriktene i Norge i uheldig.

Som med fjernsynet, er det fortsatt kun de geostasjonære satellittene som evner å kommunisere med *alle* innbyggere i Norge gjennom radiobølger. Man fant fort ut at den mest effektive måten å tilby TV-kanaler til alle innbyggerne i Norge på, var å kringkaste signalene gjennom satellitt. Signalet sendes én gang og alle med mottakerparabol kan samtidig lytte på signalet. Transmisjonskostnadene kan dermed fordeles på alle brukerne. Er dekningsområdet til satellitten stort, og brukerne mange, blir kostnaden per sluttbruker tilsvarende liten.

Radiobølger er et kommunikasjonsmedium – hva man sender med det er i grunn kun begrenset av fantasien. I de siste årene har det vært betydelig aktivitet med å digitalisere TV-signaler fordi dette har vist seg å være meget ressursbesparende. Dette betyr at man sender TV i form av data gjennom satellitt til brukerne. Om man sender TV-data eller vanlig internettdata gjennom satellitten har i seg selv ingen prinsipielle forskjeller, vi har såkalt tjenestekonvergens. Dog er det fortsatt en god del forskjeller i protokollene og standardene brukt i henholdsvis TV- og dataverdenen. Men dersom man nå evner å sende IP-data (Internet Protocol) gjennom satellitt, og i tillegg klarer dette med tilstrekkelig kapasitet kan man tilby bredbåndaksess til *hele* folket og nomadiske/mobile brukere. Da har man en gammel løsning på et nytt problem.

1.2 Problemstilling og oppgavens mål

Denne oppgaven har, i samarbeid med Telenor Forskning og Utvikling (FoU), tatt for seg en del generelle problemstillinger vedrørende IP over satellitt. Mer spesielt har vi sett på det interaktive satellittsystemet DVB-RCS (Digital Video Broadcasting – Return Channel System) og dets fordeler og ulemper slik det fungerer i dag. DVB-RCS er det første store, åpne og kommersielle systemet for internett over satellitt.

Opgaven har med dette hatt et todelt målgruppescenario:

For det første skal den belyse og undersøke en del tekniske og økonomiske tema, som et grunnlag for debatten rundt bruk av satellitter for bredbåndaksess. Dette er ment som et diskusjonsgrunnlag, både for Telenors prioriteringer som satellitt- og bredbåndoperatør, men også for den generelle debatten som pågår om bredbåndsutrulling i Norge.

I annen rekke har det vært et ønske å redegjøre for og forklare noen temaer innen datateknologi, som til vanlig ikke er på agendaen ved Fysisk Institutt, Universitetet i Oslo. Det er et håp at deler av denne oppgaven kan brukes av kommende studenter ved instituttet for å sette seg inn i datakommunikasjonen generelt og satellittkommunikasjon spesielt. Det er generelt viktig å etablere en forståelse for hvilke muligheter denne type teknologi byr på, hvilke begrensninger den har og hva som er de sentrale problemstillingene i en videreutvikling.

DVB-RCS er en av de nye teknologiene som kan benyttes for IP-basert datatransport over satellitt og dermed gi tilgang til interaktive bredbåndstjenester. Teknologien er fullstendig uavhengig av all annen infrastruktur, da både opplinks- og nedlinkskommunikasjonen går gjennom en parabol hos brukeren. I så måte er dette en meget interessant teknologi i forhold til fullstendig bredbåndstrulling i Norge. Derfor er det viktig å forstå teknologien og dens anvendbarhet relativt til andre bredbåndsteknologier.

Denne oppgavens hovedmål og problemstilling har vært å redegjøre for de tekniske og økonomiske forholdene rundt DVB-RCS. Det har vært et ønske fra Telenor å se på systemets evne til å levere IP-tjenester, samt undersøke hvorvidt systemet lar seg realisere rent økonomisk og hvordan det eventuelt kan gjøres. Med bakgrunn i dette og de nevnte delmålene har vi gjennom denne hovedoppgaven ønsket å belyse følgende temaer:

- Redegjøre for satellittens historiske utvikling og dens rolle i Internettets historie.
- Internettets historiske utvikling og dets bruk av protokollene TCP (Transport Control Protocol) og IP.
- Redegjøre for forskjellige definisjoner av og krav til bredbånd, for å gi en pekepinn på hvilket kapasitetssegment DVB-RCS bør sikte på.
- Redegjøre for DVB-RCS-standarden og teste DVB-RCS' funksjonalitet i et pilotnettverk satt opp av Nera og Telenor, for å verifisere standardens evne til å levere bredbåndstjenester.
- Skissere kapasitetsbehovet for systemet ved bruk av oppsatte scenarier basert på statistikk rundt den norske befolkningens bruksmønster av multimedietjenester.
- Belyse de økonomiske aspektene for et fremtidig kommersielt system, samt skissere en mulig prismodell for fremtidig utrulling av DVB-RCS.

Disse målene setter rammene for arbeidet som er gjort og danner grunnlaget for en oppgave som, i hovedtrekk, dreier seg om teknologi og økonomi. Det sistnevnte er noe uvanlig for en oppgave skrevet ved Fysisk Institutt, men er likevel et viktig fokus for en teknologi som ikke vil kunne utvikle seg, såfremt det ikke er mulig å lage en økonomisk levbar modell for utrulling.

1.3 Oppgavens oppbygning

Gjennom å angripe hovedoppgavens problemstilling, har resultatet fått en naturlig inndeling. Oppgaven er delt inn i seks deler, som til sammen gjennomgår alle delmålene over.

Del I tar for seg bakgrunnen for oppgaven, med fokus på å sette leseren inn i generelle temaer som er sentrale for forståelsen av feltet vi ønsker å penetrere. Denne delen inneholder generelle redegjørelser om satellittkommunikasjon, Internett og til sist bredbånd.

Del II går dypere inn i det teoretiske rammeverket som ligger til grunn for å kunne tilby bredbåndstjenester gjennom satellittnettverk. Denne delen tar for seg både den underliggende teori for IP-basert datakommunikasjon, DVB-RCS som global standard for interaktivitet gjennom satellitt og kapasitetskrav som settes til systemet av multimedietjenester.

Del III viser resultatene som ble oppnådd da vi testet DVB-RCS i et pilotoppsett sommeren og høsten 2002. Denne verifiseringen av systemets kapabilitet ble gjort i samarbeid mellom Nera, Telenor FoU og Telenor Satellite.

Del IV tar i hovedsak for seg de økonomiske betraktningene man er nødt til å gjennomgå for å kunne realisere et interaktivt satellittnettverk kommersielt. Sentrale tema her er kostnadsprofilen for en operatør, avsatt kapasitet i satellittnettverket, antallet brukere som kan betjenes, samt brukerscenarier for å danne et bilde av belastningen systemet kan forvente. I tillegg er det i denne delen forsøkt å skissere en mulig prismodell for et kommersielt DVB-RCS system, basert på markedsmessige betraktninger.

Del V setter fokus på interessante sidespor som vi har berørt i arbeidet med denne oppgaven. Denne delen antyder hva man kan forvente seg av fremtidens satellittnettverk. Her skisseres det hvilke teknologiske utfordringer og løsninger som kanskje kan løse forutsette problemer i satellittnettverkene spesielt, og innen datakommunikasjon generelt. I tillegg vil denne delen konkludere de erfaringene vi har gjort oss i arbeidet med denne oppgaven, i henhold til problemstillingen og de overordnede målene for arbeidet.

Del VI er et appendiks, der et relevant system for datakommunikasjon er kort beskrevet. I tillegg er det her listet opp hvordan en type prismodell som er skissert i denne oppgaven vil falle ut med forskjellige verdier for markedspenetrasjon og abonnementspriser.

Kapittel 2

Satellittkommunikasjon

De fleste anerkjenner i dag Arthur C. Clarke (1917-) som personen som først unnfanget ideen om å bruke geostasjonære satellitter til bruk for kommunikasjon mellom mennesker. Clarke er en velkjent science-fiction forfatter, med blant annet *2001: A Space Odyssey* (1968) som en av sine mest kjente verker. I 1945 skrev Clarke i artikkelen *Can Rocket Stations give world-wide radio coverage?* at en satellitt i en sirkulær bane rundt jorden, med radius på 42242 km fra jordens midtpunkt, ville ha en banehastighet lik jordens. En slik satellitt ville kunne opprettholde sin faste posisjon over et fast punkt på jordoverflaten og derfra motta og sende radiosignaler. Tre slike satellitter med 120° mellom seg, ville dekke hele jordens overflate. Dette mente Clarke ville muliggjøre rask og effektiv kommunikasjon mellom to hvilke som helst punkter på jorden, forutsatt at satellittene hadde evnen til å kommunisere seg imellom.

Som ment med denne sjanger litteratur, var Clarkes ideer forut for sin tid. Men med mye forskning innen raketteknologi, gjorde Sovjetunionen i 1957 Clarkes fiksjon til virkelighet med oppskytingen av SPUTNIK 1. 4. oktober klarte sovjetiske forskere å plassere historiens første satellitt i bane rundt jorden. I 1963 plasserte man for første gang en satellitt i en geostasjonær bane, slik Arthur C. Clarke hadde forutsett.

Siden dette første steget mot rombasert kommunikasjon har satellitter inntatt en stadig viktigere rolle innen telefonkommunikasjon, TV- og radiokringkasting, maritim navigasjon, militære kontroll og overvåkningssystemer og datakommunikasjon. I kjølvannet av satellittens utvikling fra 1957 til i dag, har det vokst fram mange forskningsmiljøer og industri innen flere viktige teknologifelt; radiobølgeutbredelse, antennteknologi, banemekanikk, modulasjons- og kodingsteknologier og elektronikk. Årsaken til en slik oppblomstring i denne industrien er såre enkel; det har vært stor etterspørsel etter tjenestene satellittene har tilbudt menneskene. Siden 1965 har Intelsat (the International Telecommunication Satellite Organization) hatt en vekst på 20 prosent hvert år og midtveis på 80-tallet var antall toveis kommunikasjonslinker over satellitt til enhver tid i størrelsesorden 35000.

En av de absolutt største konkurransefortrinnene satellitten har framfor andre typer kommunikasjonsteknologier som for eksempel radiolinje og fiberoptikk, er dens billige måte å kringkaste signaler til store områder og mange brukere på. En geostasjonær satellitt kan i teorien alene dekke mer enn 1/3 av jordens overflate, og slik kan man med én sending nå ut til flere brukere enn med noen annen teknologi. Naturligvis har dette hatt en oppsving sammen med menneskenes økte bruk av TV, siden TV er det mediet som bruker mest av de kommersielle satellittenes ressurser.

Satellittkommunikasjon med bruk av VSAT (*Very Small Aperature Terminal*) har eksistert i de siste 15-20 år og det er i dag over 500.000 slike terminaler i bruk på verdensbasis. "Very

Small” betegner små satellitt-terminaler med antenner fra 0,6 meter – 2 meter. Navnet har et historisk opphav og er meget relativt i forhold til almuens forståelse av størrelser. Tidligere stod VSAT-begrepet i kontrast til de store jordstasjonene og deres parabler med størrelser opptil 20 meter.

Det har etter hvert blitt mange grener innen satellittkommunikasjon og det forskes mye for å utvikle og forbedre satellitten for dens rolle i den globale telekommunikasjon. Selv om det alltid er vanskelig å forutsi utviklingen, er det likevel noen områder hvor man ser trender. Følgende hovedtrender gjelder for satellittkommunikasjon i dag [25 - Global VSAT Forum-Technology Trends]:

- Lavere kommunikasjonskostnader - Økt satellittkapasitet per satellitt gjør at kapasitet vil bli billigere, samt at bruk av kraftigere satellitter muliggjør mindre og billigere radioutstyr (sender/mottager) på bakken.
- Bedre overføringskapasitet - Nye modulerings og kodingsteknikker som bedrer feilhåndtering, samt at bruken av høyere frekvenser øker den mulige båndbredden.
- Lavere utstyrkostnader/høyere pålitelighet - Reduserte kostnader knyttet til hardware grunnet reduserte priser på ASICs (Application Specific Integrated Circuits) som utfører en stor del av VSAT-funksjonene i satellitterterminaler. Bruk av ASICs reduserer også antallet komponenter, som igjen øker påliteligheten. Dette øker bruken av VSAT-teknologi og medfører dermed lavere kostnader (masseproduksjonsfordeler).
- Nye tjenester - Lavere kostnader, totalt sett, øker muligheten til å utvikle nye kosteffektive tjenester, som igjen øker bruken av satellitt.

Alle disse forhold gjør det interessant å vurdere satellitt som en mulig kommunikasjonsbærer for dagens bruk av kommunikasjonsløsninger. Spesielt er satellitten sett på som en kosteffektiv løsning i teknologienes konvergens. Det vil si at alle typer kommunikasjon (http, e-post, tale, video og TV) er i bevegelse mot bruk av samme kommunikasjonsplattform, nemlig pakkebasert datastrømmer, basert på IP-teknologi (Internet Protocol). Videre vil en satellittbasert løsning umiddelbart gi dekning i hele Norge fra dag én dersom en tjeneste etableres. Begrensningene ligger i hvor stor kapasitet som dedikeres innenfor et område, og selvfølgelig hvor utstrakt bruken av slike tjenester blir (belastning). I tillegg har satellitten også en del ulemper, som lang transmisjonstid, støyfølsomhet og mangel på om bord prosesseringsteknikker. De sistnevnte problemene skal vi se nærmere på i denne oppgaven.

2.1 Digital Video Broadcasting

I forbindelse med standardiseringen av digitalisert TV rettet mot massemarkedet gjennom Digital Video Broadcasting (DVB) organisasjonen, er det også utviklet standarder for utveksling av IP-trafikk (pakke-data), både distribusjon (DVB-Satellite) og returkanal, via satellitt (DVB- RCS (Return Channel System)) [26 – DVB].

Standardiseringen innenfor DVB forventes å gi betydelig lavere kostnader knyttet til både satellitt-endeutstyret og satellitt-jordstasjonen, samt muligheten for utvikling av tradisjonelle internettjenester via satellitt. Dette har sammenheng med at DVB allerede er en etablert standard innen digital kringkasting, noe som gjør at nye løsninger er compatible med eksisterende teknologi og kan brukes på tvers av tidligere atskilte tjenester.

DVB – organisasjonen er et industriledet konsortium av over 300 kringkastingsorganisasjoner, produsenter, nettverksoperatører, softwareutviklere, regulatorer og andre i over 35 land. Disse har forpliktet seg til å designe globale standarder for overføring av digitale TV og datatjenester.

Kjernen i DVB's målsetting er å etablere verktøy og mekanismer for å påvirke interoperabilitet og samspill mellom ulike nettverk, utstyr og systemer slik at innhold og innholdsbaserte tjenester kan distribueres til forbrukerne og bedrifter. DVB har i de senere årene satt et stadig større fokus på levering av datatjenester. Tidligere lå fokus på levering av tradisjonelle TV-kanaler og interaktiv TV. Dette er et ledd i at flere tidligere etablerte teknologier som nevnt konvergerer mot en og samme plattform.

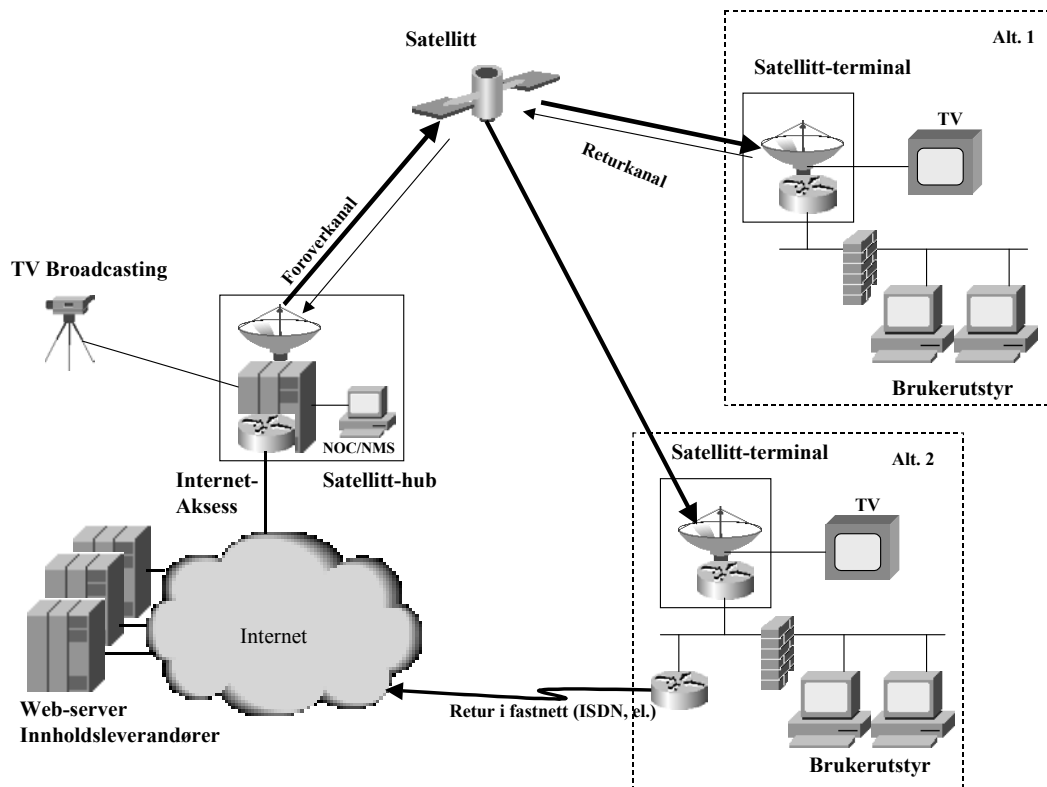
Innenfor DVB er det utviklet egne standarder for distribusjon via satellitt (DVB-S), og interaktivitet (returkanal) via både bakkenett (DVB-RCP (ISDN/PSTN), DVB-RCC (kabel)) og satellitt (DVB-RCS).

2.1.1 Systemkomponenter

Følgende komponenter inngår i en interaktiv satellittløsning presentert med utgangspunkt i DVB-RCS.:

- Internett aksess til satellitt-jordstasjon
- Satellitt-hub (jordstasjon/ Network Control Center (NCC))
- Satellitt
- Satellitt-terminal (RCS-Terminal (RCST))
- Opplink (foroverkanal)
- Nedlink (returkanal)
- Brukerutstyr (PC, eventuelt TV)
- Innholdsleverandører

Disse systemkomponentene er vist i figuren under:



Figur 2.1: Komponenter i en interaktiv satellittløsning

Figuren viser retur via både satellitt (Alt.1: DVB-RCS) og jordnett (Alt.2: ISDN – Integrated Service Digital Network eller lignende).

2.2 Spesielle forhold knyttet til bruk av TCP/IP via satellitt

For å kompensere for forsinkelse i forbindelse med overføring av signaler via geostasjonær satellitt, grunnet den lange avstanden (cirka 36000 km) benyttes følgende mekanismer:

- TCP (Transport Control Protocol) – akselerasjon med effektivisering av datasesjoner og vindustørrelser. Med dette menes at både satellitt-terminal og satellitt-huben kvitterer ut meldinger lokalt, slik at forsinkelsen via satellitten ikke påvirker TCP, samt at TCP modifiseres for å oppnå høyere hastigheter. Dette er et godt utforsket tema og løsninger finnes som hyllevare produsert av flere software-produsenter.
- Forhåndshenting/caching(lagring) av internettadresser (push-and-pull system). Med dette menes at satellitt-huben starter henting av adresser og linker (grafiske objekter, innholdselementer o.l.) på en webside når den mottas, slik at når brukerens nettleser ber om disse adressene er de allerede under overføring, eller lagret på lokale servere.

Dette vil medføre at internettaksess via satellitt vil ha tilnærmet samme egenskaper som tradisjonell internettaksess via bakkenettet. Det er viktig å påpeke at en satellittløsning kan egne seg dårlig til sanntidsapplikasjoner som krever rask respons (ref. interaktive dataspill på Internett og streaming video).

Videokonferanse eller liknende applikasjoner mellom en bruker på satellitt-terminal og en annen bruker på jordnett vil ha de samme egenskapene som satellittbaserte TV-overføringer.

Det betyr en liten, men merkbar forsinkelse av bilde og lyd. Dersom begge deltagerne i en videokonferanse er tilkopleet Internett bak satellitt-terminaler i det samme nettverket, vil disse oppleve en dobbelt forsinkelse fordi svitsjing av signaler mellom to endebbrukere i et satellittnettverk må foregå i satellitt-huben (jordstasjonen). Dette medfører at signalene må traversere satellitten to ganger (dobbelt satellitt hopp), noe som gir økt forsinkelse.

2.3 Kostnad og kvalitetskrav

I en satellittløsning inngår følgende kostnadselementer [19 – Høykom]

1. **Satellitt-hub (jordstasjon).** Det er en investeringskostnad knyttet til hub'en som håndterer opplink/nedlink, aksesskontroll og internettaksess. En satellitt-hub må eventuelt integreres med satellittoperatørens eksisterende nettverksinfrastruktur, driftsopplegg og avregningssystem. Kostnad for satellitt-huben er idag 10-20 millioner norske kroner (MNOK). En slik satellitt-hub kan benyttes til flere parallelle anvendelser, blant annet betjene flere transpondere på samme satellitt, flere satellitter og flere tjenesteområder. Tatt i betraktning at Telenor, som er den mest aktuelle operatør for et slikt system i Norge, allerede har to større jordstasjoner (Nittedal og Eik) vil denne kostnadsposten i stor grad dreie seg om oppgraderinger og tilføyelser til eksisterende sentral-servere.
2. **Satellittsegment.** Dette er den betydeligste kostnaden i en satellittløsning. Et grovt prisanslag for satellittkapasitet er 0,5 MNOK per MHz per år, noe som betyr 18 MNOK per år for en transponder (på grunn av koding vil en transponder med 36 MHz båndbredde kunne gi opptil 50 Mbps (megabit per sekund) brutto båndbredde med QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Med dynamisk bruk av ledig satellittkapasitet kan disse kostnadene muligens reduseres. Videre forventes det en betydelig økning av tilgjengelig satellittkapasitet de nærmeste årene, på grunn av digitaliseringen av signaler, som kan medføre lavere priser (reduksjon på 50-80% fra dagens prisnivå)
3. **Satellitt-terminal (hjemme).** En ren satellittmottager (DVB-S) med mulighet for mottak av IP-trafikk koster relativt lite i dag (3-4000 NOK) og da har man eventuelt retur via bakkenett. En satellitt-terminal med evnen til å betjene flere PC'er og returkanal via satellitt koster i dag cirka 26 000 NOK. Dersom salgsvolumet for slike terminaler øker, forventes det en prisreduksjon til 18 000 NOK i løpet av kort tid, og enda lavere kanskje ned mot 10 000 NOK i løpet av 2-3 år.

En satellittløsning er kostnadseffektiv i forbindelse med følgende applikasjoner:

- Rask levering av store datamengder individuelt til et vilkårlig antall lokasjoner
- Levering av samme informasjon til mange lokasjoner samtidig med garantert ytelse og kvalitet.
- Leveranse av bredbånd for aksessnett der ingen andre alternativer foreligger

En satellittløsning vil kunne være kostnadseffektiv dersom man kan:

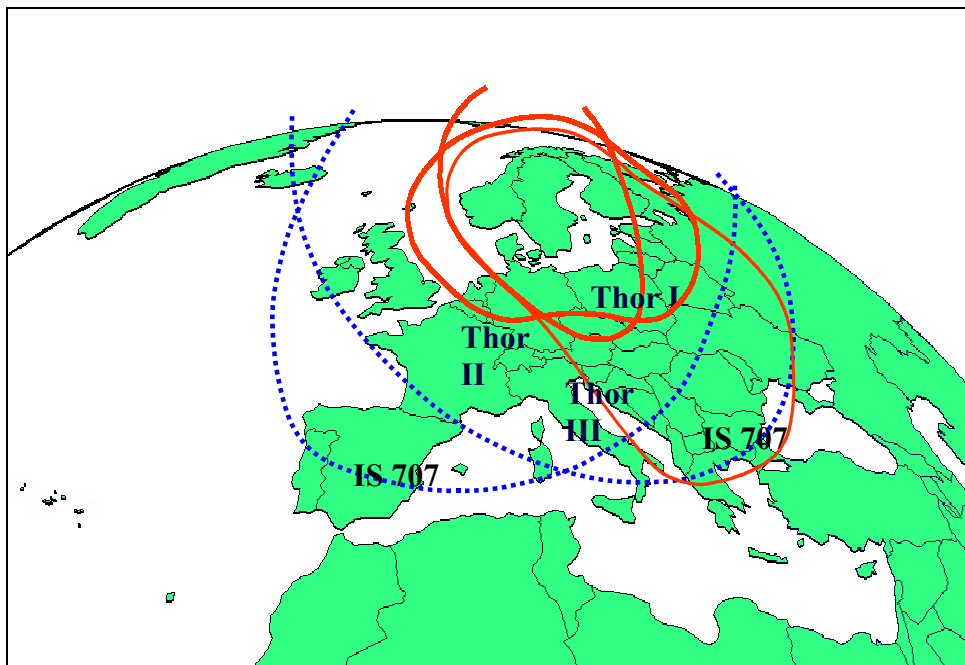
- disponere kapasitet etter behov dynamisk (on-demand)
- laste ned større filer som en del av en multicast-gruppe

- disponere ulike faste bit-rater forskjellige tider på døgnet og ukedager tilpasset forventet/erfaringsbasert kapasitetsbehov
- belegge kapasiteten med komplementære behov (bedrifter dagtid, private kveldstid, distribusjon av innhold på natten)

2.4 Interaktive satellitt-teknologier og operatører

Telenor har tradisjonelt vært en stor leverandør av satellitt-tjenester spesielt innenfor mobil satellittkommunikasjon (Inmarsat) og TV-kringkasting (Canal Digital) for hjemmemarkedet. Telenor leverer videre en rekke VSAT løsninger til bedrifter i Norge og internasjonalt.

Figuren under viser dekningsområdene til Telenors satellitter Thor I, II og III og Intelsat 707:



Figur 2.1: Dekningsområde for Telenors satellitter og Intelsat 707

2.4.1 Tradisjonell VSAT

Telenor kan i dag levere tradisjonelle VSAT-løsninger basert på proprietær teknologi som gir maks 2 Mbps i nedlink og $n \times 64$ kbps i opplink (returkanal), avhengig av antall tilknyttet satellitt terminaler (30 stk gir 64 kbps, 15 stk. gir 128 kbps, og 4 stk. gir 512 kbps til sluttbruker). Utstyrskostnad per bruker og årlige driftskostnader for en slik løsning er betydelige (inkludert satellittkapasitet og driftskostnader). Dette er en ren linjesvitsjetjeneste med maksimalt 30 VSAT per segment med 64kbit/s returkanal per bruker. Denne tjenesten er ikke aktuell for bredbåndstjenester via satellitt, fordi den gir for liten båndbredde og er for kostbar.

2.4.2 DVB-RCS

Telenor har gjennom konsernprosjektet Hybrid bredbåndsaksess (HBA) (høsten 2001) prøvd ut DVB-RCS i Svolvær (Svolvær-piloten). I Svolvær ble 43 brukere (bedrifter, skoler, privatpersoner) utstyrt med satellitt-terminaler fra Nera Satcom, hvor internettaksess via satellitt skulle prøves ut.

Svolvær piloten ble avsluttet ved utløpet av 2001. Det er etablert en intensjonsavtale mellom Nera og Telenor om videreføring av installasjonen og forsøkene i 2002, hvor blant annet Telenor vil stille satellittkapasitet til disposisjon og Nera nødvendig utstyr. Systemtestingen som ble gjort sommeren 2002 og som er betraktet i denne hovedoppgaven, er en del av denne intensjonsavtalen.

Når det gjelder DVB-RCS har Telenor Plus gi signaler på at de foreløpig ikke vil satse på en slik teknologi på et rent kommersielt grunnlag. Telenor kan være interessert i å etablere en tjeneste basert på DVB-RCS i samarbeid med offentlige aktører, dersom det kan skapes et tilfredsstillende kommersielt grunnlag der Telenors risiko blir redusert. Dette er diskutert både med Telenor Business Solutions (Nextra) som internettleverandør og Taide som leverandør av satellittkapasitet. Denne oppgaven vil ta for seg noen av de økonomiske betraktningene som inngår i en slik vurdering.

2.4.3 Andre satellittnettleverandører

En rekke av de andre satellittnettleverandørene holder på å utvikle/evaluere tjenester basert på DVB-RCS. Dette gjelder blant annet Eutelsat som har et samarbeid med Nera om å utvikle en satellitt-hub og satellitt-terminaler for DVB-RCS.

Den første som har annonsert tjenester for bruk av DVB-RCS er Aramiska. De har inngått en avtale med Eutelsat om leie av transponderkapasitet på en satellitt (Atlantic Bird 2). Den planlegges først lansert i England og med salg i resten av Europa i løpet av 2002. Aramiska benytter satellitt-terminaler/hub fra Newtec, satellitt-uplink fra Belgacom, og utstyr hos sluttbruker (cache-server/email-server fra HP) [27 - Aramiska]. I denne tjenesten leverer Eutelsat kun transponderkapasitet. Ulike tjenestepakker og pris for disse, samt dekningsområde, finnes på Aramiskas hjemmeside.

Tilsvarende kommer Astra til å tilby DVB-RCS-terminaler til sine bedriftskunder i løpet av 2002. Astra vil da ha et dekningsområde som dekker Norge med unntak av Nord-Norge (deler av Nordland, Troms og Finnmark) [28 - Ses-astra].

I Nederland har internettleverandøren nl.tree inngått avtale med Hughes Network Systems om å levere internettaksess via satellitt til 800 skoler som ikke har andre tilbud om bredbåndsaksess. I denne løsningen vil det bli benyttet proprietær satellitt-teknologi fra Hughes som gir opp til 500 kbps i nedlink, og noe mindre i opplink.

Sommeren 2002 kommersialiserte Tiscali og British Telecom (BT) en interaktiv satellitt-tjeneste med satellittbasert returkanal for henholdsvis det norske og britiske markedet. BT har basert seg på DVB-S, mens Tiscali ikke oppgir hvilken teknologi som brukes. Men da begge operatører bruker et system levert av Gilat Inc, antas det at også Tiscali bruker DVB-baserte teknologier i senere prismodell-sammenlikning.

Kapittel 3

Internettets historie

Historien om Internett begynner på midten av 60-tallet hvor det amerikanske forsvarsdepartementet fryktet et sovjetisk atombombeangrep. I den forbindelse utviklet de et datanettverk som skulle motstå virkningene av et eventuelt angrep. Nettet fikk navnet ARPANet (**A**dvan**R**e**S**e **R**esearch **P**roject **A**gency **N**ETwork), et såkalt pakkesvitsjet nettverk der data, som skulle sendes over nettet, ble fordelt i pakker som valgte individuelle ruter på vei til mottakeren. Ble et knutepunkt ødelagt, ville dataene simpelthen velge en annen vei til mottakeren. Kompleksiteten og uforutsigbarheten i systemet ville gjøre det svært vanskelig å sette det ut av drift. Norge har helt siden starten av det som skulle bli til dagens Internett vært med på å utvikle og teste nettstrukturens forløpere. ARPANET ble utviklet av DARPA (US **D**efence **A**dvanced **R**esearch **P**rojects **A**gency), et forskningsorgan under det amerikanske forsvaret. Norge var i 1973 det første landet som ble koplet til dette nettverket, gjennom NORSAR (**N**ORwegian **S**eismic **A**Rray) på Kjeller. Pål Spilling (1934-), av mange regnet som det norske Internettets far, har skrevet en artikkel om utviklingen av Internett: "*Fra ARPANET til Internett, en utvikling sett med norske øyne*" [14 – Pål Spilling, 1995]. Hovedmomentene i utviklingen er som følger:

3.1 DARPA/ARPA

Forløperen til Internettet og infrastrukturen som brukes i dette nettverket, var en ide som ble unnfanget i perioden 1960-65 av to forskere. Paul Baran (1910-2000) hos RAND Corporation i USA og Donald W. Davies (1924-1964) ved National Physics Laboratory (NPL) i England fremsatte begge, uavhengige av hverandre, ideen om pakke-svitsjing som basis for kommunikasjon i distribuerte systemer. Dette brøt med de tidligere linjesvitsjede kommunikasjons-nettverkene. I 1962 begynte Dr. J.C.R Licklider (1915-1990) hos DARPA, den samme organisasjonen som senere fikk navnet ARPA. Licklider's visjon om en "On-line-community of people", hvor datamaskinene skulle være en hjelp til kommunikasjon mellom mennesker og en støtte for menneskelige beslutningsprosesser, var revolusjonerende og starten på prosjektet som senere fikk navnet ARPANET.

Ideen om nettbasert på pakkesvitsjing fikk grobunn hos DARPA da man skjønnte betydningen av dette for militære anvendelser. Man så for seg et nett bestående av to hovedkomponenter:

- En samling pakkesvitsjer (basert på minimaskiner) knyttet sammen i et nettverk ved hjelp av telefonlinjer og modem, og med tilstrekkelig grad av pålitelighet, forsinkelse og kapasitet, til en pris som gjorde at dette lot seg realisere.
- En samling av "hosts" eller vertsmaskiner tilkoplett nettet, en vert for hver pakkesvitsj, og med programvare som tillot ressursdeling og støtte for person-til-person kommunikasjon.

Nett-delen fikk man relativt tidlig en god nok forståelse av til å, i grove trekk, kunne spesifisere kravene til pakkesvitsjene, mens det man hadde behov for i vertsmaskinene hos sluttbrukerne fortsatt var meget diffust. Men for DARPA var dette tilstrekkelig til å starte arbeidet. I første omgang ville man kople sammen universiteter, forskningsinstitutter og militære organisasjoner som var involvert i militære forsknings- og utviklingsoppdrag. Kontraktarbeidene i forbindelse med nettet ble startet opp i 1968/69. DARPA overlot til de deltakende institusjoner å finne ut av hvordan programvaren i vertsmaskinene måtte være. Dette klarte de med hell og de første versjoner av vert-til-vert transportprotokollen (Network Control Protocol (NCP)) og applikasjonene Telnet og FTP (File Transfer Protocol) så dagens lys omtrent samtidig med at man var gjennom den første testfasen. Noe senere kom elektronisk post. En dupleks vert-til-vert forbindelse bestod av to simpleks NCP forbindelser, og var basert på pålitelig overføring gjennom nettet.

Desember 1969 ble fire pakkesvitsjer (noder) plassert ut hos Stanford Research Institute, UCLA (University of California Los Angeles), UCSB (University of California Santa Barbara) og hos University of Utah i Salt Lake City, for en første eksperimentell utprøving og raffinering. Nettet ble kalt ARPANET. Etter testperioden ble nettet utvidet i stort tempo i USA. I desember 1970 bestod nettet av 13 noder, stort sett konsentrert på øst- og vestkysten. I 1975 bestod nettet av ca 50 noder, med ytterpunkter på Hawaii, Kjeller og London. Mellom 150 og 200 vertsmaskiner var da tilkoplede.

3.2 Hvordan kom Internett til Norge?

NORSAR på Kjeller ble satt i drift i 1970/71 som en del av et globalt system for deteksjon av underjordiske atombombep prøver i forbindelse med en internasjonal prøvestansavtale. Innledende kontakt om dette ble tatt så tidlig som i 1965. Den amerikanske initiativtaker var DARPA ved sitt "Nuclear Test Detection Office", og fra norsk side deltok FFI (Forsvarets forskningsinstitutt). NORSAR ble drevet av Norges Teknisk-naturvitenskapelige forskningsråd (NTNF) med finansiering fra DARPA. En liknende deteksjonsfasilitet var blitt installert i Montana, USA og senere ble liknende installasjoner gjort andre steder (Iran, Alaska og Korea). Senteret for dette systemet ligger i Virginia hos Seismic Data Analysis Center (SDAC). Herfra gikk det faste linjer til de ulike deteksjonsfasilitetene i Norge, Iran, Korea, Montana og Alaska. Overføringskapasiteten på linjen fra NORSAR til SDAC var på 2.4 kbps og gikk via den nordiske satellittstasjonen ved Tanum i Sverige.

Robert Kahn (1938-) fra DARPA, besøkte FFI i 1972. DARPA ville undersøke mulighetene for et samarbeid om ressursdelende datanett, som blant annet innbefattet utvikling av pakkesvitsjet satellittkommunikasjon. Som et ledd i et slikt samarbeid, ville DARPA utvide ARPANET til Norge og kople NORSAR's maskiner til dette. Dette skulle skje ved å plassere en node hos NORSAR med fast linje til SDAC i Virginia. Videre ønsket DARPA å plassere en node hos University College London (UCL) med en 9.6 kbps fast linje til NORSAR. DARPA mente at linjekapasiteten mellom NORSAR og USA (via Tanum jordstasjon) måtte være 64 kbps. DARPA var meget engstelig for at en 9.6 kbps linje ville ha marginal kapasitet og at dette ville kunne bringe den nye teknologien i miskreditt. Denne linjen skulle jo ta unna trafikken fra NORSAR, fra eventuelle andre norske maskiner og trafikken fra London.

Yngvar Lundh (1932-) fra FFI fattet sterk interesse for et slikt samarbeidsprosjekt og arbeidet aktivt for å få dette realisert, blant annet med å få Televerket ved TF (Televerkets Forskningsinstitutt, nå Telenor FoU) engasjert i dette. Ideen var at et samarbeid med TF om

pakkesvitsjet satellittkommunikasjon skulle resultere i at Televerket ville holde en 64 kbps linje fra Kjeller til jordstasjonen på Tanum, tillate plassering av eksperimentelt utstyr inne i jordstasjonen for bruk mot en fast 64 kbps kanal over satellitten INTELSAT-IV og holde den "norske" andelen av satellittkanalen. Tanken om å utnytte denne kanalen i pakkesvitsjet modus, det vil si på tidsdelt basis, representerte en stor utfordring for INTELSAT-organisasjonen. Som alle andre organisasjoner på den tiden tenkte de bare punkt-til-punkt samband (Single Carrier Per Channel). Regelverket deres kunne ikke håndtere "multi-destination half duplex", som det nye konseptet ble kalt. Det som medførte at hver jordstasjon betalte sin opplink til satellitten. Det tok Robert Kahn vel to år å få gjennomslag for dette hos INTELSAT. Det resulterte i at satellittprosjektet ikke startet opp før i 1975/76.

I juni 1973 ble noden på NORSAR installert, med en 9.6 kbps linje via Tanum til SDAC og en tilsvarende linje til UCL-noden i London. Da satellittprosjektet startet opp, hadde Yngvar Lundh fått i havn et samarbeid med TF. Lille julaften 1976 utstedet Televerket koplingsordre på to linjer fra Kjeller til Tanum, en på 9.6 kbps og en på 48 kbps og i tillegg til satellittens opplink. Dette ble stilt til disposisjon for prosjektet. Avtalen gjaldt ut 1977, men ble senere forlenget til ut 1980. 9.6 kbps linjen skulle erstatte den norske delen av NORSAR-noden til SDAC forbindelsen, for å redusere omkostningene. Foruten NORSARs to IBM anlegg, var det planlagt at RBK's dataanlegg (Regneanlegget Kjeller-Blindern) og FFI's datalaboratorium skulle koples til. RBK-anlegget ble aldri tilkopledd.

I påvente av at satellittprosjektet skulle ta av, startet FFI tidlig i 1975 forberedende arbeider for å kople sitt datalaboratorium til NORSAR-noden. Prosjektet ble ledet av Yngvar Lundh med forsker Pål Spilling som teknisk utførende.

Det ble opprettet en norsk ARPANET komité (desember 1973) som skulle koordinere mulige norske aktiviteter mot DARPA. Komiteen bestod av representanter fra NTNf, NORSAR, RBK, NTH (Norges Tekniske Høgskole) og Televerket. Komiteen kom aldri frem til konstruktive forslag til samarbeid, og oppløste seg selv i 1975. Det eneste konkrete resultat av komiteens arbeid var en avtale med Televerket som satt betingelsene for norske institusjoners tilkøpling til NORSAR-noden. Grunnen til mangel av samarbeidsforslag var nok flere, blant annet dukket det opp konkurrerende forslag til et europeisk informasjonsnett (EIN) og til et nordisk informasjonsnett.

Tilkøplingen av NORSAR-noden til ARPANET via satellittlinken viste seg ikke å fungere særlig effektivt. Dette skyldtes den lille båndbredden og den lange gangtiden via satellitten mellom noden i USA og NORSAR. Denne tiden var mye lengre enn mellom to noder forbundet via en jordbunden link. Man måtte derfor til med spesialtrimming (justering av retransmisjonstiden) på denne linken for å få opp effektiviteten.

Altså ble det i den aller første norske oppkøpling mot et ressursdelende datanett brukt satellitter, og man opplevde allerede den gang utfordringer med å effektivisere denne kommunikasjonskanalen.

DARPA hadde i denne perioden planer om å utvikle et pakkesvitsjet satellittnett. Dette skulle på sikt tilkoples ARPANET og tjene som sammenkøplingsledd mellom for eksempel datanett i USA og Europa. Satellittprosjektet ble startet opp i 1976, med 20 - 30 deltakere fra en rekke institusjoner i USA, fra UCL og FFI. Det var prosjektmøter hver tredje måned og møtene gikk på rundgang mellom de deltagende institusjoner. Nettet, kalt SATNET, var operativt i slutten av 1979. Prosjektet ble da terminert, men SATNET ble holdt operativt frem til 1986-87.

DARPA så behovet for internett, blant annet hadde store konsern som XEROX vist sin interesse og tok del i det videre arbeidet. De initiale konseptene ble utviklet og publisert av Robert Kahn(1938-) og Vinton Cerf (1943-) i mai 1974. På den tiden var Cerf professor på Stanford University. I tillegg til internettegenskapene, så de behov for en mer fleksibel og pålitelig transportprotokoll enn den som da ble benyttet i ARPANET. Transportprotokollen måtte bygge på en underliggende forbindelsesfri nett-tjeneste som er velegnet for adaptiv ruting i nettet. I det opprinnelige konseptet var internettegenskapene integrert med transportprotokollen. Transportprotokollen inneholdt også port-begrepet for adressering av ulike applikasjoner (tjenester) på toppen av transportprotokollen. De så også behovet for "gateways" mellom ulike nett. Disse gatewayene skulle rute informasjonen basert på globale adresser og fragmentere pakker som var for store for det nettet de skulle sendes inn i. Reassemblering av fragmentene skulle da utføres i mottakende endemaskin. Grunnlaget for dagens TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) og rutere var lagt.

De første forsøk med TCP/IP-kommunikasjon ble utført mellom Stanford og UCL i 1975. XEROX trakk seg ut av dette arbeidet etter en stund, for å etablere sin egen standard protokoll familie. Den hadde mange likhetstrekk med TCP/IP. Deres IP-versjon ble kalt PUP, som står for Parc Universal Packet. I perioden 1976-1978 etablerte XEROX sitt interne konsern-nett som bandt sammen cirka 25 Ethernet lokalisert på de ulike XEROX-avdelingene over hele USA, ved hjelp av rutere og leide linjer. Dette nettet kalte de X.25.

Det ble raskt innsett at TCP og IP burde splittes. Dette ble gjort, men på en slik måte at IP kunne leve sitt eget liv mens TCP derimot fortsatt ble avhengig av IP. Dette ligger i måten TCP definerer endepunktene for en forbindelse, der IP-adressene inngår. Via gjentatt eksperimentering frem til 1980, ble IP og TCP raffinert og forbedret. Det ble også utviklet en rekke støttefunksjoner for navn-til-adresse-konvertering, tjenestetype-til-TCP-port-konvertering, global IP-adresse-til-lokalnettadresse-konvertering osv. Tjenestene på toppen av TCP, som Telnet, FTP og elektronisk post (SMTP) gjennomgikk også en rask utvikling i denne tiden. Det samme gjaldt også ARPANET. Det var derfor et vel utprøvd kommunikasjonskonsept som ble vedtatt som standard for det amerikanske forsvaret i midten av 1980.

Berkeley universitetets kontraktarbeid for DARPA i slutten av 70-årene og utover i 80-årene om videreutvikling og raffinering av AT&T's UNIX system, inkluderte blant annet integrering av TCP/IP protokoll familien i systemet. Dette har fått meget stor betydning for utvikling og bruk av datakommunikasjon. Integrasjonen av kommunikasjonsprotokollene og kommunikasjons-tjenestene i operativsystemet UNIX har vært et forbilde for svært mange implementatorer og programvareleverandører. Berkeleys UNIX system, kalt 4.x BSD, ble etter hvert stilt gratis til rådighet for alle universiteter, ikke bare i USA, men også i Europa. I tillegg ble et lisensiert system også stilt til rådighet, etter avtale med DARPA, til organisasjoner som samarbeidet med DARPA (blant dem Televerkets Forskningsinstitutt).

3.3 IP blir felles plattform

I tillegg ble TCP/IP protokollfamilien implementert under en del andre operativsystem også, som TENEX og TOPS20. Nå var tiden inne for DARPA til gradvis å fase ut den gamle ARPANET transport-protokollen NCP og erstatte denne med TCP/IP, slik at ulike nett-typer som ARPANET, Ethernet, Proteon-ring-nett, SATNET og X.25 kunne koples sammen ved

hjelp av IP-rutere til et operativt hele. Arbeidet startet i slutten av 1981 og var gjennomført i første kvartal av 1983. Dette ble kalt INTERNET og ble overvåket, vedlikeholdt og administrert av en forskerenhet i Boston. De hadde utviklet ruterne som inngikk i dette. Alle tilkoplinger til INTERNET måtte i denne tiden godkjennes av DARPA.

Alt lå nå til rette for en "veritabel nett-eksplosjon". UNIX med kommunikasjons-programvare for internetting var tilgjengelig og lot seg lett flytte over til ulike hardware plattformer. Det var forholdsvis enkelt å bygge inn drivere for de ulike typer nettgrensesnitt, nevnt over. Et konsept for grafiske arbeidsstasjoner som ble utviklet på Stanford universitetet sammen med Berkeleys UNIX løsning, ble utgangspunktet for dannelsen av et lite selskap kalt SUN (Stanford University Network). Kjernen i den første SUN-stasjonen (SUN-1) inneholdt et 68000-basert CPU-kort for Multibus. Det var utviklet på Stanford. Ruterne ble nå også kommersielt tilgjengelige. Det bør her nevnes at grunnleggerne av ruterfirmaet CISCO også kom fra Stanford University Network og benyttet det samme CPU-kortet i sin første ruter som den SUN benyttet i SUN-1. I tillegg hadde XEROX, Digital og Intel gått sammen om å spesifisere og utvikle sitt 10 Mb/s lokalnett i 1979, kalt DIX, som ble en *de facto* industristandard. Samtidig startet IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) i USA standardiseringsarbeidet på lokalnettområdet.

3.4 Dagens Internett blir til: ARPANET fases ut

Ønskene om å kople seg til INTERNET var mange. DARPA satte som betingelse at INTERNET bare skulle benyttes til ikke-kommersielle anvendelser, i første rekke forskning. Med forskning mente de her forskning i generell betydning og ikke kun det som hadde med kommunikasjon. Det ble derfor etter hvert mulig for offentlige institusjoner, universiteter, høyskoler, forskningsinstitutter og bedrifters FoU-avdelinger å kople seg til. Dette skjedde stort sett ved å kople lokalnett til eksisterende ruter eller via egne ruter og leide linjer til nærmeste ruter i INTERNET. Slik ble INTERNET stadig utvidet og fikk etter hvert en meget innfløkt infrastruktur uten klare grenser og uten et sentralisert opplegg for administrasjonen av det. De ulike delene ble betalt og drevet av et utall organisasjoner på mer eller mindre frivillig basis. DARPA argumenterte sterkt for at National Science Foundation (NSF) skulle ta over driften av deler av INTERNET. Det lå både i DARPA's og NSF's interesse å kunne kople sammen de fem "Super-computer" installasjonene (Cray) i USA og la disse bli tilgjengelig for studenter, forskere og andre som hadde behov for stor regnekraft. Etter en del om og men tok NSF ansvaret for å drive et ryggradsnett som inkluderte et sett med ruter og som bandt sammen de fem supermaskinene. På samme måte tok romfartsorganisasjonen NASA ansvaret for et annet ryggradsnett. Disse nettene ble koplet sammen ved hjelp av egnede ruter. Nettene hadde nå forgreninger til Europa; NASA's del til CERN (European Organisation for Nuclear Research) i Geneve og NSF's del til CWI (National Research Institute for Mathematics and Computer Science in the Netherlands) i Amsterdam. Den gjenværende delen av ARPANET ble nå etter hvert overflødig. Det var mer effektivt og rimelig å erstatte ARPANET med ruter og faste linjer med stor nok kapasitet. ARPANET ble derfor utfaset rundt om 1984-85 og SATNET noe senere (86-87). Og med dette forsvant også INTERNET; det internettet som var under DARPA's kontroll. I stedet fikk vi et stadig økende konglomerat av nett og ruter kalt internett (med små bokstaver), uten overordnet struktur og med mange eiere og driftsorganisasjoner.

Avslutningsvis tar jeg med et sitat fra Pål Spillings artikkel [14 – Pål Spilling, 1995], som viser at denne litt ustøe veien fram til dagens Internett likevel har skapt noe som har betydning for flere og flere i verden:

”Det er bemerkelsesverdig at dagens internett fungerer så godt som det gjør, når man tenker på at det er meget inhomogent og at de ulike delene eies og drives av ulike organisasjoner. Dette indikerer at rutingsmetodene som benyttes er svært robuste, adaptive og effektive.”

(Pål Spilling, 95)

Kapittel 4

Bredbånd

Med den siste tidens fokusering på bredbåndsutruiling, både fra statlige hold og media, har det dukket opp mange forskjellige definisjoner på hva bredbånd er. Selv om markedet jevner seg ut i disse dager og flere operatører fusjonerer eller går konkurs, sitter befolkningen igjen med en arv av definisjoner og forskjellige nettverksarkitekturer. I dette kapitlet ønsker jeg å gjennomgå de mange forskjellige teknologier som har vært tiltenkt brukt for bredbånd i Norge. I tillegg forsøker jeg å gi en varig definisjon på bredbånd som kan være gyldig i lengre tid fremover, tatt i betraktning at applikasjonene og bruksmønsteret også endrer seg med høyere og bedre kommunikasjonshastigheter.

4.1 Hva er bredbånd?

Det norske Post- og Teletilsynet definerer bredbånd på følgende måte:

Båndbredde er et uttrykk for overføringskapasitet, det vil si datastrøm per tidsenhet i et system. En vanlig inndelingsmåte for bredbånd er:

- **Smalbånd:** ≤ 64 kilobit per sekund
- **Mellombånd:** 64 kilobit per sekund – 2 Megabit per sekund
- **Bredbånd:** > 2 Megabit per sekund

Dette er også i tråd med EUs definisjon som mener at man minst må ha 2 Mbps for å kunne kalle det bredbåndskapasitet. Statistisk Sentralbyrå (SSB) derimot, tar til takke med 384 kbps, når de på sine sider opplyser at det er 2,6 millioner Internettabonnement i Norge, hvorav 80000 er bredbåndstilknyttet. De anser med andre ord ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) som en bredbåndstjeneste.

Det som er felles for disse definisjonene er at de knytter begrepet bredbånd ene og alene til kapasitet: *Antall dataenheter som sluttbruker kan få per tidsenhet.* UNINETT, Norges forvalter av kommunikasjonsnett for forskningsinstitusjoner, høyskoler og universiteter, har bygget nettinfrastruktur og utviklet internettjenester de siste 15 årene. De definerer bredbånd opp mot tjenester, heller enn kapasitet. Følgende definisjon er tatt fra deres nettsider:

UNINETT definerer bredbånd til å være høykapasitets datanett med nok kapasitet til å bære sanntids høykvalitet video til en eller flere brukere på nettet. Basert på dagens mpeg2-standard vil én videostream kreve overføringskapasitet på 5 - 6 Mbps (millioner bits pr. sekund) eller nærmere 1 millioner tegn pr. sekund. Stadig flere tjenester på nettet vil være basert på sanntids lyd og video, og utbredelsen av disse tjenestene vil være avhengig av god overføringskvalitet, som igjen har en klar sammenheng med høy kapasitet på nettet.

UNINETT definerer altså bredbånd ut fra de tjenester som kan leveres til det antall samtidige brukere som ønsker tjenesten. De mener at bredbånd skal tilby nok kapasitet til å "bære sanntids høykvalitet video til en eller flere brukere". Med dagens teknologi og komprimeringskodekser vil dette kreve minimum 5 Mbps til sluttbruker. Det er i dag vanlig å bruke MPEG-2 (Moving Picture Expert Group) for video, både for digital TV-kringkasting (DVB) og sanntidsvideo til PC. Men MPEG er en standard som stadig forbedres og klarer å tilby høykvalitets video med mindre og mindre kapasitet. Allerede i dag finnes MPEG-4 standarden, MPEG-7 og MPEG-21 skal være på vei. Dette betyr at selv om man trenger 5 Mbps for å falle inn under bredbåndsdefinisjonen til UNINETT med dagens komprimeringsteknikk, vil ikke dette nødvendigvis være tilfellet om noen år. I teorien kan utviklingen medføre at man klarer å tilby høykvalitets video, som per dags dato er den mest kapasitetskrevede tjeneste, over smalere bånd, slik som ISDN. Teknologi har, som historien viser, en meget rask utvikling og derfor mener jeg UNINETTs definisjon er en "robust" definisjon som reflekterer hva som bør være målet med enhver bredbånds-utrusting: Å bygge en infrastruktur som kan tilby sluttbrukeren de tjenestene som krever mest kapasitet, med høy kvalitet. Derfor vil jeg bruke denne definisjonen for de forskjellige kommunikasjons-teknologiene.

4.2 Ulike kommunikasjontechnologier og deres kapasiteter

I det følgende gjengir jeg UNINETTs oversikt over de ulike kommunikasjontechnologiene som tilbys eller er under utprøving eller forskning i det norske markedet i dag:

4.2.1 DSL - Digital Subscriber Line

DSL er en samlebetegnelse på ulike standarder for høyhastighets dataoverføring over eksisterende telefonlinjer (kobberkabel). Felles for løsningene er at de krever lite investering i form av nye linjer, men det vil være behov for utstyr i telefonsentralene samt en kommunikasjonsboks (modem) hos abonnenten. DSL-tjenester har den fordel i forhold til for eksempel ISDN at abonnenten vil være fast oppkoblet mot Internett og betaler en fast pris i forhold til den kapasiteten det abonneres på. DSL egner seg best som aksessnett for husstander og mindre bedrifter.

ADSL - Asymmetric Digital Subscriber Line

ADSL er den DSL-teknologien som det selges mest av og som markedsføres som den mest tilgjengelige bredbåndstjenesten for husstander. Tjenesten er asymmetrisk på den måten at en får høy overføringshastighet inn til PC-en (fra 384 kbps til 2 Mbps) og noe lavere hastighet ut

(opp til 512 kpbs). For å få tilgang til ADSL må en befinne seg innenfor en ledningsavstand på 3 kilometer fra nærmeste telefonsentral som er utstyrt med ADSL-funksjonalitet.

SDSL - Symmetric Digital Subscriber Line

Denne tjenesten er som navnet tilsier symmetrisk og gir samme hastighet inn som ut - 2 Mbps i begge retninger. Også i dette tilfellet må en befinne seg mindre enn 3 kilometer fra nærmeste sentral. SDSL er foreløpig vesentlig mindre utbygd enn ADSL. Verken ADSL eller SDSL kommer inn under UNINETTs definisjon av bredbånd, som per dags dato setter en nedre grense på 5 Mbps.

VDSL - Very High Speed Digital Subscriber Line

Dette er en ny DSL-teknologi som er under utvikling og utprøving, og som skal kunne gi inntil 25 Mbps overføringshastighet (asymmetrisk) på strekninger mindre enn 1 kilometer fra sentralen. Det siste betyr at mindre enn 30 % av den norske befolkning vil kunne nyte godt av VDSL-tjenesten når den kommer på markedet. VDSL er foreløpig (høsten 2002) ikke kommersielt tilgjengelig. Telenor kjører i samarbeid med det statlige HØYKOM-prosjektet, en pilot på dette i Stavanger-området.

4.2.2 Kabel-TV

Kabel-TV-nett er tradisjonelt basert på tykk kobberkabel bestående av ytterleder og innerleder (koaksial-kabel), og har vært lagt for framføring av kabel-TV til husstander i de fleste norske byer gjennom de siste 20 - 25 år. I dag leveres vanligvis dataoverføringstjenester med nedlastingskapasiteter på 640 kbps inn og 128 kbps ut (asymmetrisk) over kabel-TV-nett. Et kabel-modem vil være en del av leveransen når du bestiller Internetttilknytning over kabel-TV-nettet. Internett over kabel-TV-nettet egner seg best som aksessnett for husstander og små bedrifter.

Teoretisk er det ingenting i veien for å få 20 - 30 Mbps overføring over kablene, men dette er foreløpig på forsøksstadiet. Det er verdt å merke seg at kabel-TV-nett ikke er en presis betegnelse for coaxial-kabel-nettet som her beskrives, da stadig flere kabel-TV-nett benytter fiberoptiske kabler som overføringsmedium.

4.2.3 Radio-overføring

Radiobaserte bredbåndsoverføringer, kalt radioaksess, benytter frekvenser i GigaHertz-området for trådløs overføring av bredbåndssignaler mellom abonnentene og operatørens basestasjoner. Det må være fri sikt mellom basestasjon og abonnentens radioenhet og avstanden til basestasjon må være kortere enn ca 3-4 km. På de konsesjonsfrie frekvensbåndene (2.4 GHz og 5.8 GHz) kan man oppnå en overføringshastighet på inntil 54 Mbps. I dag er det mest vanlig med systemer for 2 Mbps og 11 Mbps (modulasjonsavhengig) overføring på 2.4 GHz-båndet. For disse hastighetene finnes overføringsutstyr til rimelige priser. Ulemper med radiobaserte overføringssystemer i forhold til kabeloverføring, er at de vil være mer utsatt for forstyrrelser (vær og vind, andre signaler etc.), samt at det eksisterer et sikkerhetsproblem i forhold til mulig avlytting og sabotasje.

På grunn av de relativt lave hastighetene vil også radiobaserte nett egne seg best som aksessnett for husstander og mindre bedrifter. Utviklingen går i retning av sikrere og raskere trådløse systemer, og mye tyder på at trådløse aksessnett vil få stadig større utbredelse.

Teleoperatørene benytter radiosystemer og lasersystemer med kapasitet opp til 155 Mbps for overføring over lengre avstander i transportnettet, men dette er svært kostbare systemer som ikke vil være overkommelig i pris for forbrukermarkedet foreløpig.

4.2.4 UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

Morgendagens mobiltelefonnett vil være egnet for overføring av data med hastigheter opp til 2 Mbps. Dette vil åpne for en stor vekst i håndholdte, bærbare enheter for datakommunikasjon. Med sin begrensede overføringskapasitet vil UMTS likevel ikke bli en erstatning for andre bredbåndsteknologier - snarere et supplement.

4.2.5 Satellitt

Bredbånd over satellitt er under sterk utvikling og vil ha sitt klare fortrinn i områder med spredt bosetting hvor det verken er lønnsomt å legge kabel eller etablere lokale radionett. Man har i testsystemer med DVB-RCS oppnådd hastigheter på 50 Mbps inn og 2 Mbps ut (asymmetrisk). Forsinkelsen mellom jordstasjon og satellitt (0.5 sek) medfører at satellittkommunikasjon i utgangspunktet ikke er særlig egnet for interaktiv kommunikasjon (for eksempel toveis lyd/bilde-overføring).

4.2.6 Strømnettet (PLC - Power Line Communication)

Bredbånd over strømnettet er under utprøving, og mye kan komme til å skje på området. Hittil har man oppnådd en maksimal overføringshastighet på 3 Mbps, men dette er en kapasitet som må deles med alle brukere innenfor samme trafo. Ettersom strømnettet er utbygd til alle norske boliger er det besnærende å håpe på at denne teknologien vinner utbredelse, men foreløpig gjenstår mye forskning før man kan si at teknologien vil levere ekte bredbåndskapasitet til en fornuftig pris for forbrukeren.

4.2.7 Faste, leide linjer

Faste, leide linjer er i og for seg ingen egen teknologi, men snarere en blanding av ulike teknologier som gir en gitt overføringskapasitet mellom to punkt, for eksempel fra hjemmet eller bedriften og fram til en Internettleverandør. Grunnen til at denne tjenesten omtales som bredbåndsteknologi er at dette i flere år har vært den tjenesten som teleselskapene har vært i stand til å tilby på forespørsel om bredbåndskapasitet ut over standard ISDN-tilknytning. Faste, leide samband kan bestilles med hastigheter fra 64 kbps og helt opp til 622 Mbps. Mest vanlig vil være hastigheter mellom 2 Mbps og 34 Mbps. Ved leveranse av fast, leid linje vil teleoperatøren kunne benytte seg av ulike overføringsteknologier på strekningen, som for eksempel kobberkabel, fiberoptisk kabel og radiolinje. Ulempen med faste, leide linjer er at det blir svært kostbart og at tilgjengelig hastighet vil være avhengig av hvilke overføringsteknologier som er tilstede på de aktuelle strekningene. For husstander med vanlig telefonlinje inn i huset vil dette i praksis si at kapasiteten begrenser seg til maksimalt 2 Mbps. Prisene for faste, leide linjer er avstandsavhengig. Dette betyr at jo lengre avstand det er mellom endepunktene, desto høyere er prisen.

4.2.8 Fiberoptiske kabler

Fiberoptiske kabler har uovertrufne egenskaper når det gjelder kapasitet. Kablene består av en mengde ørsmå glasstråder som overfører datasignalene i form av lyspulser. En fiberkabel kan

ha en kapasitet på 100 millioner Mbps (100 Terabits per sekund), eller sagt på en annen måte: På én fiberoptisk kabel kan man overføre mer enn 20 millioner samtidige videofilmer, hver med en overføringshastighet på 5 Mbps. Fiberkabler er i dag det foretrukne overføringsmediet for bredbånd, men kostnadene med graving medfører at man likevel utvikler alternative teknologier som supplement eller erstatning for fiberoptikk. Utviklingen over tid vil imidlertid føre til at fiberkablene "kryper" stadig nærmere sluttbrukeren, noe som vil begrense behovet for alternative aksessteknologier.

[12 - UNINETT]

Del II

Kommunikasjonsteori og standarder for Internett

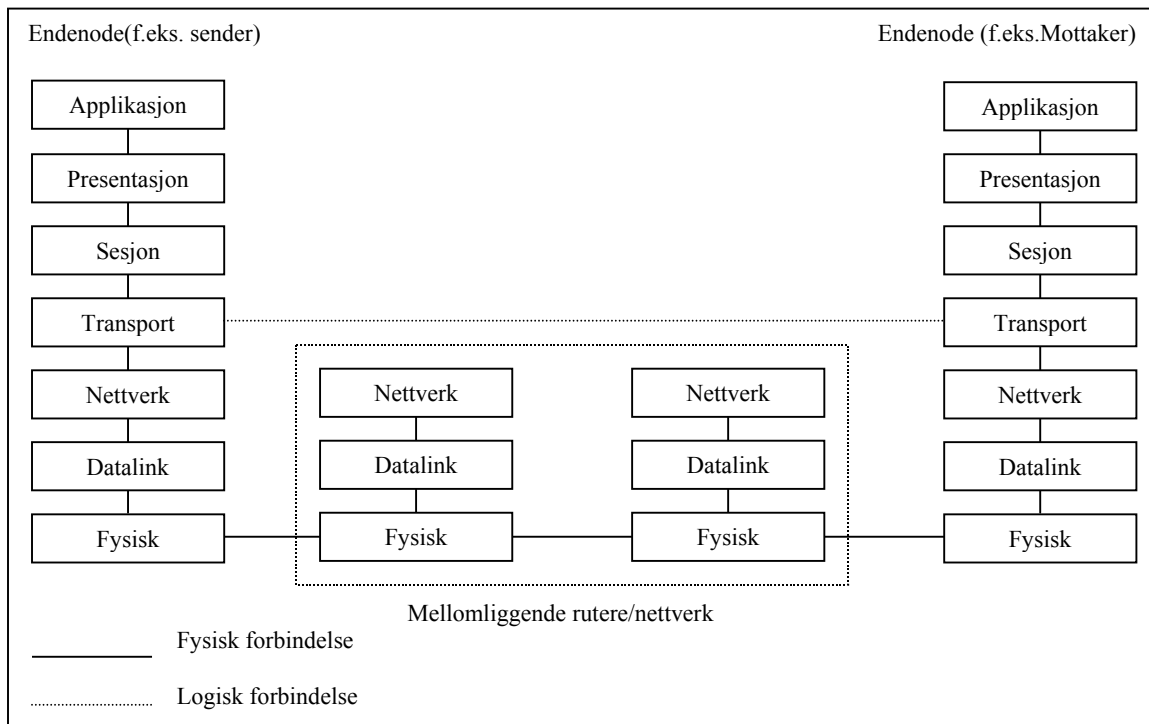
Kapittel 5

TCP/IP

The International Organization for Standardization (ISO) har godkjent modellen “Open Systems Interconnections” (OSI), som er normgivende for det meste innen datakommunikasjon i dag. Denne standarden ble, som forklart i kapittel 3, noe av grunnlaget for Internettets suksess.

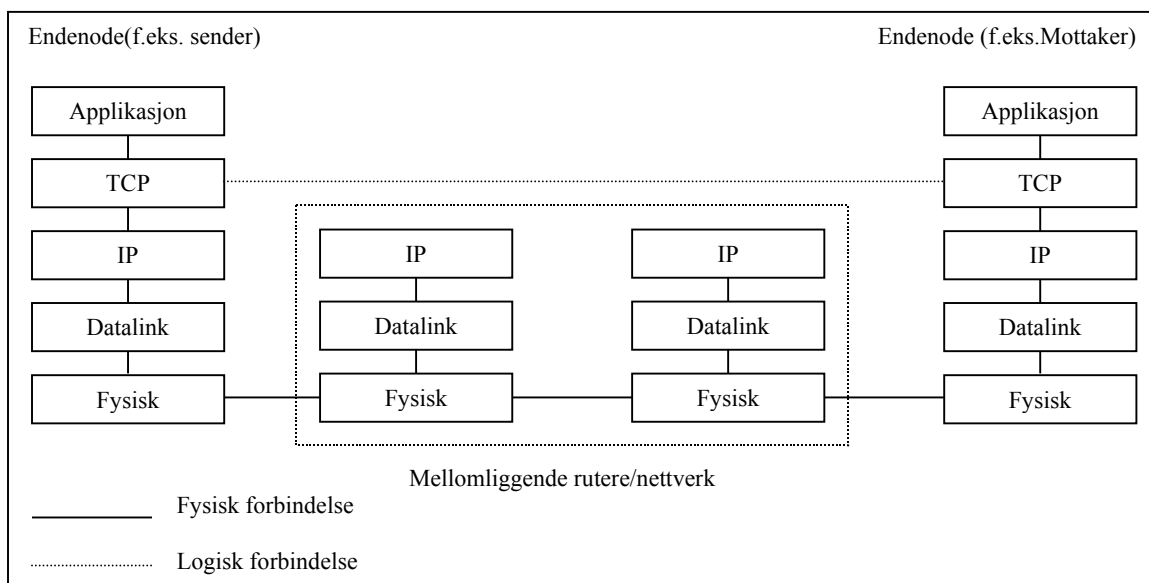
5.1 TCP

Modellen bygger opp kommunikasjon i funksjonelle lag, se fig 5.1. Det nederste laget er fundamentet for datakommunikasjon; det fysiske laget. Dette har en fysisk forbindelse mellom to noder, mens de andre lagene kun har logiske forbindelser mellom tilsvarende lag i 2 endenoder. Når man betrakter modellen, tenker man seg at alle lagene er prosesser som den sendte datapakken må gjennom. Man begynner med applikasjonen i sendernoden. Data prosesseres gjennom alle lagene ned til det fysiske laget, som sender alt gjennom mellomliggende noder til mottakernoden som prosesserer alt gjennom de samme funksjonelle lag, i motsatt rekkefølge. Da først har mottakernodens applikasjonslag det samme datamaterialet å jobbe med som sendernodens applikasjonslag sendte. Det er viktig å presisere at OSI-modellen kun er en teoretisk modell. Den brukes som en referanse og gir et begrepsapparat for datakommunikasjon.



Figur 5.1: OSI-modellen

Arkitekturen i Internett, TCP/IP-modellen, er illustrert i figur 5.2. Den største forskjellen er at i IP-arkitekturen tar applikasjonslaget seg av de tre funksjonalitetene *sesjon*, *presentasjon* og *applikasjon* i OSI-modellen. I nettverkslaget bruker internettarkitekturen protokollen *internet protocol* (IP). En viktig forskjell mellom IP og tradisjonell kommunikasjon er at IP kun tilbyr en såkalt "best-effort" tjeneste. Dette innebærer at IP verken garanterer levering av datapakker eller at de kommer fram uten skade. IP garanterer derimot at datapakker blir levert til riktig mottaker.



Figur 5.2: TCP-IP-modellen, også kalt internettmodellen

Over nettverkslaget har vi transportlaget. Transportlaget ligger ifølge internettarkitekturen under applikasjonslaget og vil for applikasjonen danne fasaden mot internett. Transportlaget gir applikasjonen illusjonen om at den kommuniserer med en lokal prosess. I Internett har spesielt to transportprotokoller gjort seg gjeldende;

TCP: Transmission Control Protocol (TCP) tilbyr en forbindelsesorientert tjeneste med sikker overføring av data. Overføringen er sikker ved at TCP resender korruperte pakker og pakker som har gått tapt i nettet. En TCP-forbindelse mellom to parter kalles en TCP-sesjon, og en slik identifiseres entydig av firetuplelet [(avsenders IP-adresse, avsenders port),(mottakers IP-adresse, mottakers port)]. Dette gjør TCP til en sikker, pålitelig transportprotokoll for Internett.

UDP: User Datagram Protocol (UDP) tilbyr en forbindelsesløs tjeneste med usikker overføring av data. UDP har en sjekksum som garanterer mot korruperte data, men gir ellers ingen garantier. UDP lover blant annet ikke at datapakke når destinasjonen eller at pakkene når fram i riktig rekkefølge, ettersom protokollen ikke inneholder noen "acknowledgement-funksjon" (ACK). En ACK-funksjon gir bekreftelse på at en datapakke har nådd destinasjonen.

5.2 IP

Internet Protocol, IP, er hovedfundamentet i dagens Internett. Med Internett menes en samling nettverk som er knyttet sammen, hvis oppgave er å tilby bruker-til-bruker datagramleveranse, som nevnt i kapittel 3 om Internettets opphav. Enhver bruker er knyttet til et nettverk (lokalt) som igjen knytter seg til nasjonale eller globale nett. Nettopp denne hierarkiske oppbygningen er et av IPs kjennetegn. IP er nøkkelverktøyet for å bygge et skalerbart, heterogent internettverk. IP definerer en infrastruktur som tillater alle noder og nettverk å fungere som ett enkelt logisk Internett. Dette innebærer at transportprotokollene TCP og UDP, som ligger "over" IP, ikke trenger å vite hva slags protokoller og nettverkstyper deres sendte datapakker traverserer på vei til destinasjonen. Det finnes flere alternative internettprotokoller, men IP har vist seg å være den som skalerer best og dermed den som overlever. Skalerbarhet betyr rett og slett i hvilken grad en protokoll overlever eller fungerer i et nettverk som har hatt en slik eksplosiv vekst i størrelse som internett.

IP-tjenestemodellen betraktes i to deler; en adresseringsmetode som identifiserer alle brukere i et internettverk samt en datagram-modell for dataleveranse. Det er viktig å understreke at IP kun tilbyr en "best effort" tjenestemodell. Med andre ord gjør IP kun sitt beste for å levere en pakke, men garanterer ingenting.

IP er en protokoll i kontinuerlig utvikling. Den mest brukte protokollen i dag er IP versjon 4, forkortet til IPv4. Rent leveransmessig fungerer denne protokollen godt, men den begrenser antallet mulige IP-adresser på globalt nivå. Dette medfører at det ikke er mulig å tilby alle brukere/applikasjoner tilkopleet Internett en fast IP-adresse. Man låner rett og slett en adresse så lenge man er pålogget, deretter er det andre som får låne den samme adressen. Dette er et økende problem, ettersom flere og flere datatjenester blir IP-baserte og fordi man opplever en drastisk økning i alltid-på applikasjoner, og dermed skaper mangel på slike dynamiske IP-adresser som kan lånes. Derfor er det utviklet nye versjoner av IP, hvor IPv6 har posisjonert seg som den som skal ta over for IPv4. IPv6 har et større adressefelt i IP-headeren, hvilket

medfører at man får et mye større antall IP-adresser til rådighet. Faktisk vil IPv6 gi nærmere 15 IP-adresser per kvadratmeter jordoverflate [Agne Nordbotten – muntlig meddelelse]. Noe mer om IPv6 beskrives senere.

5.2.1 Datagramleveranse

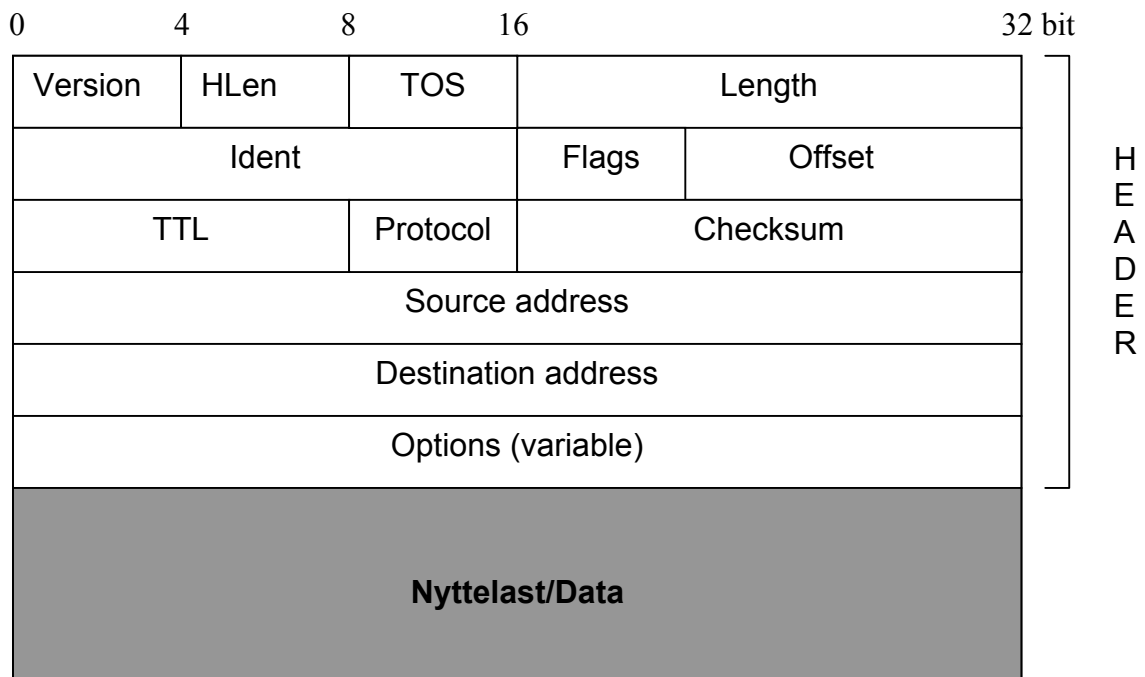
En enkelt enhet data som sendes over Internett kalles en datapakke, et segment eller et datagram. Disse betegnelse vil bli brukt om hverandre. Etthvert datagram inneholder selv all informasjon for at nettverket skal klare å videresende datagrammet gjennom nettet til riktig endestinasjon. IP og Internett bygger et såkalt pakkesvitsjet nett, der en og en pakke, som selv inneholder all nødvendig transportinfo, rutes av mellomliggende servere til endestinasjonen. Hvis en forsendelse består av flere pakker trenger ikke alle pakkene bruke samme vei gjennom nettet. De mellomliggende ruterne vil til enhver tid vurdere hvilken vei som er mest gunstig mot destinasjonen. Dette er i motsetning til linjesvitsjede nett, slik som telefonkommunikasjon som bruker Public Switched Telephone Network (PSTN) der all info sendes over en linje som settes opp før kommunikasjonen starter.

I Internett sendes pakkene og det er nettverket mellom sender og mottaker som tar ansvar for å levere pakkene til endestinasjonen etter beste evne. IP anses for å være en ”usikker tjeneste”, fordi det mellomliggende nettverket ikke resender tapte eller korrupte pakker,. Denne sikringen overlater IP til den overliggende protokoll. På en annen side er det denne enkeltheten som er en av IPs absolutte fordeler. Protokollen vil fungere uansett underliggende nettverk. Dette er tilfelle spesielt fordi IPs og Internettets hovedprinsipp var å ha enklest mulig mellomliggende rutere i nettverket, også kjent som end-to-end prinsippet (E2E).

5.2.2 IP-Pakker

Som nevnt inneholder enhver datapakke adresseinformasjon. Dette ligger i datagrammets såkalte ”header” og anses for å være overhead. Med overhead menes all informasjon som sendes over nettet som ikke er bruksdata eller nyttelast.

Headerformat og datagramformat er illustrert i figur 5.3. En internasjonal anerkjent måte å representere datagram på er som vist i figuren, med en rekke 32-bit-ord. Pakkene leses fra topp til bunn og fra venstre til høyre, i enhver prosess. Jeg vil definere alle felter i figur 5.3 her:



Figur 5.3: En IP-datapakke

- Version;** Spesifiserer hvilken versjon av IP som brukes. I dag er det IP versjon 4 som gjelder (IPv4), men IPv6 er i startfasen.
- HLen;** Spesifiserer headerens lengde i antall 32-bit-ord. Default er 5 ord à 32 bit.
- TOS;** (Type Of Service) Tillater pakker å bli behandlet forskjellig avhengig av applikasjonen.
- Length;** Hele datagrammets lengde inklusive headeren. Denne teller antall bytes. Maksimal lengde på et IP-datagram er 65 536 bytes i IPv4, fordi feltets størrelse er på 16 bit og $2^{16} = 65\,536$.
Ikke alle fysiske nettverk takler denne størrelsen, så ofte må pakkene fragmenteres, oversendes og samles. IP er kompatibel til dette. Det andre ordet (de neste 32-bit) i headeren, dvs. Ident, Flags og Offset, inneholder informasjon om hvordan dette skal gjøres.
- TTL;** (Time To Live) Hensikten med dette feltet er å detektere pakker som har traversert i rutingsløkker og ødelegge dem for å forhindre at de bruker unødvendige ressurser.
- Protocol;** Dette feltet identifiserer hvilken overliggende protokoll (transportlaget ligger over IP) som skal ta seg av denne pakken. TCPs verdi er 6, UDPs er 17.
- Checksum;** Denne summen inngår i en feildetekteringsberegning slik at en pakke kastes dersom det er et korrupt bit. Denne checksummen retter ikke feil, men detekterer kun at det er en feil, og kaster pakken.

- Source address;** Dette feltet gjør at mottaker kan avgjøre hvorvidt den ønsker pakken eller ikke.
- Destination address;** Dette er nøkkelen for en datagramleveranse som sagt; alle pakker inneholder en full destinasjonsadresse.
- Options;** Dette feltet er alternativt. Hvorvidt det er noe informasjon her eller ikke, kommer fram av HLen. Feltet brukes for så vidt sjelden, men enhver router og annen IP-implementasjon må kunne behandle dette.

5.2.3 Globale IP-adresser

IP støtter globalt unike adresser til alle brukere. I hvertfall til enhver tid. Det vil si at så lenge en bruker er oppkople, har brukeren samme IP-adresse, men den gis som nevnt videre til en annen når brukeren er ferdig. Dette er igjen et resultat av at det er mangel på IP adresser til alle oppkoplinger på Internettet. Det er en global server, Domain Name Server (DNS), som holder oversikt over dette. IP-adresser er hierarkisk bygd opp, og reflekterer prinsippet Internettet er bygd opp etter.

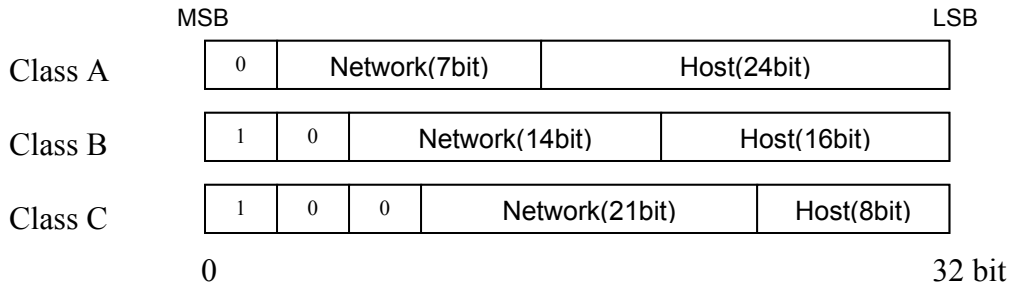
IP-adressen består av en nettverksdel og en brukerdel; der nettverksdelen identifiserer hvilket subnettverk av Internett brukeren er på. Brukerdelen identifiserer brukeren unikt i dette subnettverket. IP-adresser er delt opp i flere kategorier, og den nevnte oppdelingen gjelder for dem alle. Kategoriene er Class A, Class B og Class C. (se fig 5.4)

IPv4 opplever i dag mangel på adresser, og spesielt er det den skjeve fordelingen av IP-adresser som stimulerer overgangen til IPv6. For eksempel har MIT i USA flere IP-adresser til rådighet enn hele Kina [Agne Nordbotten, muntlig meddelelse]. Adressene er alltid totalt 32 bit lange, hvilket er fast spesifisert i IPv4, som gir snaut 4,2 milliarder adresser globalt. IPv6 går derimot over til en 128-bit adresseringsmodell, hvilket vil gi oss et større adresserom, med et totalt antall adresser på $3,4 \times 10^{38}$.

IP-adressens klasse spesifiseres av de mest signifikante bit'ene (fra venstre).

- 0 definerer klasse A
- 10 definerer klasse B
- 110 definerer klasse C

Av totalt 4,2 milliarder mulige IP-adresser er 50% klasse A, 25% klasse B og 1/8 klasse C. Disse forskjellige typene adresseklasser, tjener forskjellige type nettverk, skilt av nettverkens størrelser.



Figur 5.4: IP-adressetyper

IP-adresser har en spesiell måte å skrives på, bestemt ved konvensjon. IP-adresser skrives som fire desimaltall skilt av med punktumer. Hvert desimaltall representerer 8 bit i adressen. Eksempel på en adresse kan være 152.35.123.255. Hele denne adressen ligger i headeren og brukes av hver mellomliggende ruter til å avgjøre hvordan videresende pakken mot destinasjonen.

5.2.4 IPv6 – fremtidens nettverkplattform

På grunn av den skjeve allokeringen av IP-adresser i verden, spås det at det vil forekomme en knapphet av adresser i løpet av år 2005. Derfor har det siden tidlig 90-tallet vært satt fokus på innføringen av IPv6. Det er størst aktivitet innen dette området i Europa og Asia, nærmere bestemt Japan, ettersom det er her adresseknappheten vil gjøre seg gjeldende først. Europakommisjonen har etablert en egen IPv6-taskforce som arbeider for innføringen av IPv6 i Europa. Deres mål er at denne nye versjonen skal være operativ innen år 2003 [16 – IPv6 Task Force].

Spesielt innen utviklingen av alltid-på nettverk (always-on) slik som Ethernet/bredbåndsinternett til hjemmemarkedet, er innføringen av IPv6 en kritisk suksessfaktor, ettersom statiske adresser er en nødvendighet for implementeringen av stabile og skalerbare alltid-på systemer. I stedet for å tildeles tilfeldige temporære adresser fra en adressepool, slik som under IPv4, vil fremtidige applikasjoner kreve permanent oppkopling med statiske adresser.

Det er tiltenkt en myk overgang fra IPv4 til IPv6, og standardene vil leve side om side, men med en bevegelse vekk fra IPv4 på lang sikt er nok å forvente. Allerede i dag leverer flere produsenter applikasjoner og utstyr basert på IPv6.

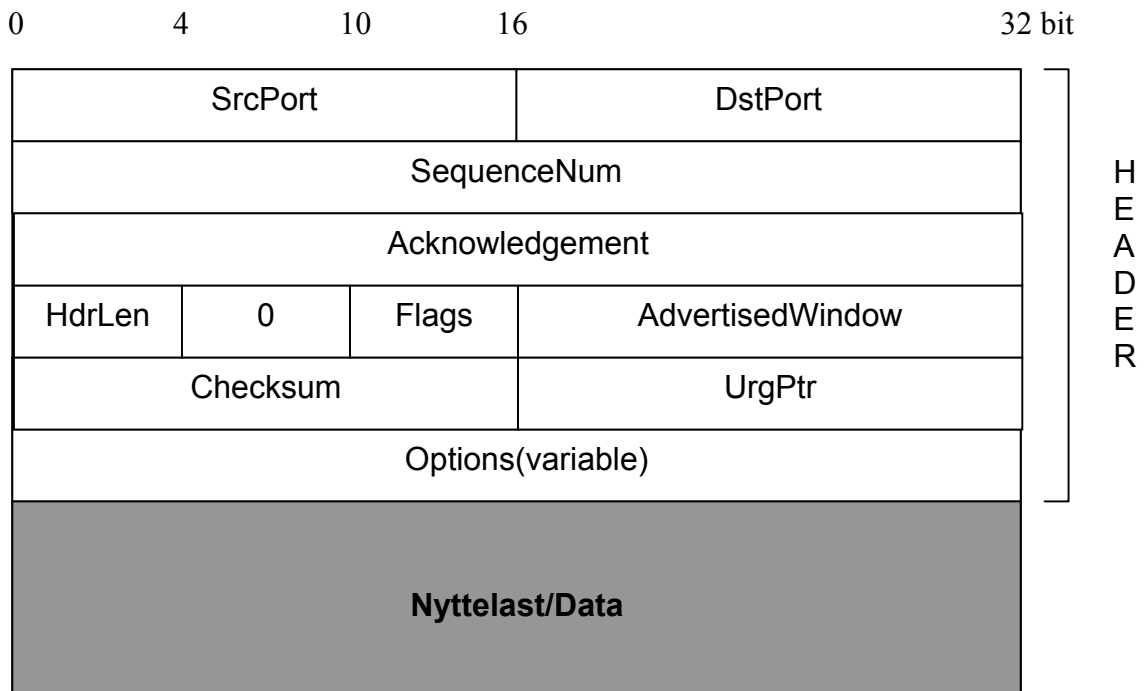
Internettaksess, enten det er i vanlig datanettverk, mobilnettverk, kabelnettverk eller via satellitt er spådd sterk økning i utbredelse de kommende årene. Trenden er at disse nevnte nettverkstypene konvergerer, både i type tjeneste som leveres og i type infrastruktur bruk som fundament i nettverket. Det er i denne sammenheng IPv6 gjør sin viktigste inntreden; den danner en felles adresseplattform som muliggjør sammensmeltningen av disse forskjellige typer nettverk. Også i forhold til UMTS og tredjegerasjons (3G) telekommunikasjon er innføringen av IPv6 en viktig forutsetning for tiltenkt utvikling. Bruk av IPv6 i mobile nettverk vil tillate å trådløs maskin-til-maskin oppkopling, noe som vil tilrettelegge for rask utvikling av 3G-teknologi i retning bare-IP-nettverk (eng: all-IP).

Selv om Internett er et åpent nettverk for alle, er realiteten fortsatt en stor, men veldig skjev fortjeneste i favør en liten minoritet. IPv6 er tiltenkt å fjerne det såkalte digitale skillet mellom utviklingsland og industrialiserte land. Med dette menes at de økonomiske fordelene Internett og nye kommunikasjonsformer bringer med seg, i stort omfang har vært synlig i I-land. Kun 8% av verdens befolkning har tilgang på Internett, mot 20% til telefon. [16 – IPv6 Task Force]. Dette motiverer til bevegelse mot IPv6, men også utvikling av trådløse aksessteknologier. Slike aksessteknologiers infrastruktur har vist seg mye lettere og billigere å bygge ut i utviklingsland. Man spår at PC-eraen vil overtas av en ny ikke-PC-era, men der Internett fortsatt er hovedapplikasjonen for kommunikasjon, men at brukerne vil bruke andre grensesnitt. Økt bruk av PDA, multimedia mobiltelefoner baner vei for økt bruk av IPv6 i et fullstendig pakkebasert multimedietnettverk.

5.3 TCP – Oppkoplingen

TCP er en såkalt handshaking-protokoll. Dette betyr at det foregår kommunikasjon mellom klient og server i en oppstartsfase, før kommunikasjonen kan starte for fullt.

En *passive open* betyr at serveren forteller nettverket at den er klar til å akseptere oppkoplinger. En *active open* innebærer at en klient forteller nettverket hvilken node i nettverket den vil kommunisere med. En TCP-oppkopling starter med at en klient kontakter en server med en *active open*-prosedyre. Forutsatt at serveren tidligere hadde en *passive open* for denne oppkoplingen, setter de to portene i gang en meldingsutveksling for å etablere linken. Nettopp dette med at det settes opp en link før transmisjon gjør at man kaller TCP en forbindelsesorientert protokoll. I all kommunikasjon brukes et TCP-headerformat, illustrert ved figur 5.5



Kilde: RFC 793

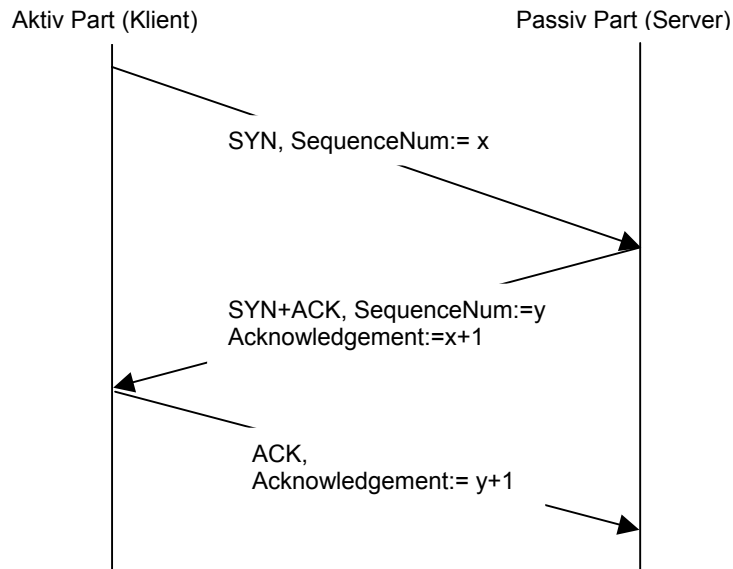
Figur 5.5: TCP header format

Oppkoblingsalgoritmen i TCP kalles *3-veis håndtrykk*. Figur 5.6 illustrerer dette.

Prinsippet er at det må tre meldingsutvekslinger til mellom to parter ved både opp- og nedkopling av kommunikasjonslinken. For at dette skal virke må partene enes om et sett parametere, og i tilfellet TCP er det "startsekvens-nummer" som brukes. Dette er en tilfeldig verdi som klienten plukker. Årsaken til at den er tilfeldig er for å gjøre linken mer motstandsdyktig mot interfererende pakker, fra oppkoplinger som bruker samme sekvensnummer.

Slik er gangen i en TCP-oppkopling;

1. Klienten (den aktive part) sender et TCP-segment til serveren (den passive part) med informasjon om hvilket startsekvens-nummer den planlegger å bruke. Feltet **Flags** settes til **SYN**, og **SequenceNum** settes til et tilfeldig valgt **X**. (se figur 5.5.)
2. Serveren sender tilbake et segment som både inneholder en bekreftelse på mottakelse, heretter kalt *acknowledgement* eller ACK ved å sende **acknowledgement** = $x+1$ på meldingen med klientens sekvensnummer, samt sitt eget startsekvens-nummer. Feltet **Flags** i denne meldingen settes lik **SYN** og **SequenceNum** settes lik y . Både **SYN** og **Acknowledgement** er bits som settes i **Flags**-Feltet.
3. Klienten svarer med en tredje melding der den godkjenner/acknowledger serverens **SequenceNum**. **Flags** settes til **Acknowledgement**, og **Acknowledgement** settes til $y+1$.



Figur 5.6: Treveis håndtrykk

Årsaken til at hver part i linken sender en acknowledgement som det mottatte sekvensnummeret pluss et med én, er at **Acknowledgement** også indikerer hvilket sekvensnummer som kan ventes i neste melding. Figur 5.7 viser et eksempel på TCPs acknowledgement-prosedyre.

Mottatt segment	ACK sendt
1	2
2	3
3	4
5	4
6	4
4	7

Figur 5.7: Eksempel på en TCP/ACK-sesjon

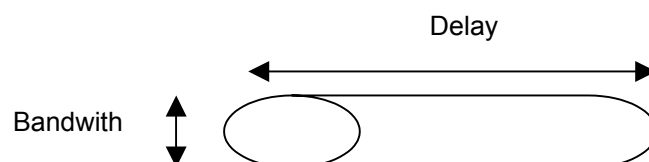
Figuren viser at mottakelse av segment 1 returnerer en ACK på segment 2. Som nevnt indikerer dette at neste segment som mottakeren forventer har segment nummer 2. Mottakelsen av segment nummer 2 og 3 returnerer tilsvarende ACKer. Legg så merke til at segment 4 ikke ankommer mottakeren før etter segment 5 og 6. Dette gjør at mottakeren ACKer segment nummer 4, selv om segment nummer 5 og 6 mottas, helt til nummer 4 er mottatt ettersom segment nummer 4 er segmentet som mottaker forventer etter å ha mottatt 3. Når da segment nummer 4 mottas, sender mottakeren ACK på segment nummer 7, ettersom

dette nå er segmentet mottakeren forventer skal ankomme og segment 5 og 6 er mottatt og bufret. Hvis derimot mottakeren ikke mottar en forventet pakke innen en viss tid, retransmitteres pakken fra sender. Denne tiden som senderen venter før pakker/segmenter retransmitteres, kalles *retransmit timeout* (RTO).

5.4 Sliding Window

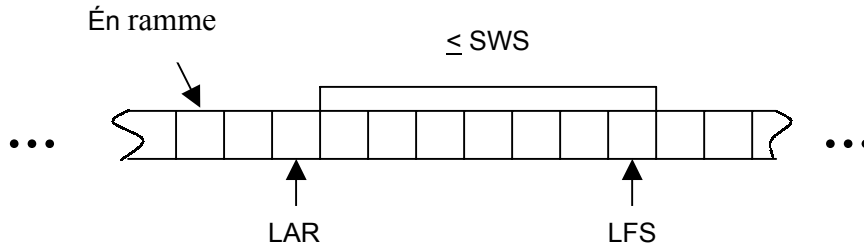
TCP er en såkalt *sliding window* protokoll. Denne typen protokoller, tillater senderen å sende et gitt antall segmenter før ACK må mottas. Når en ACK mottas ”glir” det definerte sendevinduet slik at forsendelse av nytt segment tillates. Etthvert TCP-segment inneholder et AdvertisedWindows-felt, som vist i figur 5.5. Størrelsen på vinduet som annonseres av mottaker utgjør den maksimale størrelsen for senderens glidende vindu. Maksimalstørrelsen i standard TCP er 65536 bytes grunnet feltets størrelse på 16 bits i TCP-headeren [20 – RFC 793, 1981].

Delay Bandwidth Product (forsinkelse-båndbredde produkt), DBP, er en viktig størrelse i datakommunikasjon, og er produktet av nettverkets Round-Trip Time (RTT; tiden det tar fra sender til mottaker og tilbake igjen) og nettverkets båndbredde. Dette gir en indikasjon på hvor mye data som kan være i transitt i nettverket, som illustrert i figur 5.8. Med andre ord indikerer dette produktet hvor mye data som kan sendes og oppholde seg i nettverket, uten at senderen må vente på acknowledgement. Mangelen på acknowledgement fungerer som flytkontroll. Det betyr at den kontrollerer at det ikke sendes mer data i kommunikasjonskanalen enn mottakeren makter å behandle. For effektivisering i nettverkssammenheng stresser man viktigheten av å holde kommunikasjonskanalen full til enhver tid. *Sliding window* er en algoritme som gjør dette.



Figur 5.8: Nettverket som et rør (eng: pipe)

Man tenker seg datakommunikasjonskanalen som et rør (eng: pipe) som kan bære data. Man tilstreber at røret ikke fylles med ”luft”. Det vil si at man ønsker en ny dataramme (samling datapakker) sendes inn i røret så fort en ACK(for acknowledgement) kommer for datarammen på vei ut av røret. Sliding window-algoritmen tillater dette, illustrert ved figur 5.9.



Figur 5.9: Sliding window hos sender

5.4.1 Algoritmen

Slik virker algoritmen fra sendersiden;

Først tilegner senderen et sekvensnummer (SeqNum) til hver datapakke. Senderen holder oversikt over tre variabler;

Senderen opprettholder *Send Window Size* (SWS) som angir øvre grense på hvor mange datapakker som kan være i kommunikasjonskanalen før en acknowledgement kreves.

Last Acknowledgement Recieved (LAR) angir sekvensnummeret til datapakken som sist ble godkjent, eller ble ACK'et som man sier på dataspråket.

Last Frame Sent (LFS) er sekvensnummeret til sist sendte datapakke.

I tillegg til disse tre variablene, opprettholder senderen følgende sammenheng:

$$\text{LFS} - \text{LAR} \leq \text{SWS}$$

Når en acknowledgement ankommer senderen, setter den LAR mot høyre. Dette tillater så senderen å sende en datapakke til, fordi senderen opprettholder maksimal SWS. Det er også knyttet en tidsklokke til hver datapakke senderen sender, slik at hver datapakke som ikke ACK'es før tiden er ute, retransmitteres. Dette innebærer da at senderen må ha plass til å bufre SWS antall datapakker, siden den skal stå parat til å retransmittere helt til alle datapakkene i dette glidende vinduet har blitt ACK'et.

Slik virker algoritmen på mottakersider;

Mottakeren kontrollerer også tre variabler;

Receive Window Size (RWS) angir øvre grense på antallet datapakker som mottakeren er villig til å akseptere. Dette definerer størrelsen på *vinduet* som kan mottas.

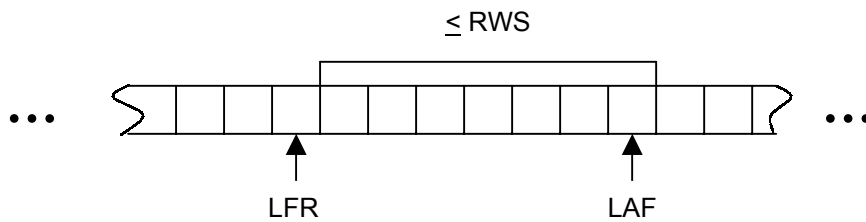
Largest Acceptable Frame (LAF) er sekvensnummeret til den datapakken med høyest sekvensnummer i dette vinduet.

Largest Frame Received (LFR) angir sekvensnummeret til sist mottatte datapakke.

I tillegg opprettholder mottakeren følgende sammenheng:

$$\text{LAF} - \text{LFR} \leq \text{RWS}$$

Figur 5.10 illustrerer dette:



Figur 5.10: Sliding window hos mottaker

Når en datapakke med sekvensnummer $SeqNum$ ankommer, gjør mottakeren følgende; Dersom $SeqNum \leq LFR$ eller $SeqNum > LAF$, er ikke datapakken inkludert i mottakerens vindu og datapakken droppes. Det betyr at mottakeren ikke tar imot pakken, den "dør" i nettverket. Er derimot $LFR < SeqNum \leq LAF$ har vi en datapakke innenfor mottakerens definerte vindu, og denne aksepteres. Når denne datapakken er mottatt, må mottakeren bestemme hvorvidt den skal sende en ACK eller ikke. $SeqNumToAck$ angir høyeste sekvensnummer som ikke enda er blitt ACK'et. Det vil si at alle datapakker med lavere sekvensnummer enn dette, er mottatt. Nå godkjenner (ACK'er) mottakeren mottakelsen av $SeqNumToAck$, og følgelig er denne acknowledgement-prosedyren kumulativ. Deretter settes LFR lik $SeqNumToAck$ og LAF til $LFR + RWS$, og et nytt vindu er klart til å gli inn i kommunikasjonskanalen.

Anta for eksempel at $LFR=5$. Dette betyr at den sist sendte ACK ble sendt for sekvensnummer 5. Anta videre at $RWS=4$, hvilket gir at $LAF=9$. Hvis nå datapakke nummer 7 og 8 mottas, må de bufres fordi de er innenfor mottakers vindu. Likevel skal ingen ACK sendes, siden datapakke nummer 6 ikke har ankommet. Man sier at datapakke nummer 7 og 8 har ankommet i feil rekkefølge. Hvis nå datapakke nummer 6 mottas må mottakeren sende en ACK på datapakke nummer 8, skifte LFR til 8 og LAF til 12 (fordi RWS er 4). Datapakke nummer 6 kan være forsinket fordi den ble tapt i nettet ved første transmisjon og måtte retransmitteres. Retransmisjon forekommer som et resultat av timeout hos avsender. Det er viktig å påpeke at denne metoden opplever problemer når pakker blir borte i systemet, ettersom et vindu ikke kan bearbejdes før alle pakkene er ACK'et. Dette gjør at man i disse tilfellene ikke får holdt kommunikasjonskanalen full til enhver tid. Jo flere pakker som mistes, desto mer alvorlig blir problemet. Vi skal senere komme nærmere inn på at nettopp dette er en sentral problemstilling for TCP over satellitt.

Størrelsen på vinduet vi ønsker å sende velges i tråd med hvor mange datapakker det er gunstig å ha i kommunikasjonskanalen til enhver tid. Denne størrelsen, som nevnt kalt SWS , beregnes som et produkt av forsinkelse og båndbredde, derav det engelske navnet *bandwidth delay product* (BDP), som nevnt tidligere. RWS , receive window size, velges ofte til $RWS = 1$ eller $RWS = SWS$. Førstnevnte tilfelle betyr at mottaker ikke bufrer noen datapakker som kommer i feil rekkefølge. Sistnevnte tilfelle gjør at mottaker bufrer hele vinduer som sendes.

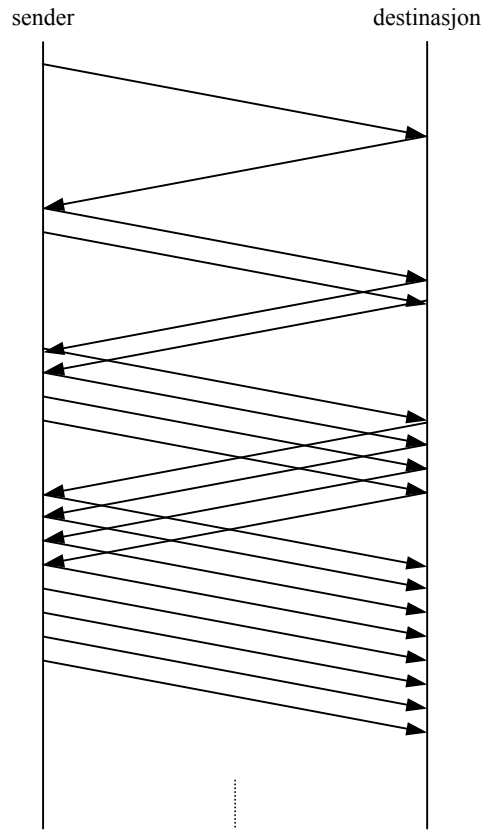
Algoritmen, Sliding Window, utmerker seg på tre måter; For det første, slik skissert over, tilbyr algoritmen sikker levering av datarammer over en usikker link. For det andre, holder algoritmen kontroll over rekkefølgen og at den opprettholdes fra sender til mottaker. For det tredje, gir algoritmen en viss grad av flytkontroll. Det vil si; mekanismen som gir mottakeren en mulighet til å si ifra til senderen om kapasiteten sin. Dette forhindrer senderen fra å overlesse mottakeren med datamengder den ikke kan ta seg av.

5.5 Slow Start og Congestion Avoidance

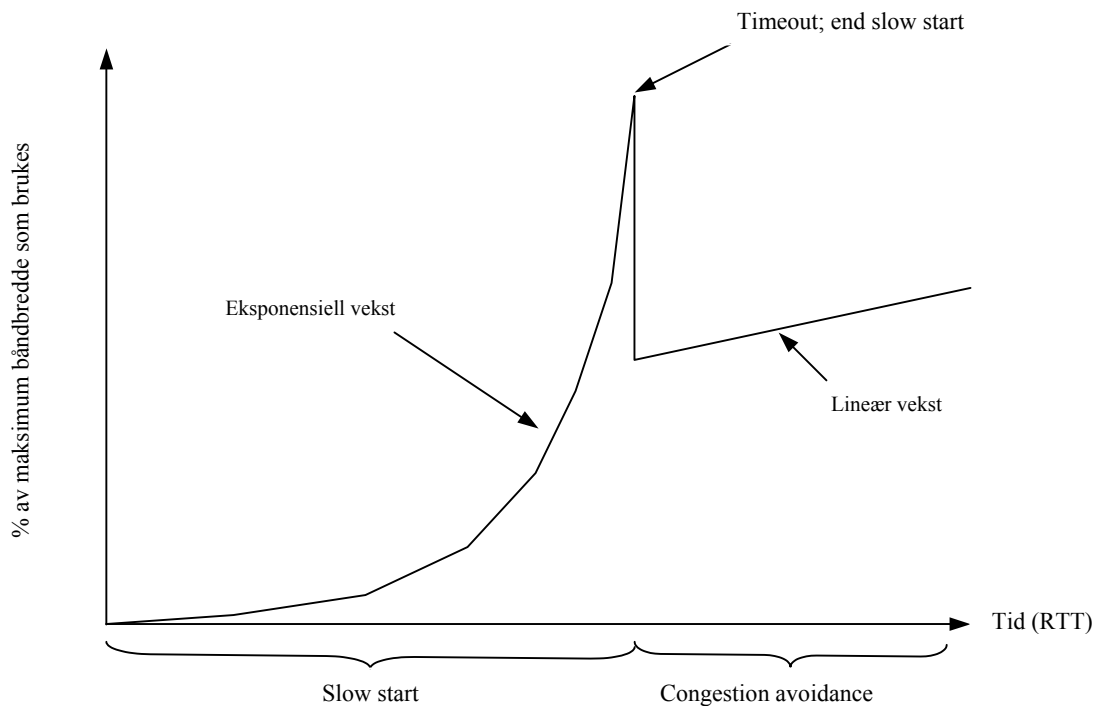
TCP bruker slow start-algoritmen når den bygger opp en oppkopling mellom sender og mottaker fra null kommunikasjon, for å øke senderaten uten å kjøre mellomliggende rutere i metning [1 - W. Richard Stevens, 1997]. For å oppnå dette, bruker senderne i TCP-sesjoner en variabel kalt *congestion window* (*cwnd*). Denne variabelen må alltid være mindre enn mottakerens *AdvertisedWindow*. Med andre ord kan ikke senderen sende mer enn *cwnd* segmenter som ikke er ACK'et inn i nettverket.

I slow start begynner senderen med å sende én pakke, og algoritmen brukes for å øke antallet ikke-ACKede data som kan sendes inn i nettverket/datakanalen. Parameteren *cwnd* settes til 1 i starten av en TCP-oppkopling. Hver gang avsenderen får en ACK på mottatt pakke, sendes det ut to nye, ved at *cwnd* dobles. Dette gjør at antall pakker vokser eksponentielt, dvs det dobles for hver mottatte ACK: 1, 2, 4, 8, 16, 32... osv. Slik øker størrelsen på det glidende vinduet. Dette fortsetter inntil størrelsen på vinduet, altså antallet pakker som kan sendes inn i nettverket, når terskelen til antallet pakker mottakeren kan motta eller inntil pakketap. Denne terskelen kalles *slow start threshold* (*ssthresh*) og utveksles fra mottaker til sender ved oppkopling. Denne parameteren settes lik mottakerens advertised window ved oppkopling. Når avsender ikke lenger mottar ACK eller en pakke må retransmitteres, antar TCP at det er trafikk-metning i systemet og halverer senderaten ved å sette $ssthresh = cwnd/2$.

Etter at denne halveringen av senderate har funnet sted, settes congestion avoidance algoritmen i gang. Denne algoritmen sender TCP kun én ekstra pakke per RTT. Dette medfører da at antall pakker vokser lineært. Dette er illustrerte i figur 5.12. Det er klart at i nettverk der man har hyppige tilfeller av bitfeil eller bit-tap, vil TCP ha relativt dårlig ytelse. Dette er en av hovedårsakene til at TCP ikke fungerer bra slik den er over satellittnettverk, der man har betydelige pakketap som følge av satellittsignalenes støyfølsomhet.



Figur 5.11: Pakker i transit under slow start



Figur 5.12: TCP i oppstartsfase

5.6 Fast Retransmit og Fast Recovery

På grunn av at mange transmisjonsmedier opplever problemer med TCP-protokollen er det utviklet metoder for å effektivisere TCP i forhold til pakketap. Disse kalles *Fast Retransmit* og *Fast Recovery* [1 – W. Richard Stevens, 1997].

Fast retransmit-algoritmen tillater å retransmittere segmenter før RTO går ut. RTO er basert på RTT [Round-Trip Time], som igjen kan være veldig lang for noen typer nettverk, som satellitt. Som nevnt over sender TCP flere duplikater av samme ACK, dersom en pakke er forsinket. Fast recovery- algoritmen bruker dette, ettersom den bruker et gitt antall duplikater for å indikere at en pakke er tapt, og retransmitterer på bakgrunn av dette. Dette gjør at man ikke trenger å vente til RTO går ut på tid i nettverk der denne er meget stor.

TCP reduserer senderaten for hvert tapte segment, men reduksjonen avhenger av hvilken metode som indikerer pakketapet. Dersom pakketapet begrunnes med time-out, anser TCP dette som et sterkt tegn på at nettverket er mettet, og halverer senderaten og starter slow start algoritmen. Dersom pakketapet derimot indikeres av duplikate ACKer er det et tegn på at det fortsatt foregår pakkestrøm mellom mottaker og sender, og reduksjonen i senderaten er mindre enn ved første tilfelle.

5.7 Spesielle problemer med pakketransport over satellitt

Det har de siste tiårene vært betydelig aktivitet for å effektivisere TCPs funksjonalitet i satellittnettverk. Dette er skrevet en oversikt over dette og skissert løsninger i [2 – Ian F. Akyildiz et al., 2001], [3 – Mark Allman et al., 1999] og [4 – Mark Allman, 1997]. TCP, som primært ble designet for jordbaserte datanettverk, opplever som nevnt over problemer over satellitt. Som skrevet i kapittel 3 har satellitten hatt en sentral rolle i Internettets startfase. Men satellittkanalen har egenskaper som gjør at TCP ikke gir optimal ytelse, slik som stor forsinkelse, stor DBP, asymmetriske kanaler, kommunikasjonskanalens kvalitet (Bit Error Rate (BER)), variabel tidsforsinkelse, oppkopplingsbrudd. Disse begrensningene beskrives nærmere i det følgende.

5.7.1 Stort forsinkelse-båndbredde produkt (DBP)

Som nevnt tidligere definerer DBP den maksimale mengden data en klient kan sende inn i et nettverk, som ikke har fått acknowledgement. Dette definerer også mengden ikke-ACKet data TCP må takle. Den er definert som et produkt av båndbredde og linkens tur-retur-tid, heretter forkortet RTT (Round Trip Time).

$$DBP = \text{Båndbredde} \times RTT$$

I geostasjonære satellittsystemer (GEO) er DBP ekstremt stort på grunn av stor RTT (lang gangavstand for signalene). I lavbane satellittsystemer – LEO (Low Earth Orbit) reduseres RTT betraktelig, men fortsatt gir den et signifikant utslag for TCPs ytelse. Tidlig på 70-tallet gikk også ARPANET-forbindelsene over satellitt, men det var små datamengder og det bidro til å holde DBP-produktet lite og ytelsen var god.

Geostasjonære satellitter (GEO) er som kjent i bane 36000 kilometer over jordoverflaten. Mellombanesatellitter – MEO (Medium Earth Orbit) har sin ikke-jordsynkrone bane i 10000 kilometers høyde. Lavbane satellittene er i bane i sjiktet mellom 700 og 1200 kilometer, også ikke-jordsynkrone.

Det er viktig for TCPs vindusstørrelse at den oppnår samme størrelse som DBP, for å maksimere protokollens ytelse. Dette fordi man da ikke trenger å ha mange pakker i nettverket som ikke er ACKet. Jo færre pakker som ikke er ACKet, desto raskere går køen i nettverket. Samtidig forenkler det gjennomføringen av kontinuerlig strøm, fordi man da så fort mottakeren sender en ACK, kan sende ny pakke inn i nettverket og da utnytter hele nettverkets kapasitet. Dette setter krav til mottakeren, som da også må kunne svelge unna datamengden definert av DBP. TCP har problemer med dette over satellitt fordi protokollen har en maksimal øvre datagramstørrelse på 65536 bytes, og siden dette er det maksimale en mottaker kan melde at den kan ”svelge unna” begrenser det gjennomstrømshastigheten.

La oss gjøre et regneeksempel som viser hvordan dette produktet begrenser båndbredden. Formelen over viser at båndbredden er gitt av DBP/RTT . På den annen side er den maksimale datamengden som kan sendes inn i nettverket, uten ACK, begrenset til 65536 bytes. Denne begrensningen er en direkte følge av 16-bit-begrensningen i **AdvertisedWindow**-feltet i TCP-formatet, se figur 5.5 ($2^{16} = 65536$). Denne datamengden er maksimalt det man kan ha, dersom man ønsker kun én pakke i kø over nettverket til enhver tid. RTT for et satellitthopp er funnet til å være cirka 560 ms [5 – Hans Kruse, 1995]. Dette betyr at forholdet DBP/RTT gir en total faktisk båndbredde, og da gjennomstrømningshastighet, for én TCP-sesjon på cirka 936 kbps som absolutt maks.

$$DBP/RTT = (65536 \text{ byte} * 8 \text{ bit/byte}) / 0.560 \text{ sek} = 936 \text{ kbit/sek}$$

Begrensningen ligger derfor i båndbreddeproduktet. Uten modifikasjoner klarer ikke transportprotokollen å sende mer enn hva dette produktet tilsier. Dette er uavhengig av hvor mye nettbåndbredde som er allokert til den enkelte bruker.

Dette regnestykket forutsetter at vi lar maksimal pakkestørrelse begrense båndbredden. Dersom vi da ønsker stor båndbredde, si tilsvarende Ethernet på 10 Mbps, så betyr det at vi påtvinger systemet å ha mange sendevinduer (som igjen består av ikke-ACKede pakker) i nettverket. Denne løsningen fordrer at én forsendelse deles opp i flere parallelle TCP-sesjoner.

5.7.2 Stor forsinkelse

TCP bruker en tidsklokke på sine sendte datagram, for å forsikre seg om at mottakeren mottar det senderen sender. Når klokken (RTO – Retransmission Time Out) går ut før en acknowledgement mottas på en pakke, regnes pakken som tapt i nettverket, og protokollen sørger for retransmisjon. På grunn av satellittens store forsinkelse, påvirker denne klokkeметoden TCPs ytelse i satellittnettverk. Et annet poeng er at Slow start – fasen vil bruke lenger tid på å sende med maksimal senderate og utnytte datakanalens kapasitet, ettersom den er basert på RTT, som for tilfellet satellitt er stor. Dette er simulert og betraktet i [6 – S. Oueslati-Boulahia et al., 2000]

5.7.3 RTO-målinger

RTO-målinger er viktige for TCPs ytelse; dersom den er for liten medfører det unødvendige retransmisjoner, er den for lang medfører den sløsing med båndbredde. De fleste TCP implementasjoner måler RTT (og derav RTO) én gang per sendevindu. Dette er tilstrekkelig for små pakker i jordbaserte nett, men kan gi problemer over satellitt, der TCP-sesjonen preges av større pakker. Det er skissert løsninger, som i [39 – V. Jacobson et. al., 1992], der det foreslås å måle RTT på hver ACK (Det er flere ACK per vindu, da hver pakke skal ACKes).

5.7.4 Kumulative ACK

Med stor RTT tar det lang tid for kumulative ACKer å indikere pakketap. Spesielt gjør dette utslag dersom det er flere pakker i et sendevindu som går tapt. Dette gjør at retransmisjon av tapte pakker vil ta lang tid, og mottakeren vil oppleve dårligere ytelse fra nettverket. Gjennom standard ACKer, kan senderen kun få indikasjon på ett pakketap per RTT eller sendevindu. Dersom man har en ”agressiv” TCP-implementasjon, som *fast retransmit*, vil man kunne oppleve at flere pakker i et sendevindu retransmitteres, selv om noen av pakkene er ankommet mottaker i mellomtiden.

Selective Acknowledgement (SACK) er beskrevet i [40 – M. Mathis et. al., 1996]. Denne løsningen skisserer en metode der senderen får informasjon om hvilken pakke som er tapt i nettet. Dermed kan senderen forsikre seg om at den ikke retransmitteres pakker som egentlig ikke er tapt.

5.7.5 Delayed ACK

For å effektivisere toveis-kommunikasjon, sender vanligvis ikke mottakeren ACK for hver mottatte pakke umiddelbart. For å effektivisere båndbredde venter mottakeren og forsøker å sende ACKen sammen med data som likevel skal tilbake til senderen, også kalt *piggybacking*. Selv om denne metoden sparer båndbredde ser man tydelig at dette er en egenskap som er tilrettelagt for jordbaserte nett, der RTT er lav. Denne metoden forsinker ACK-flyten i returkanalen, som allerede er en tidkrevende prosess i satellittnett. Denne metoden doubler tiden for slow start-algoritmen og congestion avoidance [6 – S. Oueslati-Boulahia et al., 2000].

5.7.6 Kommunikasjonskanalens kvalitet – Bit Error Rate (BER)

Satellittlinker har normalt høyere BER enn jordbaserte datanettverk. Dette er en naturlig følge av at signalene må overføres over lengre avstander og med begrenset transmisjonseffekt. Signalene som mottas på jorden fra satellitt er svake og derfor følsomme for støy. Dette fører igjen til feiltolkninger av signalene og disse feilene og pakkene som ikke kommer fram, har en negativ effekt på TCPs ytelse, ettersom TCP bruker slow start og congestion avoidance algoritmene.

TCP antar at alle tapte pakker skyldes trafikkmetning i datalinken, og svarer med å redusere vindusstørrelsen over linken. Det tar en hel RTT før senderen oppdager dette. Deretter halverer senderen vindusstørrelsen sin, før den starter en ny slow start fase. Med denne metoden reduseres dataratene fra senderen, slik at flaskehalsen får mindre trafikkbelastning og bufferen slipper å bli overfylt. Problemet derimot, oppstår i nettverk der ikke alle tap av

pakker er grunnet trafikkork, men som et resultat av en ustabil datakanal. I satellittnettverk kan pakketap forårsaket av dårlig link forekomme med en sannsynlighet $P > 10^{-2}$ [2 – Ian F. Akyildiz et al., 2001]. Dette er ofte nok til at reduksjon av vindusstørrelsen vil være poengløst, siden BER i satellittnettverk på en måte er satt og gjør at systemet ikke holder et maksimalt transmisjonsnivå til enhver tid. For mange applikasjoner gir dette en for lav datagram senderate og for stor forsinkelse. Dette er en av hovedårsakene til TCPs dårlige ytelse over satellitt, så det må implementeres algoritmer for å motvirke det.

5.7.7 Asymmetriske kanaler

En sliding window protokoll som TCP avhenger av acknowledgements fra mottakeren, slik at senderen vet når og hvor mye data den skal sende. TCP-sesjoner og tradisjonell internetbruk er asymmetriske. Med dette menes at det klart er mye mer data som skal sendes fra server til klient, enn i motsatt retning. Klienten skal kun sende ACK på mottatte pakker. Dette påvirker gjennomstrømmingen, ettersom ytelsen begrenses av kapasiteten til den minste linken. [6 – S. Oueslati-Boulahia et al., 2000] og [17 – Y Fun Hu et al.] beskriver dette basert på simuleringer og forsøk. I tillegg gis kanalen fra senderen til mottaker en større båndbredde enn kommunikasjon motsatt vei, ettersom det kun skal sendes små ACK-pakker tilbake. Men dette gjør at selv få ACK-pakker kan skape kork i denne returkanalen. I andre rekke vil TCP tolke en mangel på ACK som kork i sender-til-mottakerkanalen, og dermed unødige halvere senderaten, slik slow-start-algoritmen krever.

5.7.8 Variabel tidsforsinkelse

TCP opplever store problemer på grunn av variabel tidsforsinkelse. Spesielt er dette fremtredende i dynamiske satellittkonstellasjoner. LEO-konstellasjoner er et typisk eksempel på dette. RTT varierer med satellittens bevegelse i sin bane, da satellittens avstand til jorden varierer. Vi husker at Retransmission Time Out (RTO) kalkuleres ut fra systemets målte RTT. Siden RTT varierer betydelig i LEO-konstellasjoner, vil RTO, som ikke oppdateres like ofte, enten under-estimeres eller overestimeres. En underestimert RTO vil resultere i en for tidlig time-out, hvilket gir en for tidlig slow start, som igjen gir et negativt utslag på TCPs ytelse.

5.7.9 Oppkollingsbrudd

Oppkollingsbrudd medfører en sterk påkjenning på TCPs ytelse, igjen mest tydelig der store dynamiske satellittkonstellasjoner er involvert. For LEO-satellitter, er visuell kontakt over en bestemt lokasjon vanligvis 10 til 15 minutter. For å opprettholde TCP-oppkollingen, er det viktig med hyppige handover prosedyrer mellom satellittene. Handover-prosedyrer i satellittsystemer er betydelig mye mer tidskrevende enn jordbaserte mobile systemer. TCP opplever en reduksjon i gjennomstrømmingen av data som et resultat av pakketap under handover. TCP takler dette på samme måte som nevnt tidligere, ved pakketap i fysiske lag. TCP antar at pakketap har årsak i trafikkork, og dermed halverer senderaten sin og starter congestion avoidance.

5.7.10 Løsninger

Det har siden man innså at satellitten vil komme til å spille en sentral rolle i utviklingen av Internett, vært betydelig forskningsaktivitet for å effektivisere TCP for de nevnte problemene. Dette går utenfor målene med denne oppgaven, men dette er løsninger som er en del av TCP-

akseleratorer som beskrives noe nærmere senere i oppgaven. Derfor har dette vært litteratur jeg til dels har fordypet meg i, og som kan være god lesing for den interesserte.

I disse artiklene går det fram at det er metoder som kan forbedre TCPs ytelse over ”lange” kanaler (stor delay). Det er vanlig å klassifisere løsningene i to deler:

- Løsninger som utvider TCP-standarder til å fungere vel over lange kanaler, gjennom bruk av tilleggs mekanismer. I dette inngår for eksempel økt TCP-vindustørrelse, selektive acknowledgements og endringer i slow start og congestion avoidance algoritmene.
- Løsninger som ikke behøver modifikasjoner i TCP/IP-protokollen. En løsning av denne typen kan være å bryte TCP-sesjonen i en mellomliggende node i nettverket. Dette kalles *spoofing*, og metoden søker å motvirke TCPs effekt på lange satellittkanaler, uten å måtte endre noe hos sluttbrukerne. Slike metoder isolerer satellittlinken fra resten av nettverket.

Følgende artikler beskriver diverse løsninger skissert for å effektivisere TCP over satellittkanal: [2 – Ian F. Akyildiz et al., 2001], [3 – Mark Allman et al., 1999], [4 – Mark Allman, 1997] og [6 – S. Oueslati-Boulahia et al., 2000].

5.8 Tjenestekvalitet over satellitt (Quality Of Service)

Som en del av den kontinuerlige utviklingen av Internett har Internettteknologien gått over i en ny fase, der hovedmålene med utviklingen har blitt å tilby høyhastighets- og høykvalitets kapasitet. Tjenestekvalitet, heretter kalt QoS (Quality Of Service) over et høyhastighets/bredbånds Internett er i dag et viktig forskningsfelt, spesielt ettersom brukerne i dag viser økt fokusering på bruk av multimedieapplikasjoner.

Sagt på en enkel måte, brukerne krever flere bit på kortere tid med mindre feilmargin.

En av de mest sentrale forskningsfelt, ettersom båndbredde fastsettes av nettstrukturteknologi, er nettverkdelenes tjenestegaranti (QoS). Det hjelper ikke å kunne levere store datamengder på kort tid, dersom store deler av leveransen inneholder feil. Med bakgrunn i satellittnettverkens egenskaper er spørsmålet hvorvidt satellittene kan nå samme QoS som jordbaserte nett. Spesielt fordi satellitten har en begrenset båndbredde, signalene er støyfølsomme og at forsinkelsestiden er stor, gjør dette til en interessant og reell utfordring. I tillegg er det et generelt problem at nettverkene mettes ved for stor belastning, noe som medfører at noen brukere ikke får levert de tjenestene de etterspør. Så spørsmålet er hvordan man kan betjene alle brukerne tilfredstillende.

Det er mange løsninger som har blitt presentert for QoS-problemet i IP-basert kommunikasjon. De mest anerkjente og brukte er IETFs (Internet Engineering Task Force) løsninger; *IntServ-arkitekturen* (Integrated Services) og *DiffServ-arkitekturen* (Differentiated Services). Begge disse arkitekturerne introduserer ideen med spesielt tilrettelagt prosessering for forskjellige kategorier av tjenester, slik at nettverket kan garantere tilstrekkelig QoS for hver applikasjon.

Pakkebaserte nettverk har allerede i mange år tilbudt multimedia-applikasjoner. Med dette menes applikasjoner som kombinerer lyd (audio), bilde (video) og data. Uansett, med

digitaliseringen av de fleste kommunikasjonstjenester, har audio og video også blitt ”vanlig” data, på lik linje med all annen informasjon. Det dreier seg om en strøm av bits som skal overføres over en datakanal. Problemet oppstår ved at applikasjoner som krever flere bit over en kanal på kortere tid, krever økt båndbredde. Båndbredde, på sin side, er en begrenset ressurs i mange nettverk og dette er et evigvarende problem innen datakommunikasjon. Noe av belastningen avverges ved fokus på utbygging av bedre bredbåndsnett og noe med nye ressursbesparende måter å kode informasjon på, samt feilrettende kodingsteknikker som garanterer for tjenestekvaliteten. Utviklingen av stabile og pålitelige bredbånds aksessnett står derfor som en sentral problemstilling for operatørene.

Et annet aspekt som kommer inn med digitaliseringen av tidligere analoge kommunikasjonstjenester, er tidsavhengighet. For eksempel vil en bruker i en telefonsamtale, kreve at sin tale når frem til mottaker nærmest momentant, slik at dialogen kan foregå uten irriterende avbrekk og forsinkelser. Slike tidsavhengige tjenester som telefon, live-multimedia og interaktive tjenester, kalles *sanntidsapplikasjoner*. Det som skiller slike applikasjoner fra andre tjenester, er at de krever en garanti fra nettverket at dataen ankommer i tide. Tidligere tjenester over typisk Internettliknende plattformer har krevd at dataen mottas riktig, mens det for sanntidsapplikasjoner ikke har noen verdi i det hele tatt, dersom ikke dataen ankommer tidsnok. Slikt sett er *best-effort* nettverk, som IP, der nettverket kun gjør sitt beste for å levere pakker og ansvaret for sammenfatning av informasjon til bruk ligger hos brukerapplikasjonen, ikke tilstrekkelig for sanntidsapplikasjoner.

Løsningen er for så vidt enkel; sanntid krever en ny tjenestemodell. I denne modellen må applikasjonene kunne spørre nettverket hvilken tjenestegaranti det tilbyr, slik at applikasjonene får garantert tjenesteleveranse. Denne type nettverk må strengt tatt inngå som et ”sub-nettverk” i de eksisterende best-effort nettverkene, fordi plattformen fortsatt må kunne tjene ikke-sanntidsapplikasjoner, også kalt *elastiske* applikasjoner. Det nye med dette er at nettverket må kunne skille de forskjellige applikasjonene fra hverandre, og derav håndtere dem forskjellig i forhold til deres tjenestekrav. Og dette er nettopp essensen i sanntids nettverksteknologi, **å kunne differensiere brukerne**, derav tilnavnet differensierte tjenester (Differentiated Services). Denne type nettverk faller inn under fellesbetegnelsen QoS-nettverk, fordi de støtter tjenestegaranti for sine applikasjoner.

5.8.1 IntServ og DiffServ

IntServ-modellen var første forsøk på å introdusere QoS i Internett. IntServ-filosofien baserer seg på reservasjon: Å garantere for tilstrekkelig håndtering av forskjellige typer trafikkflyt. IntServ-modellen reserverer ressurser for hver trafikkflyt på forhånd gjennom hele veien fra endebruker til endebruker, og slik garanterer kvaliteten for en tjeneste. Problemet imidlertid, er at denne metoden ikke skalerer, fordi alle mellomliggende rutere må lagre informasjon om enhver trafikkflyt som traverserer dem. Det sier seg selv at dersom belastningen blir stor nok, så vil dette bli for store mengder data å holde rede på til at metoden virker effektiviserende.

Mens IntServ-modellen allokerer ressurser i nettverket til hver trafikkflyt, deler Diffserv-modellen inn trafikk i et lite antall trafikk-klasser. Det er sentralt at ikke antallet klasser blir for stort, ettersom man ser at det er problematisk nok å få et best-effort nettverk til å fungere feilfritt, selv uten ekstra tjenester. Diffserv allokerer ressurser til hver klasse, istedenfor til hver flyt. Deretter klassifiseres all trafikk innen disse klassene. Faktisk er en av de foreslåtte tilnærmingene til slike differensierte tjenester, en modell med bare to klasser. I denne modellen innfører man kun én ekstra klasse, kalt *primærklassen*. Så modellen trenger en

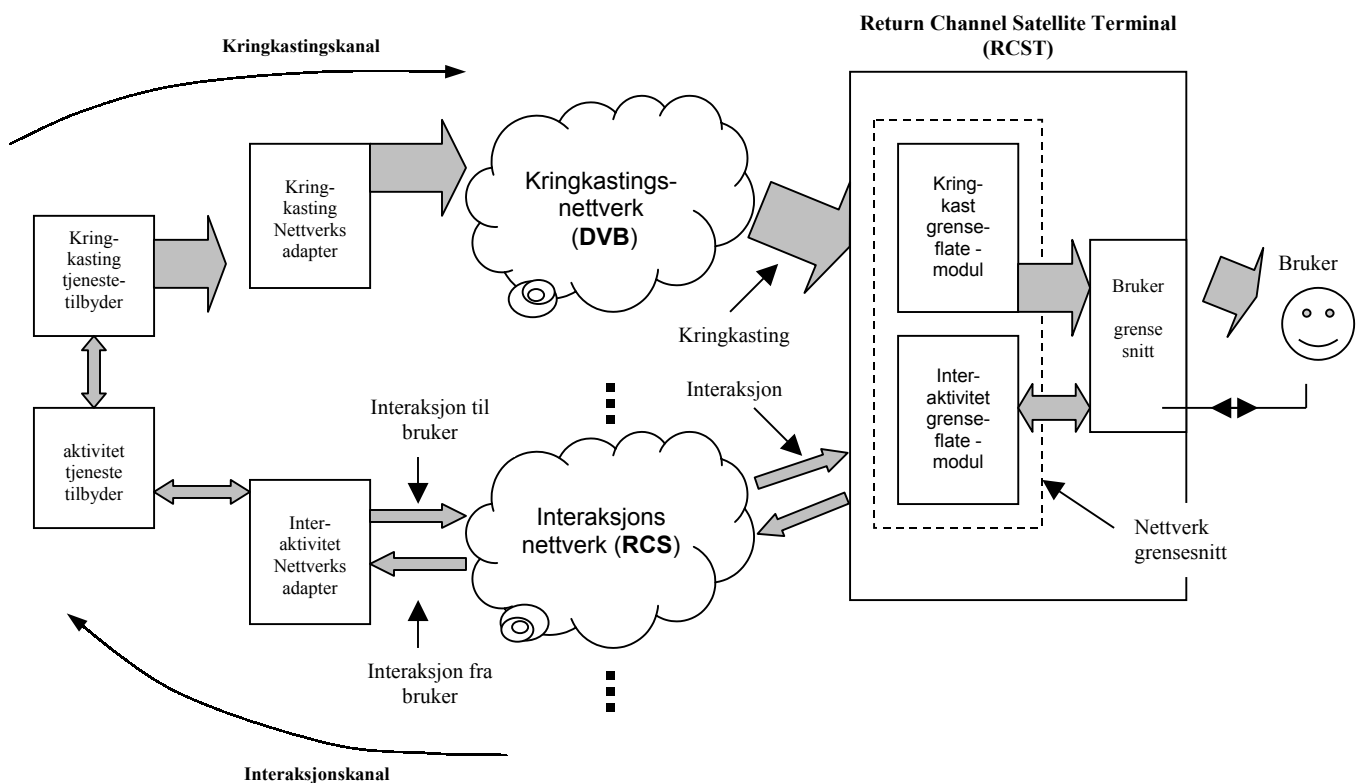
algoritme for å skille primærpakker fra ”vanlig” best-effort pakker, og det gjøres ved å bruke en bit i IP-headeren. IETF har bestemt å redefinere TOS-feltet (Type Of Service) til å tjene denne differensierte tjenesten. En av bit’ene i dette feltet knyttes til primærpakker; er bit’et satt (= 1), er pakken en primærpakke, er den ikke satt (= 0), er det en vanlig pakke. Slik unngår man problemet med at IntServ ikke skalerer fordi enhver ruter må ha informasjon om alle strømmer den håndterer.

Det åpne spørsmålet, blir da hvem som skal bestemme hvilke pakker som er primærpakker og hvilke som ikke er det. Det mange mulige løsninger på en slik utfordring, men det vanlige er å la primær-bitet settes av de administrativt ansvarlige som kontrollerer grensene til hvert domene. For eksempel kan inngangsruteren til en ISP (Internet Service Provider) som Telenor sette bit’ene for alle pakker som kommer til en spesiell kundes nettverk. Dette kan være fordi denne kunden har betalt for en tjeneste bedre enn best-effort. En annen løsning kan være å følge ”førstemann-til-mølla-prinsippet”, der inngangsruteren markerer alle pakker som primær, inntil en satt maksimalgrense. Alle pakker etter dette tilbys best-effort av nettverket. En tredje løsning, som kanskje virker som den beste, er å knytte klassen automatisk til forskjellige applikasjoner. QoS-problemet vil beskrives nærmere for bredbåndsnettverk i kapittel 9.3.3.

Kapittel 6

DVB-RCS

DVB-RCS (Digital Video Broadcast – Return Channel System) er standarden for et satellittsystem med en returkanal fra bruker. Denne standarden er basert på DVB-S (Digital Video Broadcast – Satellite) standarden for nedlink, og tilbyr i tillegg en kanal tilbake fra bruker til satellitt og tjenesteleverandør. Dette er et system som utnytter satellittens kringkastings-egenskaper (DVB-S), men som i tillegg tilbyr interaktivitet ved å opprette en kanal fra bruker tilbake til satellitten. Systemmodellen illustrert i figur 2.1 viser dette. [18 – ETSI, 2000]



Figur 6.1: Referansemodellen for interaktive satellittsystemer

Denne modellen viser at det i DVB-RCS opprettes to kanaler mellom tjenestetilbyderen og brukeren:

Kringkastingskanalen (Forwardlink/DVB-S)

Enveis kringkastingskanal med høy båndbredde. Denne kanalen inkluderer video, audio og data fra tjenestetilbyder til bruker.

Interaksjonskanalen (Returnlink/RCS)

Toveis interaksjonskanal for å tilby kommunikasjon fra bruker til tjenesteleverandør. Det er én interaksjonskanal per bruker eller brukergruppe, hver med liten båndbredde, slik at et stort antall brukere kan ha interaktivitet med tjenesteleverandør. Denne består av følgende to deler:

- **Opplink;** Dette er interaksjonskanalen fra brukeren til tjenesteleverandør. Denne brukes typisk til å etterspørre tjenester fra systemet, eller å svare på spørsmål og lignende. Et viktig tillegg er at acknowledgements traverserer her.
- **Nedlink;** Dette er kommunikasjonskanalen fra tjenesteleverandøren til brukerne. Den brukes typisk for å gi informasjon til brukeren og annen kommunikasjon som er nødvendig for interaktivt tjenestetilbud. Kringkastingskanalen kan også brukes til dette. I noen mindre toveissystemer, vil denne kanalen kunne erstattes med utstrakt bruk av kringkastingskanalen.

Return Channel Satellite Terminal – RCST, som representerer den interaktive bruker, er bygd opp av nettverksgrensesnitt og et brukergrensesnitt. RCST'en skaper grenseflate for både kringkastings- og interaksjonskanalen. Det er gjennom denne terminalen at brukeren kommuniserer med systemet og tjenesteleverandør. Grenseflaten mellom RCST og interaksjonsnettverket er som vist i referansemoduleen gjennom den interaktive grensesnittmodul.

DVB-RCS er en aksessteknologi, som tillater bredbåndstilgang til Internett og andre tjenester via satellitt. Slikt sett, er DVB-RCS en konkurrent til andre jordbaserte teknologier som modem, ADSL, kabelnettverk. Man ser for seg to hovedområder hvor DVB-RCS vil oppleve betydelig bruk:

1. Vanlige Internettapplikasjoner som E-mail, websurfing, spill, Voice over IP, filoverføring og diskusjons- og nyhetsgrupper.
2. DVB-RCS har blitt spådd gode konkurransefortrinn fremfor jordbaserte nettverk ved å utnytte satellittens multicast-egenskaper. Multicast filoverføring og videosending er metoder som viser seg meget økonomiske i datakommunikasjon. Det man tenker på er punkt-til-multipunkt (P2MP) kommunikasjon og multipunkt-til-multipunkt (MP2MP). Det er for tiden betydelig forskningsaktivitet innen multicast-teknologier, men det har foreløpig vist seg vanskelig å finne pålitelige, skalerbare løsninger for jordbaserte nett. Innen dette er på plass vil DVB-RCS ha fordelen av at aksessteknologien tilbyr billig multicastløsninger basert på eksisterende Internettstandarder. Man tunnellerer multicast-dataen over Internettet via en multicastlink fra kilden til en sentral multicastserver som deretter kringkaster dataen via satellitt til den tiltenkte gruppen.

6.1 Nettverket

I et interaktivt satellittnettverk, der mange brukere/RCST'er opererer, kreves følgende funksjonelle blokker, som vist i figur 6.2.

Network Control Centre (NCC):

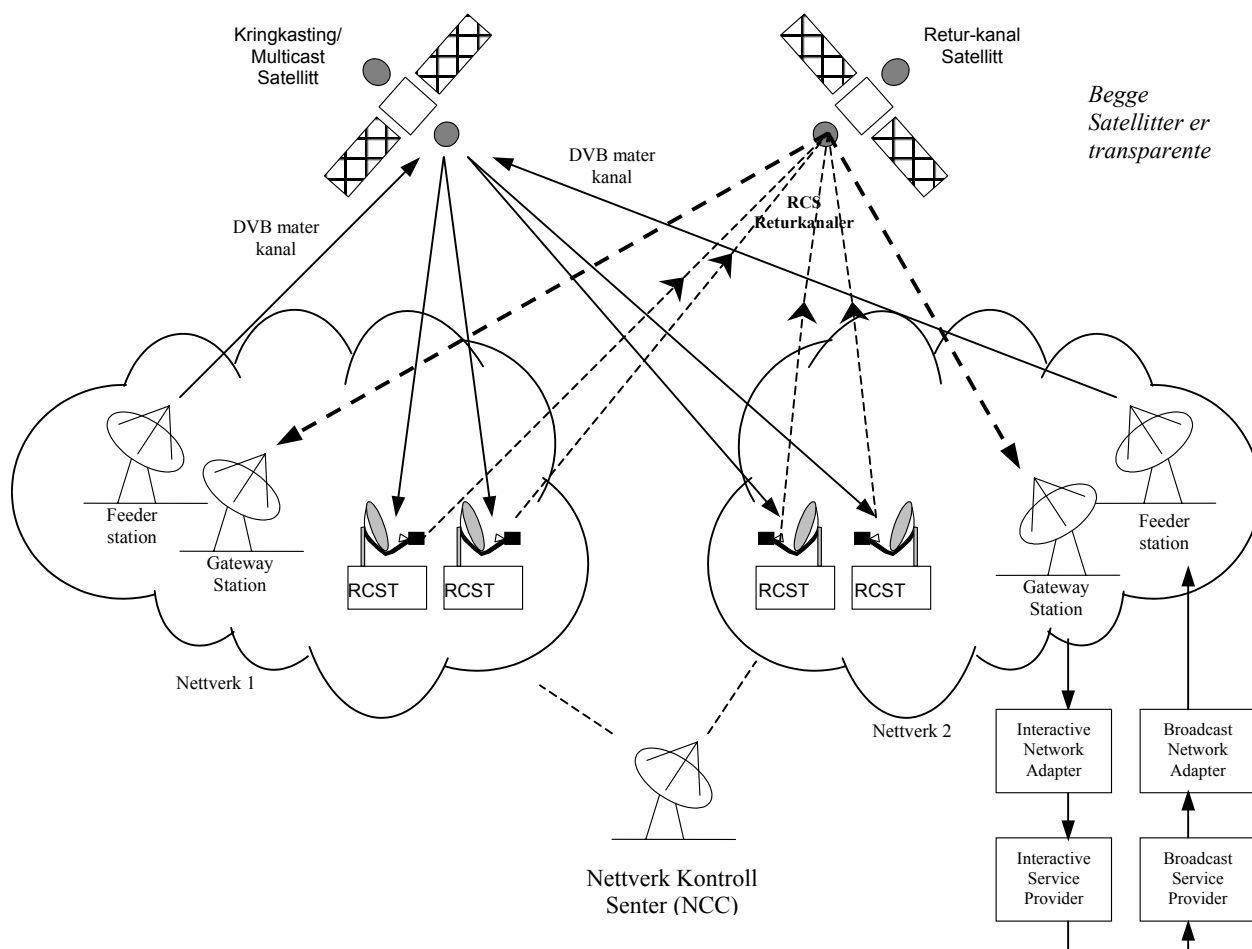
En NCC monitorerer og kontrollerer systemet. Den genererer kontroll- og tidssynkroniseringssignaler for satellittens interaktive nettverk. Dette er en viktig kontrollenhet, da DVB-RCS bruker MF-TDMA (Multi Frequency – Time Division Multiple Access), et transport-multipleks som krever presis tids-synkronisering. I tillegg vil NCC kunne fungere som mellomledd mellom to nettverk.

Gateway Station:

Denne trafikkporten mottar retursignalene fra RCST/ bruker, gjennom returkanal satellitten. Dette er kommunikasjon fra endebrukerne til tjenesteleverandør. I dette signalet enkapsuleres IP i ATM (Asynchronous Transfer Mode), se appendiks A.1, eller MPEG (Moving Picture Expert Group), se kapittel 6.5. Gjennom denne kanalen forespør brukeren tjenestetilbyderens tjenester. Service Provider/tjenesteleverandør tilbyr interaktive tjenester og tilknytning til eksterne nettverk (internett) og mennesker, som f.eks private tjenestetilbydere. Dette kan være databaser, betal-tv, videokilder, software nedlastning, teleshopping, banktjenester, børs/finans-tjenester, interaktive dataspill.

Feeder Station (sendestasjon):

Fra denne materen kommer sendingen, som er et standard Digital Video Broadcast – Satellite (DVB-S) signal. I dette signalet enkapsuleres IP i MPEG-celler, noe vi kommer tilbake til senere. Satellitten er transparent og videresender sendingen/signalet til et forhåndsinnstilt kringkasting/multicast-område. På dette signalet kan man multiplekse brukerdata og/eller kontroll- og tidssynkroniseringssignalet som er nødvendig for det interaktive satellittnettverket.



Figur 6.2: Referansemmodell for interaktivt satellittnettverk [18 – ETSI, 2000]

6.1.1 RCST synkronisering

Synkroniseringen av de mange RCST'er i et interaktivt satellittsystem er en forutsetning for et fungerende system. RCST'ene må fungere slik at man får et effektivt system med minimum interferens mellom brukere og maksimal senderate. NCC kan ta mange av de effektiviserende oppgavene. Dette kan være oppgaver som frekvensfeilretting og Dopplershift-kompensasjon for RCST'ene. Derfor er synkroniseringsmekanismen flettet inn i opplinksignalet gjennom to metoder; NCR (Network Clock Reference) og signalering i DVB/MPEG2-TS (MPEG versjon 2 - Transport Stream) rammer.

NCR'en distribueres med en unik PID (Packet IDentificator) i MPEG2-TS signalet. NCR'en defineres ut fra NCC sitt referanse klokkesignal, som har en nøyaktighet på 5 ppm (parts per million). [18 – ETSI, 2000]

RCST'en finner sin senterfrekvens, starttid, burstvarighet og total sendevarighet ved informasjon som innflettes/enkapsuleres i Forwardlinksignalet. MPEG2-TS, som bærer signaleringsinformasjonen og inneholder NCR-informasjon, tilbyr en 27 MHz frekvensramme for RCST'ene. Denne brukes for å generere bærefrekvensen for RCST'ene.

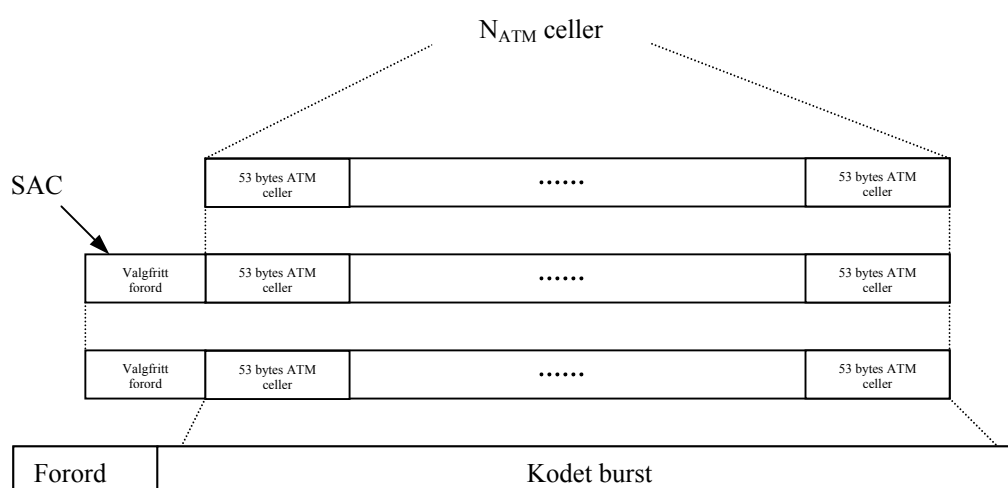
6.2 Transportmekanismer i DVB-RCS

Brukerne/RCST'ene må ha en måte å kommunisere med returkanalsatellitten og gateway-stasjonene på, slik at Interactive Service Provider og Broadcast Service Provider kan tilby tjenestene som forespørres, gjennom matekanalen (se figur 6.1). I tillegg må RCST'en kunne foreta kapasitetsforespørsler og kommunisere M&C-meldinger (Monitoring & Control) gjennom returkanalen. Fellesbetegnelsen for dette er MAC-meldinger (Medium Access Control). Vi skal gå nærmere inn på metoder anvendt for dette i DVB-RCS standarden. I de tre første metodene, brukes Satellite Access Control (SAC)-feltet i transportstrømmen, mens i det siste tilfellet enkapsuleres beskjedene i enten ATM-pakker eller MPEG-2 datapakker. Den sistnevnte metoden kjennes også som DULM-metoden (Data Unit Labelling Method). Disse metodene kan brukes om hverandre i et interaktivt satellittnettverk og RCST'ene konfigureres ved oppkopling.

Aller først må vi se nærmere på transportmekanismene brukt i DVB-RCS. Sentralt er hvordan ansamlinger av datapakker, heretter kalt bursts, sendes i systemet. Trafikkbursts brukes til å sende nyttedata mellom bruker/RCST og gateway (tjenesteleverandør/systemet). To burstformat skiller seg ut i DVB-RCS; ATM og MPEG-TS trafikkbursts [18 – ETSI, 2000].

6.2.1 ATM trafikkburst

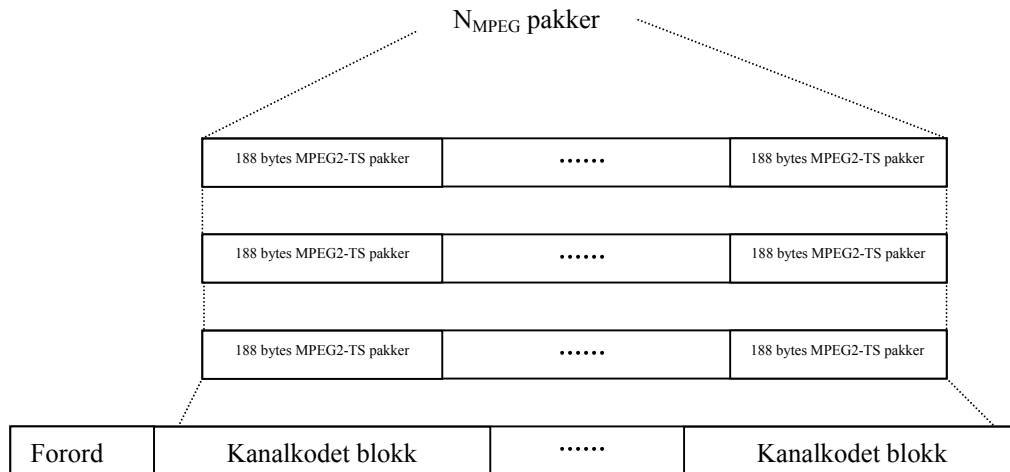
En ATM trafikkburst består av N_{ATM} sammenhengende ATM-celler. Mer om ATM-teknologien er beskrevet i appendiks A.1. Alle har den samme faste ATM-lengden, 53 bytes. I tillegg legges et valgfritt prefiks/forord. Dette forordet brukes av systemkomponentene for å kople opp og allokere tidsluker, også kalt MAC-meldinger. Hver burst kodes av feilrettingshensyn, slik at man sender kanalkodede bursts. Figur 6.3 illustrerer hvordan dette foregår.



Figur 6.3: ATM-trafikkbursts

6.2.2 MPEG2-TS trafikkburst

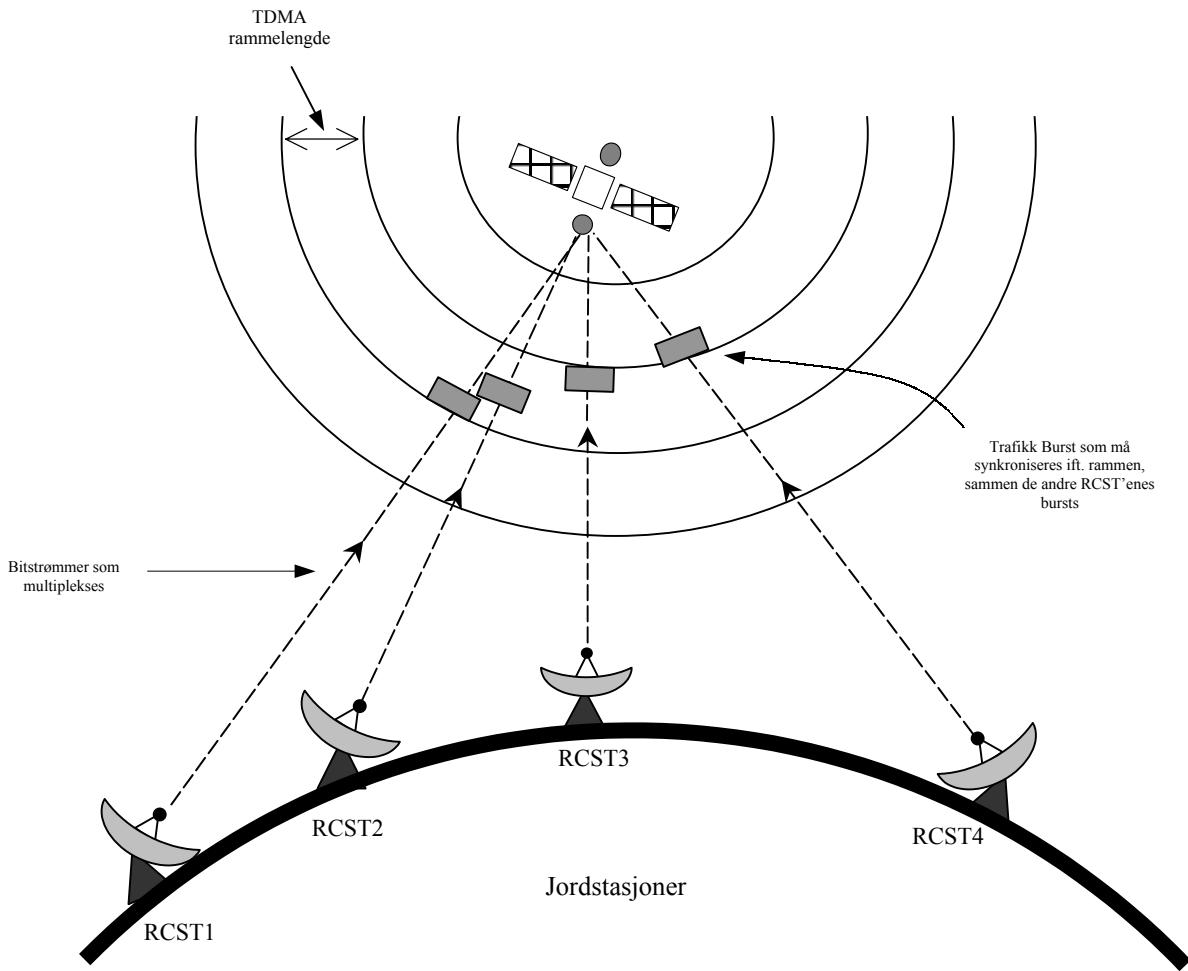
En MPEG2-TS trafikkburst består av N_{MPEG} sammenhengende MPEG2-TS pakker. Disse pakkene har den faste MPEG pakkestørrelsen 188 bytes. Hver blokk kodes av feilrettingshensyn, slik at man sender kanalkodede blokker.



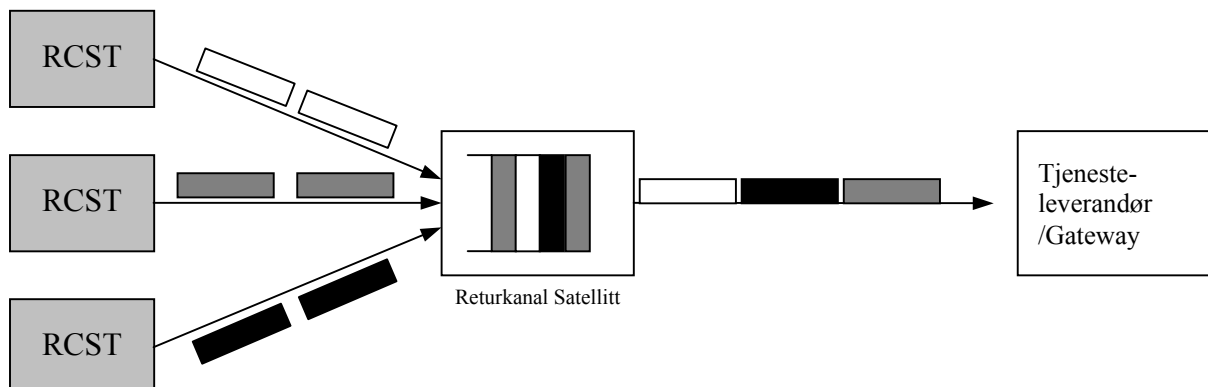
Figur 6.4: MPEG2-TS trafikkburst

6.2.3 Synkronisering og ressursallokering

Synkronisering og ressursallokering kreves for å nøyaktig kunne posisjonere RCST'enes burst, slik at alle RCST'ene kan kommunisere med systemet samtidig på en effektiv måte. DVB-RCS bruker transportmultiplekset MF-TDMA (Multi Frequency – Time Division Multiple Access) i opplink, som vi skal gå nærmere inn på etter hvert. Dette ble funnet til å være den mest effektive kapasitetsdelingsmetoden. Hver bruker må sende sine trafikkburst på en synkron måte, slik at satellitten mottar en jevn strøm av bit fra RCST'ene, i den rekkefølgen som er avtalt gjennom konfigurasjon og MAC-meldingene. Dette er illustrert i figur 6.5 og 6.6.

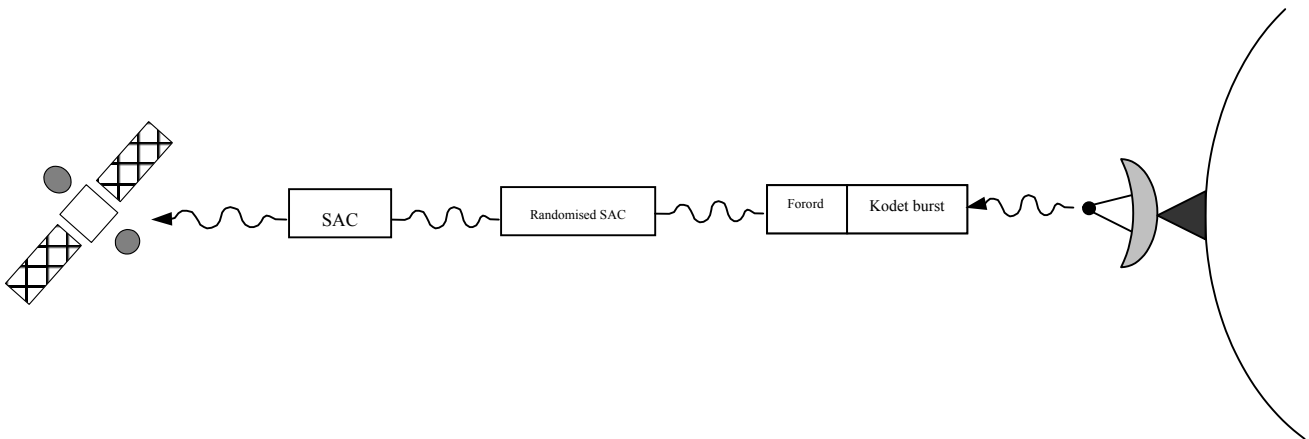


Figur 6.5: Synkronisering av flere RCST'er i et MF-TDMA satellittsystem



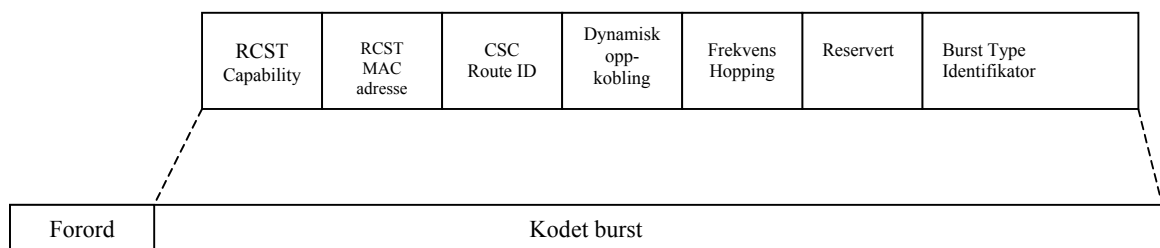
Figur 6.6: Prinsippskisse for multiplexing av data fra flere brukere over satellitt

SYNC-burst brukes for å opprettholde sendekontroll og synkron sending til systemet. Aller først i en slik burst, kommer et forord, som systemet bruker for å identifisere nytte-dataen i SYNC-bursten. Før nytte-dataen tillater protokollen å sende to valgfrie SAC-felt (Satellite Access Control). Det første feltet, randomised SACK, brukes til å sende konfigurasjonsinformasjon, mens det andre feltet, forord, inneholder kodealgoritmer. Enden på forordet definerer at nytte-dataene, enten i form av ATM-celler eller MPEG2-TS pakker, er på vei. Figur 6.7 illustrerer dette.



Figur 6.7: Synkroniseringens burst format (SYNC)

RCST bruker CSC-burstformat (Common Signalling Channel) for å identifisere seg ved oppkobling mot systemet. Dette skjer altså før selve dataoverføringen finner sted. Denne bursten består av forord for burst-gjenkjenning og et felt for å beskrive RCSTs egenskaper; RCST MAC adresse (Medium Access Control)/CSC route ID, dynamisk oppkobling, frekvenshopping, reserverte felt og burst type identifikator. CSC-bursten er omsluttet av et guard interval, som brukes for tidssynkronisering og feildetektering. Feltene er nærmere forklart i tabell 6.1.



Figur 6.8: Inndelingen av en CSC-Burst

Felt	Størrelse/bit	Forklaring
Forord	Variabelt	For å detektere burst og burst-start
RCST Capability	24	De enkelte bit settes for RCST egenskapskartlegging
RCST MAC adresse	48	RCST MAC adresser som definert i IEEE 802.3
CSC Route ID	16	Definerer forward link til mottaker av CSC burst'en
Dynamisk oppkobling	1	Dette bit'et viser om RCST'en støtter dynamisk oppkobling
Frekvens hopping	1	Hvorvidt RCST støtter frekvenshopping mellom tidsluker eller ikke
Reservert	21	Ikke i bruk enda
Burst Type Identifikator	1	Bit'et er satt for å identifisere CSC-bursts

Tabell 6.1: Betydningen av parameterne i CSC-burst.

6.3 MAC – meldinger (Medium Access Control)/Tilgangskontroll

SAC-feltet

Vi husker at SYNC-burst formatet og det valgfrie forordet til ATM traffic burstene inneholdt et Satellite Access Control-felt (SAC). Dette feltet består av signaleringsinformasjon fra RCST'en hvis hensikt er å spørre systemet om kapasitet for kommende transportsesjon, for eksempel båndbredde informasjon, eller annen MAC-kommunikasjon. Det finnes to forskjellige metoder for å opprettholde god synkronisering mellom enhetene i systemet.

SAC-metoder

Forordmetoden bruker det valgfrie SAC-forordet (se figur 6.7) som legges foran trafikkburst'en. Dette forordet bærer da kontroll- og styringsinformasjon fra RCST til NCC.

Minislotmetoden legger et periodisk tillegg på RSCT'ens burst. Disse tilleggene er kortere enn en vanlig trafikkburst, og brukes også for kontroll- og styringsinformasjon fra RCST til NCC. Felles har disse metodene at de sender konfigurasjonsinformasjonen *i tillegg* til nyttedata-bursts, og som sådan regnes som overhead.

6.3.1 Enkapsulering av MAC-meldinger og data

DULM – Data Unit Labelling Method/ Enkapsuleringsmetoden

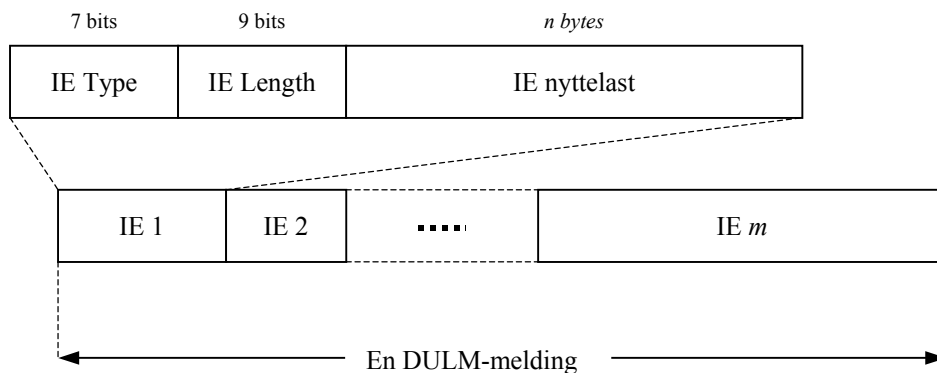
DULM er en meldingsbasert metode som tillater RCST'en å sende kontroll- og styringsinformasjon til NCC som en del av nyttelasten som allerede sendes i vanlige trafikkbursts. Disse dataenhetene kan være enten ATM-celler på 53 bytes, eller MPEG2-TS pakker på 188 bytes, alt avhengig av hvilken enkapsuleringsmetode RSCT'en bruker. Disse sekvensene med spesiell data i trafikkburstene fra RCST til NCC sendes over en dedikert virtuell kanal som kalles control/management-kanalen (CTRL/MNGM). I denne kanalen gjenkjennes de enkapsulerte pakkene med kontroll- og styringsinformasjon.

Det er enten NCC eller RCST som initierer oppsettet av den virtuelle CTRL/MNGM-kanalen. For eksempel kan en RCST bruke en allerede tildelt tidsluke for å undersøke båndbredde-

tilgjengeligheten i systemet. På den andre side kan eksempelvis en NCC etterspørre statusinformasjon fra en RCST, og allokere en tidsluke for en virtuell CTRL/MNGM-kanal for denne terminalen.

ATM enkapsulert i DULM

For RCST'er som bruker ATM trafikkbursts, må den virtuelle CTRL/MNGM-kanalen identifiseres med en unik verdi i datastrøm-headeren (Data Unit Header). En DULM-melding består av mellom 1 og 64 Information Elements (IE). IE-formatet er illustrert i figur 6.10. Standarden har en header på 2 byte (IE-type og IE-length), pluss en nyttelast på mellom 1 og 512 bytes. En DULM-melding bygges opp av opptil 64 IE'er og de kan variere i lengde.



Figur 6.9: ATM-enkapsulert i en DULM-melding

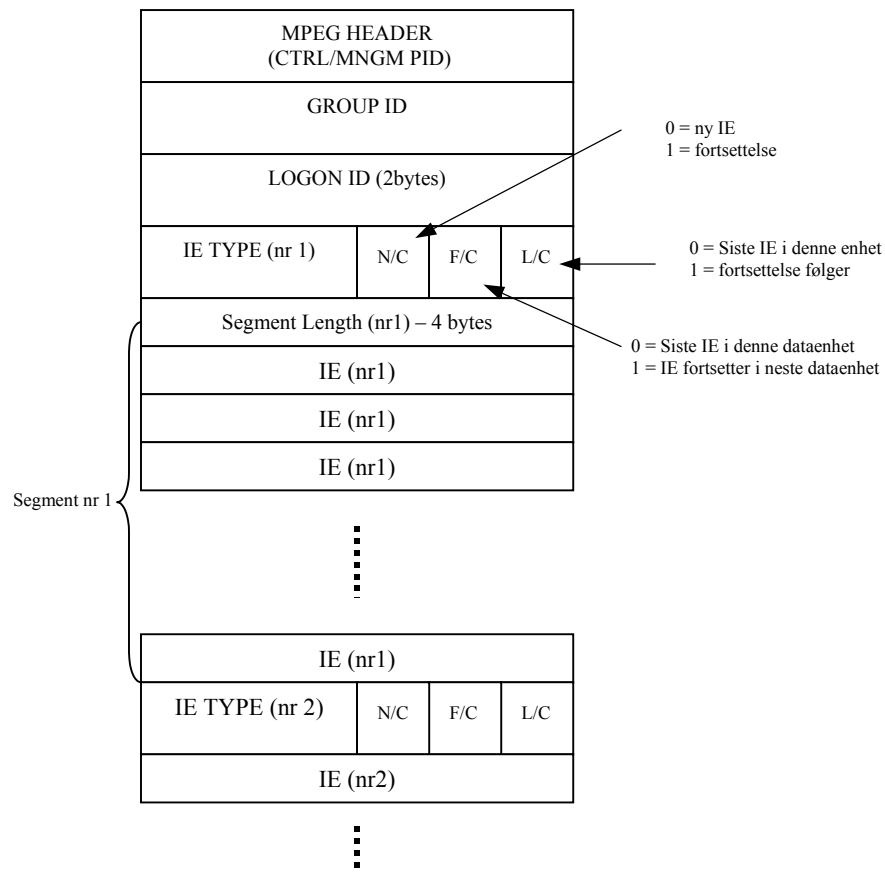
MPEG2-TS enkapsulert i DULM

RCST'er som bruker MPEG2-TS bursts for å sende nytte-data, kan også enkapsulere MAC-meldinger i vanlig trafikkburst, dette er kalt DULM. Måten dette gjøres på, er å bruke en CTRL/MNGM PID i starten av bursten. (se figur 6.10) Deretter følger 2 byte som inneholder RCST Group ID og Logon ID. Disse tre bytene ligger først i alle DULM-enheter. Etter dette følger en eller flere IE'er med følgende innhold:

- Den første byen i hver IE inneholder følgende fire felter;
 - IE TYPE-feltet på 5 bit som definerer IE-typen.
 - N/C-feltet (New/Continuation) er det sjette bit'et. Hvis dette bit'et er null, starter følgende IE med denne dataenheten, hvis N/C=1 er IE'en en fortsettelse fra forrige CTRL/MNGM-dataenhet.
 - Det sjuende bit'et er F/C-feltet. F/C=0 sier at IE vil avsluttes i denne CTRL/MNGM-enheten, mens F/C=1 gir at IE fortsetter i neste CTRL/MNGM fra samme RCST.
 - L/C, det åttende bit'et, betyr at IE er den siste i denne CTRL/MNGM-enheten hvis den er satt. Dersom L/C=1, kommer det en eller flere IE til i den samme CTRL/MNGM-kanalen.
- Det neste bytet er SLENG-feltet som angir segmentlengden i antall bytes.

Etterfølgende bytes er fragmenter med variabel lengde. Det er viktig å merke seg at hvis IE strekker seg over flere CTRL/MNGM-enheter, så må IE-headeren, som består av IE TYPE, N/C, F/C, L/C og SLENG, legges ved hver dataenhet. I MPEG2-TS er hvert

datagram på 188 bytes. I den siste IE-pakken, som skal definere slutten på en virtuell CTRL/MNGM-kanal, settes alle bit'ene til 0.



Figur 6.10: MPEG enkapsulert i en DULM-melding

6.4 Problemer med bredbåndstjenester med DVB-RCS

I sammenheng med multimedialeveranse og definerte bredbåndstjenester, er det spesielt ett område hvor DVB-RCS systemet opplever problemer. Dette har sammenheng med de lange avstander over satellittkanalen, samt begrensninger i selve standarden. Dette kommer til uttrykk spesielt ved interaktive tjenester som videokonferanse og interaktive spill. Problemet er at forsinkelsen blir for stor og at DVB-standarden binder systemet til å bruke MPEG på nedlink og MF-TDMA på opplink.

6.4.1 Forsinkelse

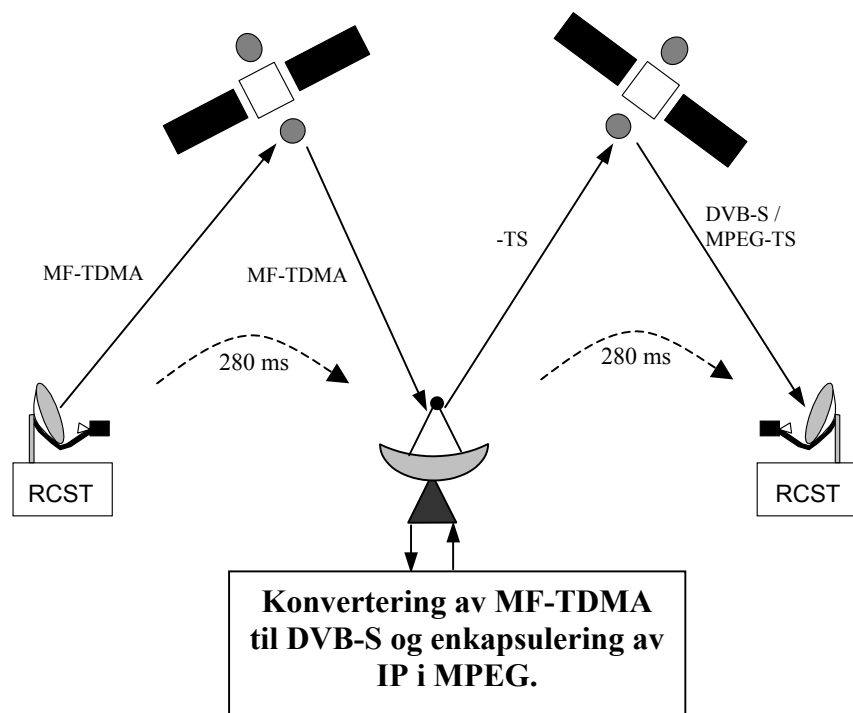
Den lange avstanden mellom satellitterminal og satellitt (cirka 36000 km), gjør at TCPs begrensninger gjør utslag på systemets ytelse ved høyere bitrater. Forsinkelsen over satellitt på grunn av lang avstand gjør at man opplever noen problemer. En veldig viktig faktor for TCP er nettverkets forsinkelse-båndbredde produkt (Delay-bandwidth product). Denne faktoren er nærmere beskrevet i kapittel 5.8.1

6.4.2 Opplink-nedlink-problemet

Dette problemet gjør sanntid interaktivitet over systemet vanskelig, da man ikke kan sende direkte fra bruker til bruker over satellitt. Årsaken til dette er at standarden binder terminalen (RCST) til å kun kunne motta DVB-S transportmultipleks (nedlink) og kun kunne sende (opplink) MF-TDMA rammer. Dette betyr at man for å kunne sende fra en bruker til en annen, er nødt til å konvertere signalet fra MF-TDMA til et DVB-S signal. Ettersom dagens satellitter er fullstendig transparente (bent-pipe), er man nødt til å tillegge signaltransporten et ekstra satellithopp. Med dette menes at man er nødt til å sende fra bruker over satellitt til jordstasjon/hub, som oversetter mellom de to transportmultipleksene, og deretter sende signalet på nytt over et nytt satellithopp til mottaker med dataene enkapsulert i riktig format. Da hvert satellithopp, definert som når signalet traverserer satellitten én gang, tar 280 ms, vil man for to satellithopp oppleve en forsinkelse for sanntidsapplikasjoner på drøyt et halvt sekund. I tillegg til dette må det medregnes prosesseringstid i jordstasjon og i utstyret til endebruker. Dette viser seg å være for lang tid for å kunne ha holdbare tidsrammer for sanntids interaktivitet.

Årsaken til dette ligger i at systemet skal være kompatibelt med eksisterende standarder. TV, som fortsatt er den mest utbredte applikasjon over satellittkanal, har en svært utbredt og etablert kringkastings-standard i det MPEG-baserte DVB-S signalet. I tillegg er det ikke økonomisk å bruke denne standarden i opplink, og valget har falt på MF-TDMA, som viser seg å være en god løsning for kapasitetsdeling. Dette er et kjent problem, og vanskelig å komme utenom, ettersom disse standardene har sine fordeler, og antakeligvis kommer til å bli en god stund fremover. Man ønsker helt klart å finne løsninger på dette, ettersom det er nødvendig å forbedre DVB-RCS' ytelse i forhold til disse problemene for å kunne etablere en holdbar løsning for Internett over satellittkanal.

To løsninger som jeg skal komme nærmere inn på mot slutten av oppgaven, er bruk av ombord-prosessering og spotbeam-teknologi. Slik kan man ta for seg denne oversettelsen mellom forskjellige transportmultipleks i satellithoppet, og dermed kunne sende et signal direkte fra en brukerterminal til en annen. Spotbeam-teknologien vil i tillegg gjøre at satellitten i seg selv kan fungere som en ruter. Satellitten får et signal fra et visst område innen sin rekkevidde, prosesserer dette og legger det ned i strålen som dekker området der mottakeren befinner seg. Dette vil forkorte prosessen med ett satellithopp og forskyve kostnaden fra jordstasjon til satellitt. Denne løsningens fordeler og ulemper diskuteres nærmere i kapittel 13.



Figur 6.11: Et dobbelt satellithopp og Opplink/Nedlink-problemet

6.5 Nedlink: MPEG-TS

MPEG-formatet er et dataformat for overføring av real-time/sanntids multimediafilm. MPEG er kalt opp etter forskergruppen som definerte standarden; Moving Picture Expert Group. Film er som kjent en rekke store stillbilder, også kalt rammer, sendt etter hverandre i en gitt datarate. Problemene med multimedia kan sammenlignes med å få flaskeskipet inn i flasken. Vanskelighetene ligger i flasketuten, som er en analogi til begrensede datakanaler. Skipet må komprimeres før det presses gjennom flasketuten, og når skipet er inne i flasken skal det gjenreises. Løsningen for datakommunikasjon er parallell, man komprimerer audio og video på sendersiden, og dekomprimerer og rekonstruerer dataene på mottakersiden.

Så hvordan er det mulig å komprimere en samling stillbilder? Å sende en videosnutt som en rekke stillbilder etter hverandre ville medføre masse overflødig informasjon over datakanalen, ettersom det ofte er lite endring fra bilde til bilde. Tenk deg for eksempel en mann som beveger hodet i en film, der han hele tiden har samme bakgrunn. Bakgrunnen, og det uendrete i bildet er unødvendig å sende på nytt med hvert bilde. Selv med mer bevegelse i tid, vil det være mye informasjon i hvert bilde som er overflødig å sende to ganger. MPEG tar hensyn til overflødig informasjon mellom rammene ved overføring av video, og er derfor en god metode for å sende video over begrenset båndbredde.

MPEG har med tiden utviklet flere viktige komprimeringsstandarder som er tatt i utstrakt bruk, se tabell 6.1. De mest kjente er nok MPEG-1 audiolayer 3 og MPEG 2. Disse er ofte kalt mp3 og DVD. Effektiviteten med komprimeringsteknikken, kan illustreres som følger: Hvis man forsøker å lagre en ukomprimert videosekvens på en DVD-plata, rekker plata til cirka 3 minutter video. Derfor sier det seg selv at disse komprimeringsteknikkene er meget sentrale i en verden hvor multimedia over lav båndbredde blir mer og mer vanlig. Som et eksempel kan det nevnes at en vanlig sang på en CD krever typisk 40-50 Mb lagringsplass. MPEGs mp3 reduserer størrelsen med 90%. En av de siste standardene som er ute på

markedet er MPEG-4, som kan komprimere video og audio til meget lave båndbredder (8 – 64 kbps). Dette er båndbredder som kommer godt med i 3G mobilnettverk, og i satellittsystemer med begrenset båndbredde.

<i>Standard</i>	<i>Applikasjon</i>	<i>Båndbredde</i>	<i>Oppløsning</i>
MPEG-1	VideoCD (VCD), filmer over Internett	~1.5 Mbps	360x288 pixels
MPEG-1 audiolayer (mp3)	mp3-spillere, musikk over internett (nettradio)	64 – 192 kbps	lydformat
MPEG-2	DVD-spillere, DVB	2 – 15 Mbps	1920x1125 pixels
MPEG-4	Video over Internett, video på mobiltelefon	8 – 64 kbps	176x144 pixels

[38 – MPEG]

Tabell 6.1: Eksisterende MPEG-standarder per 2002

6.5.1 Fargebilder

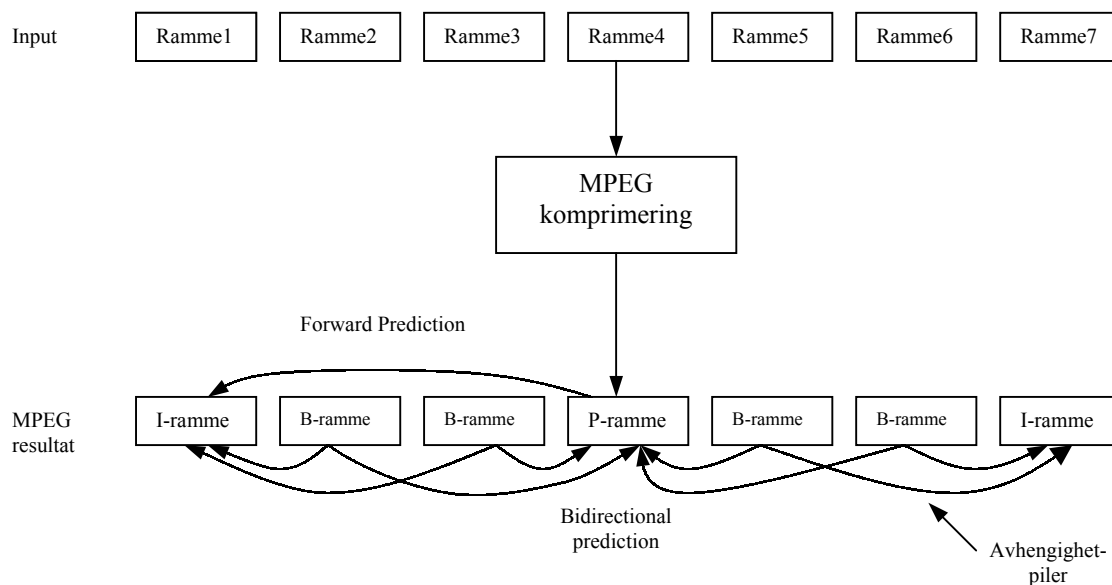
MPEG bruker en fargebilderepresentasjon som kalles YUV. Dette formatet har tre komponenter; *lystetthet* (Y), *fargestyrke I* (U) og *fargestyrke II* (V). YUV danner et tredimensjonalt koordinatsystem på lik linje med en annen mer kjent standard, kalt RGB. RGB danner de tre koordinatene med fargene rød, blå, grønn og komponerer alle bilder med piksler av disse fargene. Forskjellen er at YUV er bedre tilpasset menneskets øye, da øyet ikke er uniformt følsomt for farge. Eksempelvis er mennesket mer følsomt overfor lysstyrken til et bildepiksel enn fargen til det. I bildebehandlingen prosesseres alle disse tre komponentene hver for seg og danner tre uavhengige bilder som legges oppå hverandre for å danne det bildet som sees. JPEG (Joint Picture Expert Group) er en velkjent standard som bruker dette prinsippet, og dette danner grunnlaget for bildeframstillingen i MPEG.

6.5.2 Rammetyper

MPEG tar en sekvens med video som input og komprimerer dem som tre typer rammer, kalt *I-rammer* (intrapicture), *P-rammer* (predicted picture) og *B-rammer* (bidirectional predicted picture). Alle rammene i input komprimeres til en av disse tre rammetyper. I-rammer brukes som referanserammer, da de er uavhengige i den forstand at de verken avhenger av tidligere rammer, eller rammer som kommer senere. P- og B-rammer er derimot ikke uavhengige, de angir *forskjeller* relativt til en referanseramme. Kort sagt; en P-ramme angir forskjellen i det neste bildet i forhold til en I-ramme, mens en B-ramme angir den relative endringen mellom forrige og følgende I- og P-rammer. Figur 6.12 viser hvordan en sekvens av syv videorammer blir komprimert av MPEG til en sekvens av I, P og B-rammer.

Illustrasjonen viser at I-rammene står for seg selv, da de kan dekomprimeres uavhengig av de andre rammene. P-rammen avhenger av den foregående I-rammen, med andre ord kan denne kun dekomprimeres dersom den foregående I-rammen også ankommer. B-rammene avhenger både av den foregående og etterfølgende I- og P-rammen. Begge disse sistnevnte rammene fungerer som referanse-rammer for B-rammen, og må derfor ankomme mottakeren før MPEG kan dekomprimere rammene og reproducere den originale filmen.

Når hver B-ramme avhenger av en etterfølgende ramme, trenger ikke de komprimerte rammene sendes sekvensielt. For eksempel, som illustrert i figur 6.12, sendes sekvensen I B B P B B I som I P B B I B B. Slik effektiviserer MPEG transmisjonen og dekomprimeringen. Det motsatte tilfellet ville være å bare sende I-rammer, hvilket ville være det samme som å sende alle bilder etter hverandre uten å ta høyde for overflødig data fra bilde til bilde.



Figur 6.12: MPEG2-komprimering av bilderammer

6.5.3 Sende MPEG over et datanettverk

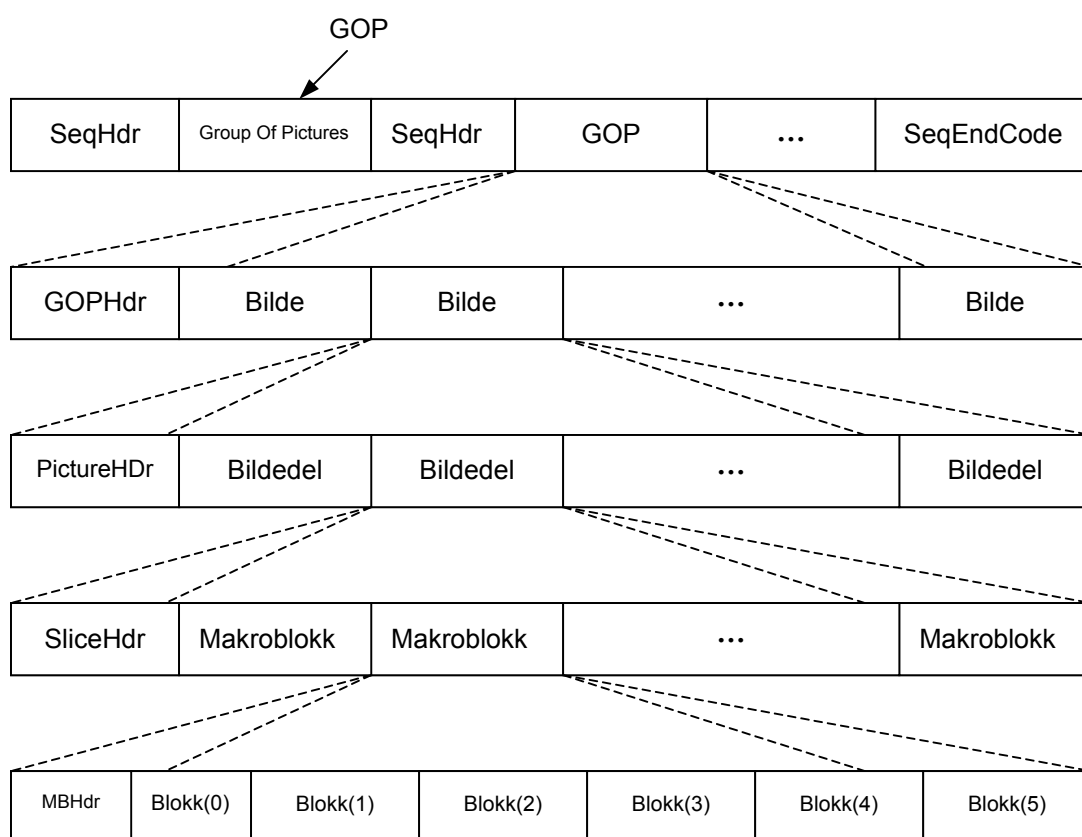
MPEG angir både hvordan en video komprimeres og formatet av den. I tillegg definerer MPEG formatet på en videostrøm. MPEG spesifiserer derimot ikke hvordan en videostrøm kan deles opp i pakker, som kan sendes over et datanettverk. Det er verdt å vite at MPEG har utviklet seg en del over tid, der MPEG-4 er den siste versjonen i kommersiell bruk. Denne måten å overføre data på som jeg beskriver her, er fra hovedversjonen MPEG-2.

På det øverste nivået, som illustrert i figur 6.13, består videoen av sekvenser av bildegrupper (GOP), som er skilt av med SeqHdr, en header for hver gruppe. Denne sekvensen av bildegrupper avsluttes med en SeqEndCode. SeqHdr som ligger foran alle GOP spesifiserer størrelsen på hver bilderamme i hver bildegruppe (GOP), tiden mellom hvert bilde og annen synkroniseringsinformasjon.

Hver GOP inneholder igjen en GOPHdr, fulgt av en rekke bilder. Headeren spesifiserer antall bilder i GOP, og synkroneringsinformasjon. Hvert bilde er gitt av en PictureHdr og en rekke bildedeler som bildet settes sammen av. Dette kan for eksempel være en horisontal linje i bildet. Denne headeren angir også hva slags bilde det er, som I-type, B-type eller P-type. SliceHdr angir den vertikale posisjonen av hver bildedel. Etter dette kommer makroblokkene, som det endelige bildet bygges opp av. Disse etterfølger en header, MBHdr, som plasserer hver blokk innen bildet, i tillegg til data for alle de seks blokkene i hver makroblokk.; en for U-komponenten, en for V-komponenten og fire for Y-komponenten.

En av MPEGs absolutte styrker er at standarden er åpen for å endre kodealgoritmen hele tiden. Man kan endre ramme-raten, oppløsningen, rekkefølgen av rammetyper og kodingen for hver enkelt makroblokk. Som et resultat av dette gir MPEG muligheten til å bruke den dataraten som er hensiktsmessig i forhold til båndbredden som finnes.

Det bør vel nevnes at bilder kun er én anvendelse av standarden. Dog er det den opprinnelige, men det lar seg fint enkapsulere data i MPEG2-blokkene, som vi har sett på tidligere. Man kaller slike datastrømmer MPEG2-strømmer, fordi man sender data i 188 byte – strømmer.



Figur 6.13: MPEG2-komprimert videostrom

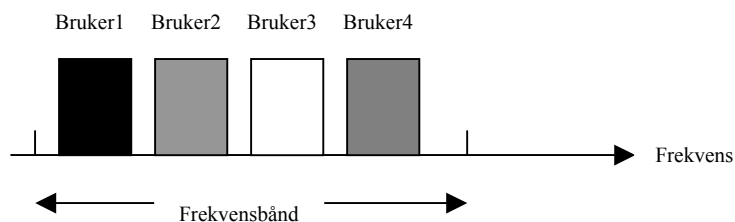
6.6 Opplink: Multippel Aksess

Multippel aksess er teknologien som tillater et stort antall jordstasjoner å samtidig kommunisere gjennom samme satellitt. Følgelig er multippel aksess en av de mest fundamentale teknologier innen satellittkommunikasjon, siden den medfører at satellittens geografiske spenn og kringkastingsfunksjon kan utnyttes skikkelig.

Det er i hovedsak tre hovedtyper multippel aksessteknikker; *FDMA* (Frequency Division Multiple Access), *TDMA* (Time Division Multiple Access) og *CDMA* (Code Division Multiple Access). En kombinasjonsløsning av disse, kalt *MF-TDMA* (Multiple Frequency - Time Division Multiple Access), brukes for opplink ressursdeling i DVB-RCS.

6.6.1 FDMA

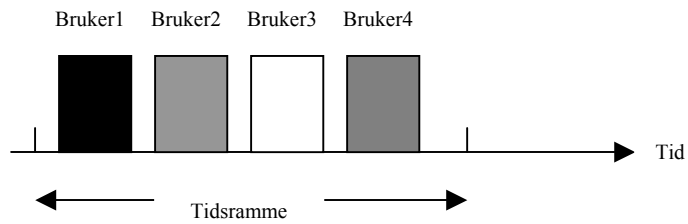
I FDMA deler alle brukere satellitten til samme tid, men hver bruker er tildelt et unikt frekvensområde, også kalt frekvensbånd. Innen analog modulasjon er dette den mest brukte metode. I satellittsystemer får hver jordstasjon tildelt en dedikert bærefrekvens og en båndbredde rundt denne frekvensen, som utgjør frekvensbåndet til denne stasjonen. FDMA utviser en dårlig ressursutnyttelse, ettersom hver bruker har dedikert frekvensområde, uansett om det brukes eller ikke. Med andre ord kan flere kanaler stå ubrukt i lengre perioder over satellitten. Bruken av FDMA har til nå i stor grad vært knyttet til telefonsamtaler, hvor teknologien fungerer rimelig og bra. Denne teknologien er også vanlig for VSAT-systemer.



Figur 6.14: FDMA – frekvensdeling

6.6.2 TDMA

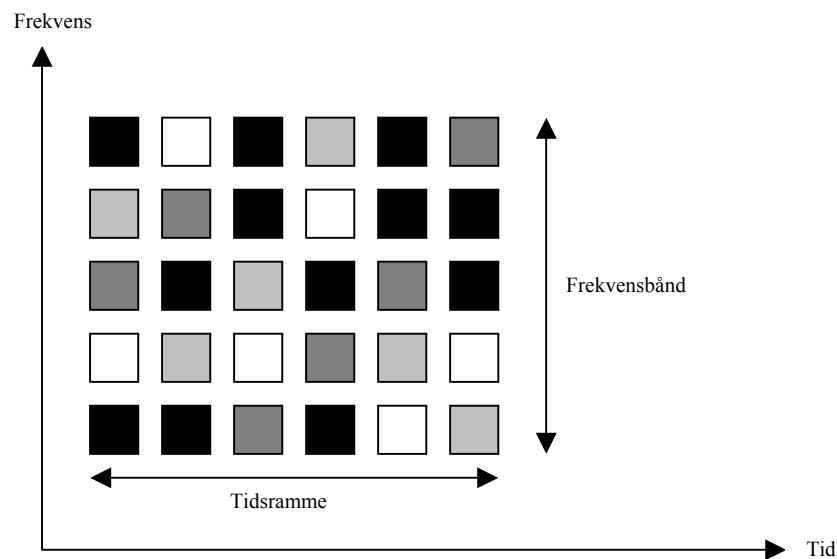
I TDMA får hver bruker tildelt en tidsluke, eller et tidsrom, der de får bruke hele satellittens tilgjengelige frekvensbånd. Hver bruker har sin unike tidsluke, også kalt burst (av engelsk), i rekken av brukere. TDMA's periodiske og vekslende natur gjør at teknologien er spesielt mye brukt i forbindelse med digital modulasjon. TDMA er mer resistent mot støy og interferens, og er en bedre teknologi for miksing av tale og data over samme kanal. I tillegg kan TDMA utnytte satellitt-transponderens kapasitet bedre enn FDMA fordi man kan drive satellitten lengre mot metning uten å få problemer. På den andre side kreves mye mer prosessering i forhold til synkronisering av forskjellige brukere i TDMA og det kreves generelt høyere sendeeffekt fra brukere.



Figur 6.15: TDMA – tidsdeling

6.6.3 CDMA

I CDMA sender alle brukere samtidig og bruker hele frekvensområdet. De enkelte signalene skilles med et koding-dekoding-system. Mottaker klarer å plukke ut og dekode sitt signal, og alle andre tilgjengelige signaler anses som støy. Det er mindre tidssynkronisering ved bruk av CDMA også, ettersom det kun er parret sender-mottaker som trenger å synkronisere. Koden senderen bruker, fungerer som en adresse til mottaker. CDMA er også den siste teknologien av disse multiplere aksess-metodene, og UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) er den første standarden som tar CDMA i utstrakt bruk.



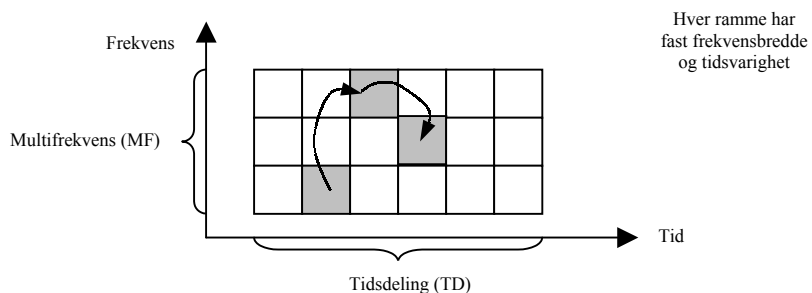
Figur 6.16: CDMA – kodebasert deling

6.6.4 MF-TDMA

I DVB-RCS brukes transportmultiplekset MF-TDMA (Multi Frequency - Time Division Multiple Access). Det brukes enten en metode kalt fastluke TDMA, eller TDMA med dynamisk luke. RCST'en indikerer hvilken av disse metodene den støtter med MF-TDMA feltet i CSC-bursten som forklart i kapittel 6.2.3. Transportmultiplekset tillater en gruppe RCST'er å kommunisere med systemet og tjenesteleverandør gjennom gatewayen (se figur 6.2). Aksessmetoden bruker et sett bærefrekvenser, som igjen deles i tidsluker. Hver aktive RCST får av NCC allokert en burst-serie, som defineres av frekvens, båndbredde, start tidspunkt og varighet.

Fastluke MF-TDMA

Denne metoden bruker båndbredde og varighet av fast lengde for successive trafikkluke fra en RCST-bruker. Men frekvensen for de enkelte lukene kan varieres i tid. Se figur 6.17.

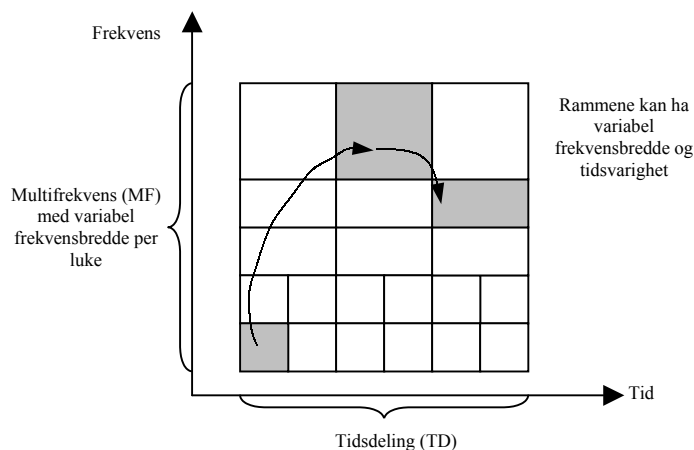


Figur 6.17: Fastluke MF-TDMA

De mørke feltene indikerer en typisk sekvens av MF-TDMA trafikkluke som en NCC tildeler én RCST. I dette tilfellet er burstparameterne, i en superramme, heretter kalt *superframe*, av fast lengde. Hvis derimot NCC vil endre disse parameterne, må de tilegnes en ny superframe, hvilket igjen medfører forsinkelse.

Dynamisk MF-TDMA

Dynamisk MF-TDMA tilbyr økt RCST fleksibilitet ved å tillate variasjon i båndbredde og varighet av trafikkluke allokert til hver RCST. Basisprinsippet i denne metoden er illustrert i figur 6.18.



Figur 6.18: MF-TDMA med dynamisk lukeallokering

I tillegg til å endre frekvensbredde, bærefrekvens og burstlengde, kan RCST'en også variere transmisjonsraten og koderaten mellom hver burst. Koderate er noe som brukes for feildetektering, da satellittkanalen er meget sårbar for interferens og bitfeil. Man kan ha feilrettende koder og feilretting, eller bare detekterende koder. Fordelen med en metode hvor dette kan varieres, er mer effektiv bearbeiding av for eksempel multimedia, som har varierende transmisjonskrav.

Frekvensområde

RCST'er har et spesifikt frekvensområde dedikert for frekvenshopping fra tidsluke til tidsluke. Dette er frekvenshoppingsområdet kommuniseres mellom RCST og NCC i CSC-bursten under påloggingsprosedyren. Den individuelle RCSTs evne til å takle frekvenshopping, avhenger av produsenten, men skal være på minst 20 MHz. Dette betyr at brukerterminalen klarer å hoppe mellom frekvenser på ± 10 MHz fra senterfrekvensen. Frekvenshopping er RCST'ens evne til å skifte frekvens fra en tidsluke til en annen, som illustrert i figurene 6.17 og 6.18. Alle burst har en såkalt *guardtime* rundt seg, hvor ingenting sendes. Dette er for å kunne ha litt fleksibilitet, samt for bruk til synkronisering. Tiden det tar for en RCST å finne sin tidsluke, må derav være mindre enn burstenes *guardtime*. Den øvre grensen er en *guardtime* på en hel tidsluke. RCST'en kommuniserer sitt *guardtime*-behov gjennom CSC-bursten.

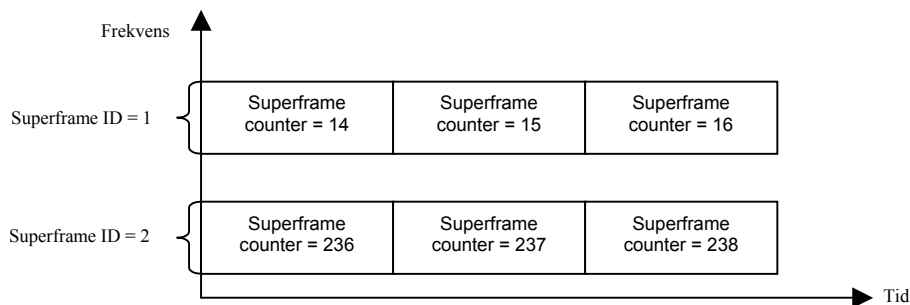
6.6.5 Oppdeling av den totale link-kapasiteten

I et interaktivt satellittnettverk organiseres og nummereres interaksjonslinkens totale kapasitet slik at nettverket kan tildele de enkelte transmisjonstidslukene til de enkelte RCST'ene og derav kunne tilby sending til den enkelte bruker. Den totale link-kapasiteten organiseres i en hierarkisk ramme-inndeling.

På overordnet nivå snakker man om superrammer, som igjen deles inn i rammer og til slutt i tidsluker. I et interaktivt nettverk med flere brukere, vil en superframe ID identifisere ressursene som systemet tildeler en gruppe med RCST'er. Figur 6.19 illustrerer hvordan en superframe ID definerer separate bærefrekvenser til en gruppe superframes, som tildeles en gruppe RCST'er. Disse superrammene deles da inn i mindre enheter som rammer og frekvens/tidsluker.

Superframe ID

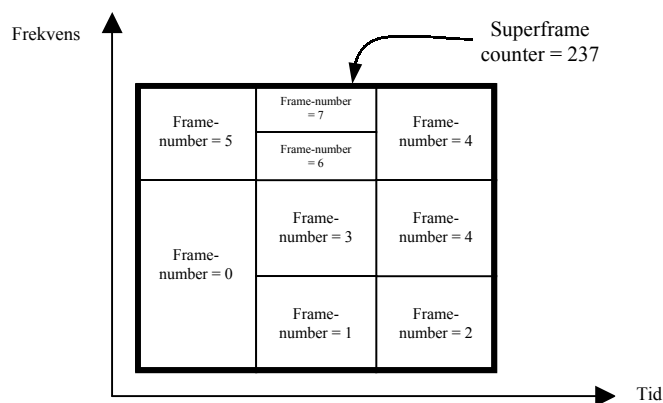
Den globale returlink-kapasiteten segmenteres mellom RCST-grupper. Nettverket administrerer alle superframe ID'ene separat, så det er tilstrekkelig å se videre på én slik superframe, for å forstå systemets funksjonalitet. En superframe ID er å betrakte som et frekvensområde rundt en bærefrekvens, der flere superframes sendes i sine tidsluker. Som vist i figur 6.19 er superframene i en gitt superframe ID umiddelbart følgende i tid. Derfor er hver superframe nummerert med en teller, en såkalt *superframe counter*. Dette skal vi komme nærmere inn på senere. Det er viktig å påpeke at RCST kun tillates å sende bursts i tidsluker som spesielt er allokert til den. Dette er kjent som *dedicated access*. Superframe-varigheten er størrelsen brukerne forhandler med systemet om, når ressurser til brukerterminalene tildeles.



Figur 6.19: Typisk superframe-organisering i et interaktivt satellitt nettverk

Rammer

En superframe er som tidligere nevnt delt inn i mindre rammer (eng: frames). Disse er igjen delt i tidsluker. I en superframe er rammene nummerert fra 0 til N. 0 er rammen med lavest frekvens og den som kommer først i tid. N har høyest frekvens og kommer sist i tid. Rammene er ordnet først etter tid, deretter i frekvens som illustrert i figur 6.20.

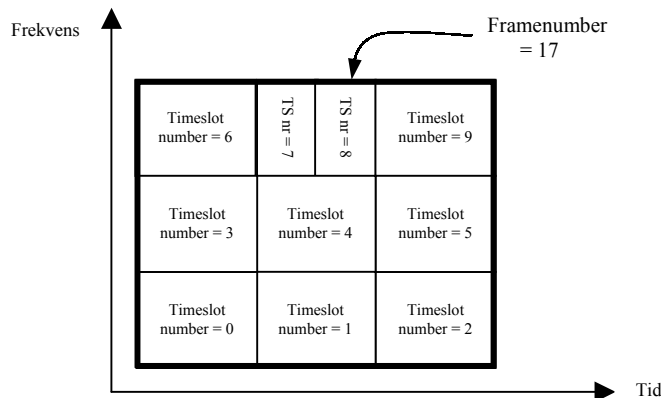


Figur 6.20: Superframe-oppbygging

N har en maksimalverdi på 31. Rammene kan variere både i varighet, båndbredde og tidslukeoppbygging, eller de kan ha faste parametere. Dersom det siste er tilfelle, kan hver ramme betraktes som sub-frekvensbånd av superframens totale frekvensbredde.

Tidsluker

En ramme er igjen inndelt i tidsluker. En *ramme ID* identifiserer tidsluke-sammensetningen. For eksempel har rammen med tidsluker på figuren ramme ID = 17. Den enkelte ramme kan bre seg over flere bærefrekvenser. I en ramme nummereres tidslukene fra 0 til M, der 0 har lavest frekvens og er først i tid. M har høyest frekvens og sist i tid. Disse organiseres og nummereres først i tid, deretter i frekvens, som illustrert i figur 6.21. M har en maksimalverdi på 2047.



Figur 6.21: Rammeoppbygning

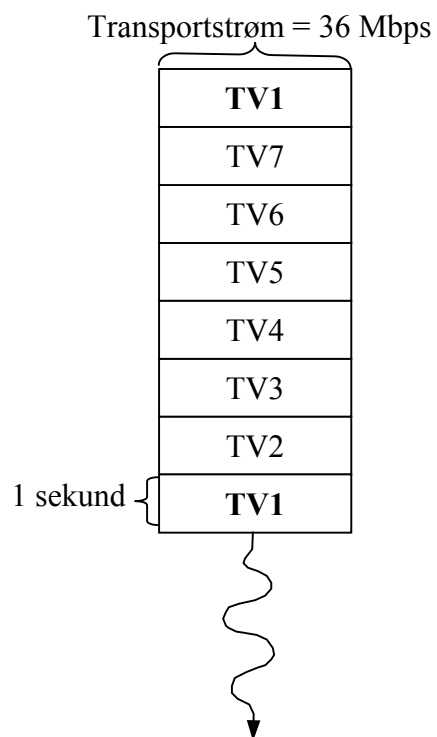
For å kunne opprettholde viktig allokering, er alle tidsluker unikt identifisert av superframe ID, superframe counter, frame number og timeslot number. RCST prosesserer synkroniseringsmeldingen fra NCC for plasstildeling i rammene. Gjennom denne settes teller og tidslukeplassering for neste opplinktransmisjon. Forsinkelsestiden fra mottakelse av denne meldingen til RCST'en er klar for å sende sine databurst, er satt til å ikke overskride 90 ms.

6.6.6 Transportstrøm

Historisk har en transportstrøm vært definert av TV-kringkastere. I det tidligere analoge multiplekset, måtte det en hel transponderbredde, opptil 33 Hertz (36 Mbps med QPSK) til for å sende en TV-kanal, og dette ble definisjonen for en transportstrøm. Digitaliseringen av TV-tjenestene har medført at man på samme kapasitet kan sende opptil 7 TV-kanaler, med rimelig god kvalitet. Årsaken til dette ligger i nye multipleksmetoder, og effektive komprimeringskodekser som MPEG2 (DVD-kvalitet). Figur 6.22 viser hvordan tidsdelingen foregår i en transportstrøm som bruker TDM-multipleksing.

En transportstrøm er ofte et begrep som brukes om all kapasitet i en transponder. Som nevnt tidligere kan dette være rundt 33 MHz, som tilsvarer 36 Mbps. Selve begrepet kan brukes om andre kapasiteter også, da det i teorien er bestilt kapasitet som definerer hvor stor en transportstrøm er. En operatør kan for eksempel ha satt av en og en halv transponderkapasitet for en spesifikk transportstrøm, som da definerer transportstrømmen til 54 Mbps.

En transportstrøm bærer 36Mbps, og la oss anta at hver TV-kanal sendes med 5 Mbps. Dette betyr at man kan bruke TDM, som er et tidsdivisjonsmultipleks, noe som igjen innebærer at man sender blokker med 36 Mbps á ett sekund. Siden 36Mb inneholder nok informasjon for minst 7 sekunder TV-signal ($5\text{Mb} * 7 = 35\text{Mb}$), trenger man ikke sende flere blokker for dette TV-signalet de neste 6 sekundene. I løpet av denne tiden kan man til gjengjeld sende andre TV-kanaler, eller annen data. Hvis man sier at man sender alle TV-kanaler i pulser på ett sekund på full transportstrøm á 36 Mb, kan man sende 7 suksessive blokker på ett sekund hver, før man må sende en ny blokk for den første kanalen. Figur 6.22 viser dette.



Figur 6.22: En TDM-transportstrøm fra én transponder

Kapittel 7

Tjenestesjangre innen Multimedia

Forskjellige typer multimedietjenester som til vanlig leveres i et bredbåndsnettverk er definert i tabell 7.1. Dette dreier seg i hovedsak om, og skilles i punkt-til-punkt (P2P), punkt-til-multipunkt (P2MP) og multipunkt-til-multipunkt-kommunikasjon (MP2MP). I tillegg er det fornuftig å skille mellom asymmetriske og symmetriske tjenester [7 – EMBRACE IST, 1999].

Når man skal sammenlikne og se på forskjellige bredbåndsteknologier i forhold til multimedia tjenesteleveranse, er det også viktig å skille mellom hvorvidt tjenesten krever konstant bitrate (KBR), eller variabel bitrate (VBR). Ved KBR gjøres de viktigste målingene av transmisjonstid, forsinkelse og jitter. Jitter er variasjon i ende-til-ende transmisjonstid. Når man derimot ser på en applikasjon som krever variabel/dynamisk bitrate (VBR), er det i hovedsak tidsbruken man ser på.

Sanntidstjenester er multimedietjenester som involverer taleoverføring og spill fordi det krever momentan leveranse, mens alle andre tjenester kan være ikke-sanntid uten at sluttbrukeren vil merke noen forskjell. På den annen side finnes det tids-baserte data, som har vesentlige tidskrav, uten å ha sanntidskrav. Audio/Video er av denne type tjenester, fordi de definerer tjenester som må generere en kontinuerlig datablokk-sekvens som må spilles av i riktig rekkefølge innen et forhåndsbestemt tidskrav, men ikke nødvendigvis må mottas innen et tidskrav, fordi det kan spilles av fra lokalt minne. Med andre ord karakteriseres sanntids datastrømmer med at de også har tidsmessig krav til transmisjon, og ikke kun av at de avspilles kontinuerlig. Kjente eksempler på sanntids data er IP-telefoni, interaktive nettverkspill, videokonferanse med A/V multicast. En sanntids datatransmisjonsapplikasjon må levere sine datablokker innen en viss tidsfrist, men det er en vesentlig forskjell på etterfølgende datablokker, og sanntids datastrøm fordi sistnevntes leveransenett har en streng tidsfrist.

For bredbåndstjenester defineres tradisjonelt følgende fire kategorier markeds, i rekkefølge etter økende båndbreddebehov: Hjemmemarkedet, hjemmekontor/lite kontor (SOHO), små og mellomstore bedrifter og større bedrifter. Og i tabell 7.1 er de mest brukte multimedietjenester forklart.

Tjenester	Kobling	Trafikk type	Forklaring
Telephony (Voice)	P2P/MP2MP Toveis symmetrisk	KBR sanntid	Samtale, telefonkonferanse Alle typer marked
Web-surfing, e-post	P2P Enveis Asymmetrisk	VBR Ikke sanntid	E-post, internettaksess; Surfing/Infosøk (HTML) Alle typer marked
Audio Streaming (On demand)	P2P/P2MP Enveis Asymmetrisk	KBR Ikke sanntid	Lydbeskjeder (VoiceMessaging, Voice over IP (VoIP), Musikknedlasting , Datanedlasting Hjemmemarked
VideoStreaming (On demand) DataStreaming, Multicasting	P2P/P2MP Enveis Asymmetrisk	KBR Ikke sanntid	TV-on-demand, Video-on-demand Hjemmemarked
Sanntid video (Audio/Video/Data)	P2P/P2MP/MP2MP Toveis Symmetrisk	KBR sanntid	Videotelefoni, videokonferanse, felles virtuell arbeidsplattform (deling av multimediafiler, whiteboard, interaktiv kommunikasjon), Nettverks spill Meget høye kvalitetskrav for f.eks: telemedisin, nettutdanning, fjernovervåkning, lavere krav for hjemmemarked. Bedriftsmarked (stort)/Hjemmemarked (lite)
	P2P/P2MP Enveis Asymmetrisk	VBR Ikke sanntid	Informasjonsinnhenting fra databaser. Normalt P2P, men P2MP kan forekomme ved felles nedlastninger ved videokonferanse. Alle markeder
Kringkasting	P2MP Enveis Asymmetrisk	KBR Ikke sanntid	Distribusjon av TV, film, informasjon, data til store grupper Hjemmemarked(stort)/Bedriftsmarked(lite)
Opplasting & logistikk	P2P Enveis Asymmetrisk	VBR Ikke sanntid	Legge ut videoer, websider og fjernkontroll F.eks reklame, massemeldinger, monitoreringer av folk og gods Bedriftsmarked

Tabell 7.1: Multimedietjenester definert i Embrace [7 – EMBRACE IST, 1999], og som er vanlige kategorier i bredbåndsbransjen.

7.1 Multimedietjenestene i detalj

7.1.1 Websurfing

Websurfing er antakeligvis den mest populære Internettapplikasjonen. Nye bruksområder dukker opp hele tiden, og applikasjonen er i utstrakt bruk innen forskning, jobbsammenheng og privat. Når brukeren aksesserer en webside, starter webapplikasjon en TCP-forbindelse mot serveren websiden ligger på. Inneholder siden i tillegg til ren tekst, grafikk, bilder og/eller animasjoner, startes flere etterfølgende TCP-forbindelser, som hver laster de forskjellige objektene. For brukeren er det sentralt at responstiden etter et klikk på en web link er liten. Ønsket er at Internett skal gi en øyeblikkelig respons og nedlastingen skal ikke være vesentlig tregere enn opplastning fra lokalt minne. Dette er en utfordring for de fleste nettverksteknologier, da responstiden er avhengig av størrelsen på siden som aksesseres og båndbredden som tilbys. Er responstiden for lang, anses nettverket for dårlig til å tilby slike applikasjoner.

7.1.2 Video-on-Demand (VoD)

Som et motstykke til vanlige videobutikker og kino, tilbyr VoD brukerne aksess til et bredt utvalg filmer hjemmefra. Man skiller VoD fra vanlig kringkasting, da dette initieres av den enkelte bruker, og fordi tjenesten ikke nødvendigvis er sanntid. Tjenestetilbyderen er en større lagringsplass for digitaliserte filmer, som kan sendes ut til flere brukere samtidig (P2MP). Som nevnt er det mye forskning rundt slike multikast-teknologier, da problemet ofte er at protokollen ikke skalerer i kabelbaserte nett. Mange brukere som vil aksessere den samme filmen til samme tid kan ofte føre til trafikkmetning i nettet. Dagens teknologier skal i teorien klare å støtte utsendelse til 8000 brukere til samme tid [7 – EMBRACE IST, 1999].

Mulige markeder for VoD kan være:

- Hoteller som ønsker å tilby betal-film tjenester til sine gjester. Her er mulighetene for å tilby film på flere forskjellige språk.
- Videobutikker som ønsker nedlastinger av nyere videoer for opptak og senere utleie. Her vil man få raskere aksess på nytt materiale og bransjens verdikjede slipper logistikkledet mellom produsent og selger.
- Skoler, universiteter og andre institusjoner som ønsker å tilby et videobibliotek med læremateriale til sine studenter

7.1.3 Videokonferanse

Videokonferanse har vært et felt med stor ekspansjon de siste årene, og fortsatt er det betydelig fokus på å finne gode skalerbare teknologier for en meget besparende tjeneste. Sanntids utveksling av Audio/Video mellom en eller flere brukere, er teknologi som er ettertraktet i bedriftsmarkedet, innen utdanning og ikke minst helsevesen. Blant annet har norske Tandberg Televisjon fått en sterk oppsving for sine videokonferanse-løsninger som følge av bedrifters ønske om å spare reiseutgifter i forbindelse med møter.

Videokonferanse skal tilby brukerne å kunne se personene de snakker med, samt muliggjøre deling og utveksling av dokumenter og presentasjoner. Alt dette med redigeringstilgang for flere eller alle brukerne. En annen teknologi innen denne sjangeren er felles virtuell tavle, der flere brukere kan skrive, tegne og forklare på samme virtuelle skjerm, akkurat som i et klasserom/konferanserom.

7.1.4 Filoverføring

Dette er en typisk ikke sanntids tjeneste. Men likevel er det meget sentralt å holde overføringstiden lav, for brukernes behag. Man ser erfaringsmessig at brukere fort avbryter nedlastinger dersom hastigheten blir for lav. Spesielt er dette et problem der store nedlastinger krever betydelig del av ressursene, slik at brukeren ikke kan drive med andre applikasjoner/oppgaver mens en nedlasting skjer i bakgrunn.

7.1.5 Kringkasting

For de aller fleste brukere er det et likhetstegn mellom audio/video og TV-kringkasting. Det nye innen dette feltet er at stort sett alle tidligere analoge kringkastingstjenester er blitt digitalisert. I hvertfall er dette tilfellet i den vestlige verden. Innføringen av den digitale kringkastingstjenesten har medført at man har gått fra analog transmisjon til data transmisjon som tilbyr store datamengder med ekstremt lave bitfeil rater ($<10^{-11}$). Denne nye metoden for distribusjon går under fellesbetegnelsen DVB (Digital Video Broadcasting), og DVB-RCS er en underart av denne. Kvaliteten og støyfølsomheten til signalene har blitt betraktelig forbedret. Og denne teknologien har vært et stort steg i utviklingen der flere kommunikasjonsteknologier nærmer seg hverandre og etter hvert baseres på samme nettverksteknologi. Med digital-TV, har televisjonen mistet sin særposisjon, da TV-signalet er en helt vanlig rekke med datablokker uten noen prinsipiell forskjell fra annen data som radio, Internett, tale. Og DVB – standarden kan brukes i alle av tidligere atskilte nettverksteknologiene satellitt, kabel og radiolinje. ETSI (European Telecommunication Standards Institute) har definert følgende standarder for digital kringkasting, som begge har de samme underliggende prinsippene, men med en viss variasjon i forhold til backbone struktur:

- **DVB-S** (Digital Video Broadcasting – Satellite)
Standarden for satellittkringkasting med variabel datarate, båndbreddekrav, og feilkorreksjonsmulighet.
- **DVB-C** (Digital Video Broadcasting – Cable)
Standarden for kringkasting via kabel med variable datarate, båndbreddekrav og støyfiltrering.

DVB-standarden bruker MPEG-2 som sin videosendingsprotokoll. Dette er en protokoll som alle DVB-terminaler skal støtte. Som nevnt i kapittel 6.5, bruker MPEG-2 multiplekset pakker av størrelsen 188 bytes, der 1 byte er header, og 187 byte nytte-data. Dette multiplekset tillater å kombinere mange video, audio og data strømmer i en enkelt datakanal på 38Mbit/s per satellitt-transponder eller 8MHz frekvensbånd på kabel.

7.1.6 Opplasting og monitorering

Hjemme-alarmer og fjernkontroll av utstyr i hjem er en teknologi under forskning, og er populær i mange land. Man kan for eksempel kontrollere sitt elektriske anlegg, vannanlegg og/eller annet. Man skal i en slik applikasjon kunne slå av og på lys, varme opp vannet før hjemkomst, kommunisere med kjøkkenet/kjøleskap før handletur eller skru av/på alarmer. I slike applikasjoner er hovedmengden av data-strømmen i opplink, dvs. fra bruker.

7.2 Båndbredde- og kapasitetskrav

Man har de siste årene sett at med bruk av asymmetriske teknologier som ADSL, kan man tilby sluttbrukeren et mye bedre produkt enn tidligere teknologier som ISDN og modem. Sluttbrukeren kan oppnå hastigheter opptil 6.1 Mbit/s i nedlink (8.448 Mbit/s teoretisk) og 640 kbit/s i opplink (fra bruker). Dette gir brukeren meget raske nedlastingsforhold, da TCP/IP er en asymmetrisk protokoll. Det betyr at det går mye større data til bruker enn fra, under en nedlasting. Forholdet er cirka 10 til 1. Man ser er at bruksmønsteret til bredbåndsbrukerne er i bevegelse mot symmetriske tjenester, noe som igjen gjør krav på symmetriske nettverksteknologier. [7 – EMBRACE IST, 1999]

ETSI har definert kapasiteten som kreves for trådløse multimediasystem, og dette er gjengitt i tabell 7.2. De definerte brukergruppene/markedene er hjemmemarkedet, lite kontor/hjemmekontor og små- og mellomstore bedrifter. Store konsern og institusjoner defineres og behandles som egne nettverk, og ikke som brukere i et nettverk på deling. Og litt av fundamentet er at brukeren skal kunne aksessere de forskjellige tjenester med samme utstyr, slik at bruken blir kostnadseffektiv og enkel.

Tjenester	Nedlink	Brukertype/ marked	Opplink
	Båndbreddekrav		Båndbreddekrav
Telefoni (tale)	16kb/s-64kb/s	Hjemme	16kb/s-64kb/s
	16kb/s-64kb/s	SOHO	16kb/s-64kb/s
	16kb/s-64kb/s	SMB	16kb/s-64kb/s
Websurfing/ Epost	16kb/s-384kb/s	Hjemme	16kb/s-128kb/s
	64kb/s-1Mb/s	SOHO	64kb/s-1Mb/s
	64kb/s-2Mb/s	SMB	64kb/s-2Mb/s
Audio- streaming Audio-on- demand	16kb/s-64kb/s	Hjemme	16kb/s
	16kb/s-64kb/s	SOHO	16kb/s
	16kb/s-64kb/s	SMB	16kb/s
Video/Data- streaming VoD Multikasting	64kb/s-1Mb/s	Hjemme	16kb/s
	384kb/s-2Mb/s	SOHO	16kb/s
	1Mb/s-6Mb/s	SMB	16kb/s
Sanntids video (video/voice/ data) Videokonf.	64kb/s-1Mb/s	Hjemme	64kb/s-1Mb/s
	384kb/s-2Mb/s	SOHO	384kb/s-2Mb/s
	1Mb/s-6Mb/s	SMB	1Mb/s-6Mb/s
Data- overføring	64kb/s-1Mb/s	Hjemme	16kb/s-1Mb/s
	384kb/s-2Mb/s	SOHO	64kb/s-2Mb/s
	1Mb/s-3Mb/s	SMB	384kb/s-3Mb/s
Kringkasting	5Mb/s-10Mb/s	Hjemme	0
	5Mb/s-10Mb/s	SOHO	0
	5Mb/s-10Mb/s	SMB	0
Opplasting Telemetri	16kb/s	Hjemme	64kb/s-1Mb/s
	16kb/s	SOHO	384kb/s-2Mb/s
	16kb/s	SMB	1Mb/s-6Mb/s

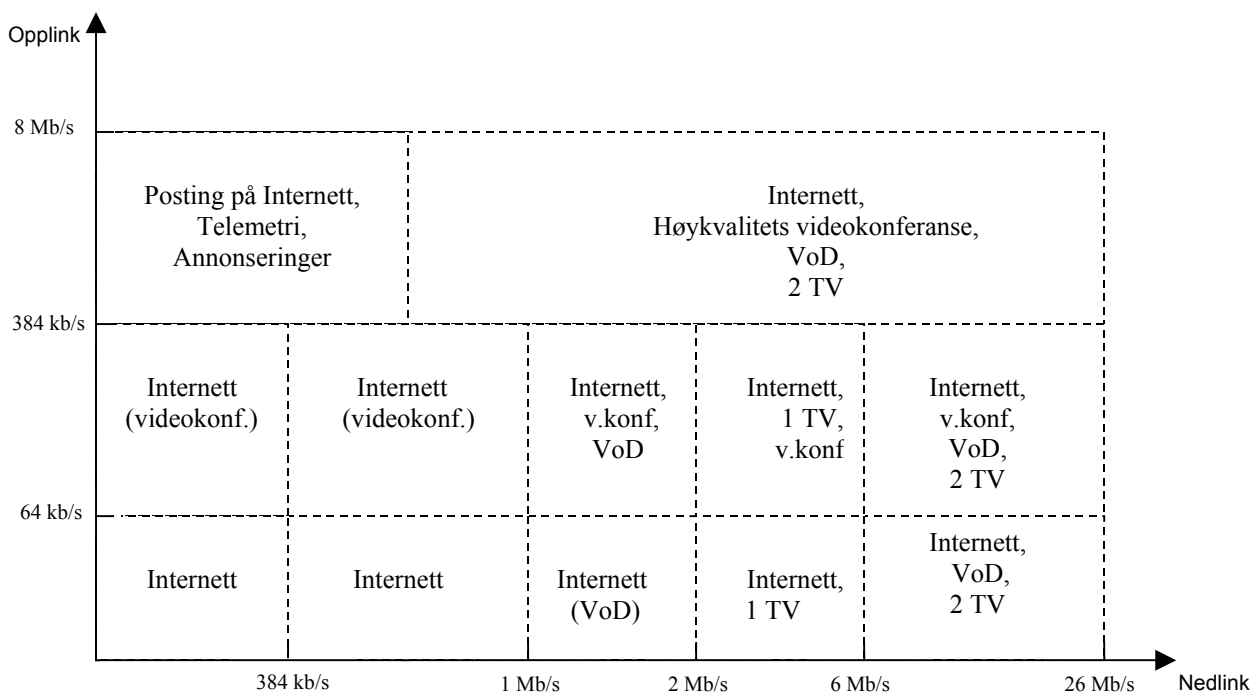
Tabell 7.2: Båndbreddekrav for bredbåndstjenester

De siste årenes utvikling har gitt et økt press på båndbreddekrav. Alle brukergrupper krever god basisdekning for Internett, og antallet brukere har eksplodert det siste tiåret. Internett, har til nå gitt brukeren et meget asymmetrisk behov (nedlink/opplink-forholdet er cirka 10:1), men man ser at behovet i global skala beveger seg i retning symmetri, det vil si at brukeren trenger like stor båndbredde ut (opplink), som inn (nedlink). Endenodene i en TCP-oppkopling trenger større og større minne og trenden er større mengder data som sendes, spesielt grunnet økt bruk av e-post og nedlastinger med større bilde og film/musikk-filer.

Man deler som vist i tabell 7.2 brukerbehovene inn i tre hovedklasser:

- 64 kbit/s til 384 kbit/s
- 384 kbit/s til 2Mbit/s
- 2 Mbit/s til 8 Mbit/s

Dette er i tråd med kapasitetsklassene som er skissert i DVB-RCS. Figur 7.1 kan være en god illustrasjon for å kunne visualisere symmetrien til de enkelte tjenestene. Som man ser krever de fleste tjenester større nedlink-kapasitet enn opplink. I disse betraktningene har man ikke tatt hensyn til den siste tids utvikling i såkalte peer-to-peer tjenester, som fildelingsverktøy (Napster, Gnutella, Kazaa). Disse relativt nye typene tjenester gir en økt trafikk i nettene og fører til mer symmetrisk bruk. Dette setter krav til opplink-kapasiteten.



Figur 7.1: Størrelseorden på toveis båndbreddekrav for forskjellige multimedietjenester

Del III

Eksperimentell verifisering

Kapittel 8

Eksperimentell verifisering/evaluering

Nera og Telenor har det siste året jobbet med å videreutvikle DVB-RCS systemet, for å komme nærmere en kommersiell løsning. Det er som nevnt flere organisasjoner som har sett på mulighetene med Internett over satellitt, men Nera har utviklet et av de mer funksjonsdyktige systemene.

I den sammenheng har det blitt satt opp et pilotnettverk med DVB-RCS terminaler (RCST) på Fornebu (Telenor), Billingstad (Nera), Kjeller (UniK). Sommeren 2002 ble det gjennomført tester på systemets egenskaper, kapasitet og ytelse. I tillegg var det et ønske å finne feilkilder og flaskehalsen for å effektivisere nettverksarkitekturen. Målet var ikke å gjøre en grundig teknisk analyse av systemet, fordi standarden er etablert og slike tester er gjort tidligere, men å finne systemoppsettets begrensninger og forbedringspotensiale.

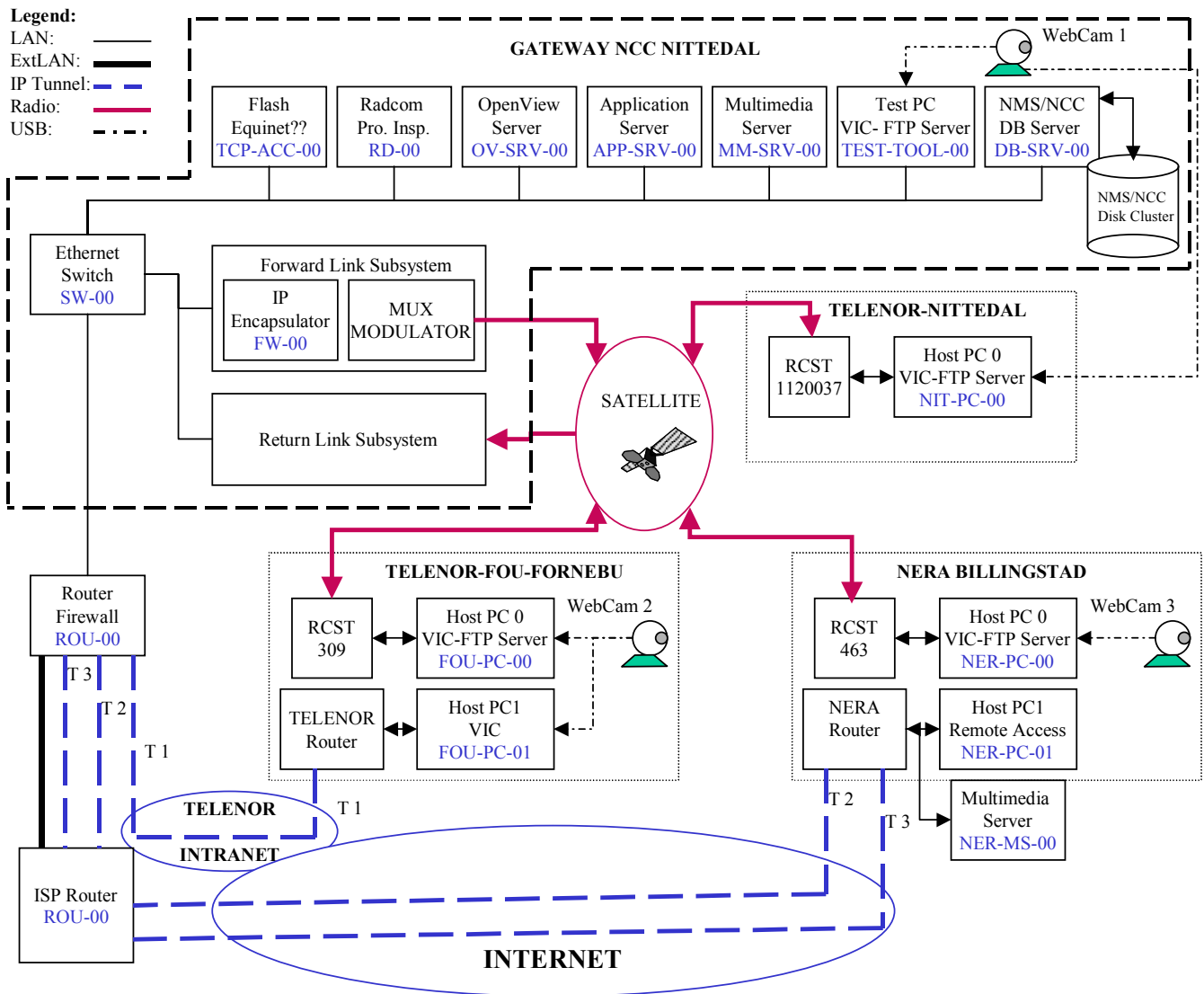
I systemet har det vært brukt Nera Satlink Alpha II terminaler, Neras DVB-RCS terminal, mot Telenors jordstasjon på Nittedal. Dette er en terminal primært myntet på Internettbruk. Satellithoppene har vært gjort over Thor 3 og Intelsat 707. Thor har i dette oppsettet blitt brukt som kringkastingskanal, mens returkanalen har gått over Intelsat. Disse satellittene er plassert på henholdsvis 1 og 0,8 grad vest, og kan kommuniseres med fra én parabol i fast posisjon.

Sammen med Nera ble det satt opp et sett med tester, beskrevet i kapittel 8.1, som skulle gi et empirisk inntrykk av hvordan pilotoppsettet fungerte for helt vanlige Internettjenester. Det var ønskelig å verifisere systemets stabilitet, frekvenshåndtering og hastighet. Det har vært et mål, gjennom disse testene, å evaluere Nera Satlinks evne til å levere stabile IP-tjenester. Fokus i denne sammenheng har vært å hente informasjon om systemets evne til å takle IP-tjenester gjennom DVB-RCS standarden, slik at systemet skal kunne vurderes for bredbåndstjenester/multimedia via satellitt i tråd med Neras målsetning [29 – Nera].

Testene ble gjort av Nera i samarbeid med Telenor FoU og Telenor Satellite. I det følgende gjengir jeg det tekniske testoppsettet og de enkelte testforslagene samt målene med disse.

8.1 Systemoppsett og testforberedelser

Systemoppsettet i figur 8.1 ble brukt for forsøkene:



Figur 8.1: Systemoppsettet som ble brukt under testene på DVB-RCS pilotnettverk sommeren/høsten 2002

Som figuren viser er det fire jordbaserte enheter og satellitter som ble brukt i system oppsettet. I tillegg til DVB-RCS enhetene nevnt over, har vi gatewayen på Nittedal som fungerer som Network Control Center og Internet Service Provider. De sentrale enhetene på Nittedal i testene er:

- Test PC: TEST-TOOL-00 som fungerte som en FTP-server koplet til i Ethernetet på Gatewayen. Her var det i tillegg installert en videokonferanseapplikasjon (VIC) som skulle brukes for verifisering ved senere anledning.
- IP-enkapsulatoren FW-00 i Forward Link Subsystem hvis jobb er å enkapsulere IP-pakkene i TCP-sesjonen i MPEG2 strømmer til bruker.
- NIT-PC-00 som var en PC tilkoplet RCST på Nittedal. Denne fungerte også som en FTP-server.

De røde linjene på figuren illustrerer den trådløse forbindelsen mellom satellitt og terminaler. En link fra en terminal til jordstasjon betegnes som et satellitthopp, og er til sammen 2 x cirka 36000 km radiolink. Dette tilsvarer en forsinkelse på 560 (2 x 280) millisekunder, en forsinkelse begrenset av transmisjonens fart, som er lysets hastighet. Kommunikasjon fra terminal til terminal krever to satellitthopp, fordi MF-TDMA opplink-multiplekset må innom jordstasjonen for å kodes om til en nedlink MPEG2/DVB-S transportstrøm.

8.1.1 Dynamisk ressursallokering

Ressursallokering er en prosess som skjer før kommunikasjonen etableres, og er veldig viktig for systemets ytelse. Nera Satlink DVB-RCS Alpha II er en terminal som baserer seg på dynamisk ressurs allokasjon, noe som betyr at det kreves en RRM-forhandling (Radio Resource Management) mellom jordstasjon og terminal for å få tildelt kapasitet i MF-TDMA opplinkmultiplekset.

Hver terminal har en egen brukerprofil på Gateway. Der legges det typisk inn hvilke egenskaper og hvilken kapasitet terminalen skal ha, noe som igjen ofte henger sammen med type abonnement brukeren har betalt for. Det finnes fire typer av brukerkapasitet som støttes i dette systemet:

- Continuous Rate Assignment (CRA): Minimum kapasitet, alltid tilgjengelig
Konfigureres på jordstasjon og tildeles den enkelte bruker.
- Rate Based Dynamic Capacity (RBDC): Dynamisk kapasitet
Jordstasjon allokere dette på forespørsel fra RCST.
- Volum Based Dynamic Capacity (VBDC): Terminalen skal kunne be om å få tildelt nok kapasitet for å sende et gitt volum med data, for eksempel en fil på 10 MB.
- Free Capacity Assignment (FCA): Ikke-allokert "ekstra" kapasitet for alle terminaler som er oppkoplet

Dersom brukerne ikke følger avtalt konfigurasjon som ligger i Gateway, kan Gateway kommandere brukerterminalen til å slå av senderen sin.

8.1.2 Forberedelser

- Gateway konfigurasjoner:
Network Management Subsystem (NMS) – DB-SRV-00 – serveren lagrer informasjon slik at Network Control Center (NCC) kan administrere bredbånds satellitt gateway. Denne databasen kan konfigureres ved ekstern oppkopling fra registrerte brukere med administrasjonsrettigheter. Derav kan man konfigurere CRA, RBDC og FCA fra brukerterminalen, og serveren forhandler med jordstasjonen om de ønskelige konfigurasjonene. Standard oppsett kan være CRA = 20 kbps, maks allokert RBDC = 100kbps og FCA = on. Disse parameterne ble brukt som utgangspunkt i våre tester og variert under testingen.
- Terminal konfigurasjoner:
For at RBDC algoritmen skal fungere ordentlig, må terminalen kjenne parameteren CRA som settes av RRM/NCC. For NERA Satlink Alpha II, er CRA-kapasiteten satt til den nedre grense av RBDC kapasiteten. Terminalen kan be om kapasitet stegvis på 2 kbps. Den minste kapasiteten man kan ha er i teorien 0 kbps (Dette er en kjent mangel ved Nera Satlink Alpha II, og vil forbedres for kommende versjoner). På den annen side er det viktig å passe på at den maksimale verdien for RBDC på terminalen ikke overstiger RBDC-verdien på gatewayen. Dersom dette skjer, kan som nevnt gatewayen slå av transmisjonen fra brukerterminalen.

8.1.3 Forventet kapasitet

Systemets kapasitet er ganske komplekst, og avhenger av mange forskjellige faktorer, som antallet simultane brukere, avsatt transponderkapasitet, terminalens ytelse, TCP-akselerator, IP-enkapsulator, MF-TDMA multiplekser og MPEG2-modulator.

Imidlertid kan det gis noen kapasitetstall på overordnet nivå, sett fra et system-perspektiv.

Gateway-siden:

- DVB-S nedlink: Typiske kapasitet vil her kunne være fra 4 til 50 Mbps, som deles mellom flere brukere.
- DVB-RCS opplink: Neras terminaler vil i nærmeste fremtid ha støtte for opptil 1,2 Mbps per kanal. I løpet av første halvdel av 2003 er det meningen at bitraten i opplink skal kunne økes til opptil 2 Mbps som er høyeste rate spesifisert i standarden. ADSL har som nevnt en maksimal opplink kapasitet på 640 kbps.

Terminal-siden:

- DVB-S nedlink: Nera Satlink Alpha II kan i dag demodulere en informasjonsstrøm på opptil 45Mbps. Av dette kan den dekode rundt 9 Mbps på MPEG-nivå. Kapasiteten på IP-nivå ligger på ca 6,5 Mbps (sum nedlink + opplink) totalt til den enkelte terminal.
- DVB-RCS opplink: Terminalen følger samme ytelse på retur-kanalen som Gateway og vil følge utviklingen på denne.

8.2 Testprosedyrer

Følgende tester ble gjort, og målene med de enkelte testene er skissert.

8.2.1 FTP-filoverføring

FTP fra GW til RCST

Mål: å finne den maksimale FTP gjennomstrømningen fra en server som ligger på GW'ens lokale nett (TEST-TOOL-00).

Metode: Installere en FTP-server mellom GW og ISP-ruter (TEST-TOOL-00).

Prosedyre: Logge på FTP-serveren fra PC'er/Nera Satlink-terminalene plassert på Billingstad og Fornebu.
Søke på server og laste ned en fil av betydelig størrelse (30MB).
Måle hastighet/gjennomstrømningen med applikasjonen NetPerSec.
(freeware på www.zdnet.com)

FTP fra Internett til RCST

Mål: å finne den maksimale FTP gjennomstrømningen fra en server på Internett.

Metode: Bruke samme testbed.

Prosedyre: Logge på FTP-server på Internett gjennom Ethernet switch (SW-00) på Nittedal fra PC'er/Nera Satlink-terminalene plassert på Billingstad og Fornebu.
Søke på server og laste ned en fil av betydelig størrelse (30MB).
Måle hastighet/gjennomstrømningen med applikasjonen NetPerSec.
(freeware på www.zdnet.com)

FTP fra RCST til RCST

Mål: å finne den maksimale FTP gjennomstrømningen fra en server som ligger på en annen RCSTs lokale nett (NIT-PC-00).

Metode: Installere en FTP-server mellom på Nittedal, bak RCST (NIT-PC-00).

Prosedyre: Logge på FTP-serveren fra PC'er/Nera Satlink-terminal plassert på Billingstad og Fornebu.
Søke på server og laste ned en fil av betydelig størrelse (30MB)
Måle gjennomstrømningen med applikasjonen NetPerSec
(freeware på www.zdnet.com)

8.2.2 IP-trafikk

Her var målet å teste systemet mot det antatte bruksmønsteret til gjennomsnittlig hjemmebruker. Dette identifiseres som: nettsurfing, nedlastinger, NetMeeting, radiostasjoner og videosnutter.

Multiple HTTP filoverføringer

- Mål: betrakte Nera Satlink terminalens evne til å fungere som en LAN-ruter, ved å takle multiple HTTP nedlastinger, og finne gjennomstrømningshastigheten. Den maksimale oppnåelsen skal sammenliknes mot ADSL-tjenester.
- Metode: Starte 10 Internet Explorer fra Telenor PC og laste ned 10 forskjellige filer samtidig.
- Prosedyre: Starte nedlastningene
Måle IP-gjennomstrømmingen med NetPerSec

NetMeeting fra RCST til RCST

- Mål: Demonstrere hvorvidt en NetMeeting oppkopling er mulig mellom to PC'er koplet på to forskjellige RCSTs LAN. Erfare to satellitthopps effekt på Netmeeting og realtime oppkopling. Antakelsen er at dersom dette fungerer vil Netmeeting mellom RCST og Gateway også fungere tilfredsstillende.
- Metode: Samme testbed
- Prosedyre: Starte NetMeeting mellom to PC'er som ligger på RCST-LAN
Måle fildeling, whiteboard, chatting, filoverføring og Audio/Video

8.3 Resultat av tester gjort på DVB-RCS testsystem

Testene ble gjennomført i samarbeid mellom Telenor FoU, Telenor Satellite og Nera, med mål om å gjennomgå alle prosedyrer som beskrevet i forgående kapittel.

8.3.1 Testresultater

Test prosedyre	Terminal Profil	Test Resultater	Kommentar
FTP [GW til RCST]	CRA=20 kbps RBDC=100 kbps FCA= OFF	90 kbps gjennomstrøm	
FTP [GW til RCST]	CRA=0 kbps RBDC=100 kbps FCA= OFF	CRA= 0 var ikke mulig. Forbedret software kreves	Kjent problem
FTP [Internet til RCST]	CRA= 10 kbps RBDC= 100 kbps FCA= OFF	100 kbps gjennomstrøm	
FTP [Internet til RCST]	CRA= 20 kbps RBDC= 100 kbps FCA= OFF	100 kbps gjennomstrøm	
FTP [Internet til RCST]	CRA= 300 kbps RBDC= 600 kbps FCA= OFF	140 kbps gjennomstrøm	Mindre økning enn forventet
FTP [RCST til RCST]	Terminal 1: CRA= 300 kbps RBDC= 600 kbps FCA= OFF Terminal 2: CRA= 300 kbps RBDC= 600 kbps FCA= OFF	40 kbps gjennomstrøm	Veldig liten gjennomstrømning

Tabell 8.1: FTP testresultater fra et DVB-RCS testnettverk, sommer/høst 2002

Her var det mest oppsiktsvekkende at vi, selv om vi økte CRA og RBDC med en faktor på henholdsvis 15 og 6, ikke opplevde noe særlig økning i gjennomstrømningen ved FTP-nedlasting fra Internett. Økningen i gjennom strømningen var kun med en faktor 1.4, noe som tilsa at det her måtte være en flaskehals i systemet.

Test Prosedyre	Terminal Profil	Test Results	Kommentar
HTTP multipl filoverføring (IP-trafikk)	CRA= 20 kbps RBDC= 100 kbps FCA= OFF	8 nedlastningsapplikasjoner ble startet. Nedlastingene var suksessfulle, med mellom 60 og 100 kbps hastighet hver. Total gjennomstrømning ble målt til 500 kbps	

Tabell 8.2: HTTP testresultater fra DVB-RCS testnettverk, sommer/høst 2002

Test Prosedyre	Terminal Profil	Test Results	Kommentar
Netmeeting [RCST til RCST]	Terminal 1: CRA= 10 kbps RBDC= 100 kbps FCA= ON Terminal 1: CRA= 100 kbps RBDC= 300 kbps FCA= ON	Videokonferanseapplikasjonen Netmeeting fungerte tilfredsstillende, med både video og chat.	CRA-verdien til terminal 1 måtte oppjusteres til 100 kbps. Applikasjonen viste seg å fungere tilfredsstillende tross forsinkelsen på 1.2 sekunder.

Tabell 8.3: Netmeeting testresultater fra DVB-RCS testnettverk, sommer/høst 2002

Forsøkene som ble gjort sommeren 2002 ga uventede resultater, da overføringshastigheten var lavere enn teorien skulle tilsi, og nedlastingshastigheten aldri kom over 300 kbps per filoverføring. Tidligere har tilsvarende tester blitt utført på liknende system med bedre resultater. Eutelsat og Neras system oppnådde nedlastinger med hastighet mellom 600 og 700 kbps i samsvar med teoretiske verdier. I tillegg opplevde vi mindre økning i gjennomstrømning når vi økte CRA og RBDC for FTP-nedlatingen, en forventet. Vi økte CRA og RBDC henholdsvis 6 og 15 ganger, med fikk kun en gevinst i gjennomstrømningen med en faktor 1,4.

Det ble også gjort forsøk på DVB-RCS systemet i 2001 som en del av Telenor-prosjektet Hybrid BredbåndsAksess-prosjektet (HB@). Her oppnådde DVB-RCS like store rater som under Eutelsat-prosjektet, men oppsettet viste lav stabilitet, og ingen empiri kunne gjøres på systemets evner til å levere stabile IP-tjenester. Etter dette har man også restartet hovedruterens i systemet, og siden har man ikke oppnådd ønskelige hastigheter. Dette pekte på at det kunne være et konfigurasjonsproblem i systemet. Hovedruterens var plassert fysisk og pipeline-messig bak Satlink Gateway'en (GW) på Nittedal. I stedet for ytterligere testing, ble fokus, sommeren 2002, satt på feilsøking og deteksjon av systemets flaskehals.

Som vi ser av testresultatene vi fikk sommeren 2002, ga ikke systemet noe opplevd båndbredde for sluttbruker bedre enn dobbel ISDN-oppkobling. Dette stred mot den teoretiske og forventede båndbredden et DVB-RCS system skal kunne levere. På en annen side verifiserte eksperimentene at systemet som sådan klarte å betjene pakke-data og levere bredbåndstjenestene som var definert. Likevel, for at systemet skal være et reelt bredbåndsalternativ, må man få opp hastigheten.

I oktober 2002 ble problemet og flaskehalsen funnet av Neras systemansvarlige i systemet. Det viste seg å være, som antatt, et konfigurasjonsproblem i ruterens på gateway-stasjonen. Når dette ble tatt hånd om, klarte også dette testoppsettet hastigheter opp mot 700 kbps uten TCP-akselerator (se neste side). Dette viste at systemet klarer å levere et rammeverk for bredbåndstjenester til sluttbruker.

Derfor ble videre testing utsatt i avvente av at Nera skulle finne og fjerne flaskehalsen, samt finne et TCP-akselererende verktøy for å øke ytelsen til systemet.

8.3.2 Nytt testforsøk

Etter at feilkilden i de første forsøkene ble funnet og rettet opp, ble nye forsøk gjennomført først uten, deretter med to forskjellige akseleratorer. Akseleratorene effektiviserer TCP-protokollen og de problemene skissert i tidligere kapitler. I tillegg innfører de begreper som TCP-enkapsulering, spoofing og caching. Følgende akseleratorer ble valgt ut av Nera for dette oppsettet:

- NettGain 2000 fra Flash Networks [30 – Flash Networks]

NettGain 2000 baserer seg på Flash Networks patenterte løsning Boosted Session Transport (BST), som de ikke oppgir detaljer rundt. Men hovedpoenget er at BST er en optimaliseringsprotokoll som maksimerer utnyttelsen av den tilgjengelige båndbredden. I tillegg komprimerer NettGain datapakkene i sanntid, noe som også reduserer båndbreddebehovet.

- SkyX fra Mentat Inc. [31 – Mentat]

SkyX-systemet har en egen protokoll, som enkapsulerer TCP, skreddersydd for satellitthoppets lange forsinkelse, tapsprosent (BER) og asymmetriske egenskap. Produsenten, Mentat Inc., annonserer at deres løsning forbedrer web-ytelsen med en faktor på 3 og filoverføringer blir opptil 100 ganger raskere. I tillegg er det verdt å nevne at dette systemet er fullstendig transparent for sluttbrukeren. Akseleratoren installeres kun i Gateway.

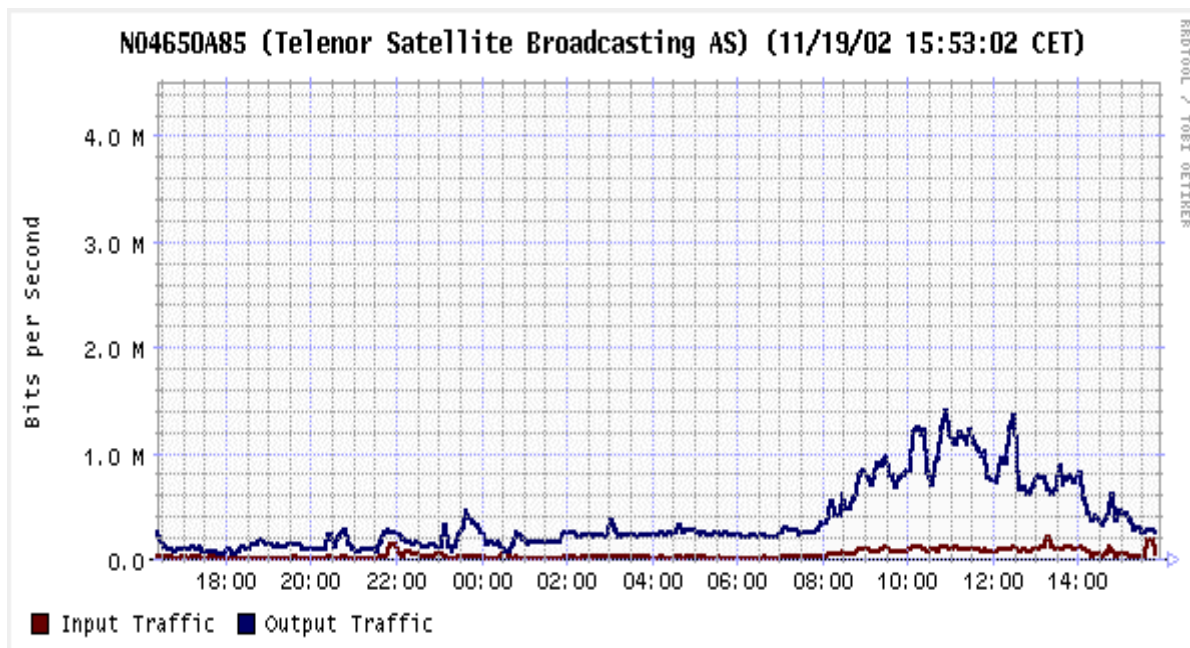
Dette er begge etablerte programvarer fra to større leverandører av TCP-akseleratorer. NettGain 2000 er en kombinert hardware/software-løsning, mens SkyX er en ren software-løsning.

Disse forbedringene og effektiviseringene medførte at man uten akselerator klarte å oppnå rater på 6-700 kbps, som forventet. Med akselerator fikk man til rater helt opp til 6 Mbps til sluttbruker. Raten på 6 Mbps er også den maksimale håndteringskapasiteten i brukerterminalen.

Når i tillegg disse testene viste at systemet var stabilt, ble konklusjonen at DVB-RCS i praksis skal kunne levere bredbåndstjenester til sluttbruker, som målet var med disse testene. Den faktiske hastigheten som eventuelt leveres sluttbrukerne vil være en diskusjon og overveining over pris for satellittkapasitet og hvor mange brukere som kommer til å bruke systemet. Slike betraktninger, som må gjøres i steget mot kommersialisering, vil være fokus i resten av oppgaven.

8.3.3 Trafikkbelastning på Pilotoppsett av DVB-RCS

Høykoms DVB-RCS-prosjekt omfatter foreløpig utstyr som er plassert rundt på 10 skoler + 1 terminal hos Læringscenteret (www.ls.no). Disse terminalene har mellom 5 og 30 bruker-PC'er bak seg, og trafikkmønsteret fra dem vil typisk være mer likt mønsteret fra en bedrift og ikke en privat-bruker. Dette tilsvarer da til sammen cirka 250 brukere, og man ser av figur 8.2 at den momentane trafikkbelastning aldri overstiger 2 Mbps. Trafikken i systemet har i tidlig fase av prøveprosjektet en døgnvariasjon som vist i figur 8.2. Det som er tegnet med blått er trafikken til brukerne på DVB-S nedlink, mens det som er rødt er trafikken i retur-retningen på DVB-RCS returkanalen (MF-TDMA). Man ser av figuren at den momentane trafikkbelastning i dette tilfellet ikke overstiger 2 Mbps. De periodiske variasjonene i nedtrafikken synes å tilsvare friminuttene ved skolene



Figur 8.2: Trafikkbelastningen over Nittedal jordstasjon generert av DVB-RCS pilotsystem den 19.11-2002

Sluttbrukerene satt her på et reelt bredbåndalternativ, med mulige hastigheter opptil 6 Mbps, avhengig av kapasitetsfordelingsalgoritmer og behov. Likevel er erfaringen at den *momentane* belastningen over satellitthoppet sjelden vil overstige 1,5 Mbps. Dette styrker forhåpningene om at man vil kunne klare å betjene et stort antall brukere, dersom man setter av kapasitet i for eksempel en hel transponder.

Opplink-belastningen er som figuren viser nærmest ubetydelig. Dette har antakeligvis sin årsak i at bruksmønsteret fortsatt er asymmetrisk. Noe av sammenhengen er antakeligvis utvalget figur 8.2 representerer. Dette er i hovedsak skoler, og antakelsen er at de i hovedsak benytter seg av tradisjonelle og asymmetriske internettjenester. Neras terminal vil også i nærmeste fremtid (våren 2003) oppgraderes til å klare opptil 2 Mbps i opplink (returkanal). Dette gjør at systemet vil skalere bedre for symmetriske tjenester enn for eksempel ADSL, som har en opplinkbegrensning på 640 Kbps.

Avslutningsvis nevnes det at brukerne av dette systemet så langt har gitt gode tilbakemeldinger på denne satellittbaserte bredbåndsaksessen og DVB-RCS [Steinar Kristensen, Høykomansvarlig i Nera – Muntlig meddelelse].

På øyemål kan det være interessant å se på hvor mye data som leveres gjennom nesten et døgn med et trafikkszenario som figur 8.2:

Fra klokken 8 til 15 (7 timer) er det en belastning på cirka 700 kbps, mens det fra 17 til 08 (15 timer) er en belastning på 200 kbps:

$$\begin{array}{l} (7 \text{ timer} * 3600 \text{ s/t} * 700 \text{ kb/s}) / (8 \text{ bit/byte}) = 2205 \text{ MB} \\ (15 \text{ timer} * 3600 \text{ s/t} * 200 \text{ kb/s}) / (8 \text{ bit/byte}) = 1350 \text{ MB} \\ \hline \text{Sum} = 3555 \text{ MB} \end{array}$$

Her ser vi at scenariet med ti skoler pluss læringscenteret, anslått til cirka 250 brukere har et datavolumforbruk på i overkant av 3,5 GB per dag.

En pris på 50 øre per MB gir en dagspris på 1777.5 NOK og 55102 per måned.

En pris på 28 øre per MB gir en dagspris på 995.4 NOK og 30857 per måned.

En pris på 10 øre per MB gir en dagspris på 355.5 NOK og 11020 per måned.

Alle disse prisene fordeles på alle brukerne. I dette tilfellet er det 11 betalende enheter, hvilket betyr at dersom man klarer å få kostnadskravet ned til 10 øre per MB, vil en skole med dette bruksmønsteret ende opp med en månedskostnad på cirka 1000 NOK. Med dagens krav på 50 øre per MB, vil man månedskostnaden bli cirka 5000 NOK, noe som sammenliknet med andre teknologier er en relativt god pris.

Del IV

Økonomiske betragtninger

Kapittel 9

Kostnadsoverslag for data via DVB-RCS

Et bredbånds multimediasystem benyttes til overføring av relativt store datamengder. Da blir kostnaden per datamengde (megabyte) eller månedskostnaden en viktig og avgjørende faktor for bruken av systemet. Det er viktig at, for å oppnå en levbar markedspenetrasjon for operatørene, sluttkostnadene blir akseptable for brukerne.

Dersom man tar utgangspunkt i inntjeningskravene til en helt vanlig kringkastingstype satellitt kan man regne med at en satellittoperatør forventer en inntjening på cirka 30 millioner NOK per år, per transponder. Dette er tallet ASTRA opererer med, men det er et vanlig tall for satellittoperatører generelt, selv om prisene for transponderleie er på vei ned. En satellitt består av et stort antall transpondere, som er selve arbeidshesten i satellittkommunikasjon. De kan være av ulik størrelse, men en typisk transponder for TV-overføring har i dag en frekvensbåndbredde på 33 MHz.

La oss ta utgangspunktet i én enkelt transponder og gjøre et kostnadsoverslag over hvor mye det vil koste å sende og motta data i et DVB-RCS-scenario. Dette skal, sammen med brukerantall og total overføringskapasitet, kunne gi oss et overslag over DVB-RCS sin prismessige levedyktighet, sammenliknet med andre bredbåndsteknologier.

9.1 DVB-RCS – kostnadsrammer, fortrinn og ulemper

La oss gjøre et regnestykke for å få et inntrykk av hvilket inntjeningskrav en DVB-RCS operatør har i forhold til datamengden som sendes over systemet.

Dette er tallene og deres beskrivelse i regnestykket:

- En transponder har opp mot metning (ideell utnyttelse) en transportkapasitet på 36 Mbps. Med 33 MHz båndbredde i transponderen og QPSK-modulering klarer man å modulere litt over 1 bit per hertz per sekund. (Det nøyaktige tallet ligger et sted mellom 1,1 til 1,5 bit). I det videre resonnementet skal vi bruke tallet 36 Mbps for transponderkapasitet.
- Man antar en utnyttelsesgrad på godt under 100 % på en transponder. Med dette menes det at man ikke klarer å holde konstant overføring med transponderen nær metning hele tiden gjennom et døgn. Mens antallet brukere som ser på TV varierer sterkt i løpet av et døgn, har det ingen innvirkning på utnyttelsen av transponderen. TV-kanalene sendes uansett kontinuerlig uavhengig av om det er noen som ser på eller ikke. Dataoverføring derimot er en annen ting. Den er sammensatt av ulike bidrag og kan bestå av individuell interaktiv trafikk, multikast og unicast. Den faktiske bruken

bestemmer hvor mye som til enhver tid sendes gjennom transponderen. Da det er stor variasjon i bruken av andre digitale tjenester som surfing, chatting og e-postbruk også, vil det være vanskelig å holde transportmultiplekset fullt hele tiden. Det er for eksempel klart flere brukere av Internett i kontortid enn om natten i en region. Så et overslag over tiden man har full utnyttelse av en transponder antas til å være 75 %, som tilsvarer 18 timer av et døgn.

Regnestykket blir da å finne ut hva det må koste for en bruker per megabyte for at en satellittransponder skal kunne tilfredsstille sitt inntjeningskrav:

$$\frac{\text{sponderkapasitet (Mbit/s)} * 3600 \text{ (s/time)} * 75 \% \text{ utnyttelsesgrad} * 360 \text{ (dager/år)}}{8 \text{ bit/Byte}} = \text{Ant. Byte/år}$$

$$\frac{36 \text{ (Mbit/s)} * 3600 \text{ (s/time)} * 18 \text{ timer} * 360 \text{ (dager/år)}}{8 \text{ bit/Byte}} = 104,976 \text{ TerraByte/år}$$

$$\frac{\text{Inntjeningskrav (NOK/år)}}{\text{Årskapasitet per transponder (Byte/år)}} = \text{Antall NOK/Byte}$$

$$\frac{30 * 10^6 \text{ NOK/år}}{104,976 * 10^{12} \text{ Byte/år}} = 0,28577 \text{ NOK/MegaByte}$$

Med andre ord må en satellittoperatør ta litt over 28 øre for hver megabyte en bruker laster gjennom en transponder, for at regnskapet skal gå i null for overføringsdelen. I tillegg kommer andre utgifter og en noe lavere transponderutnyttelse vil lett kunne gi et inntjeningskrav for operatøren på 50 øre per megabyte.

NextGenTel, en av Norges mest kjente bredbåndsløseleverandører og storbrukernes favoritt, sier deres kunder laster ned 6,5 gigabyte per måned i snitt [21 – IT-avisen]. Dette tilsvarer 216 megabyte per dag. Dersom dette er dagens standard for storbrukere, vil 6,5 gigabyte koste 1820 NOK per måned med ovennevnte prisingsmodell på DVB-RCS eller 3250 NOK med 50 øre/MB.

Dette er litt spesielt, da dette gjennomsnittet viser at forbruket har økt drastisk de siste årene, og har som artikkelen nevner antakeligvis sin årsak i at bredbåndskunder raskt også endrer sine nettvaner med økt båndbredde, og selvfølgelig grunnet dagens raske hjemme-PC'er. Den økte mengden har i stor grad sammenheng med at folk nå, i mye større grad, laster ned filmer og musikk rett fra nettet. Trafikkøkningen gir en pekepinn på krav. Med et forbruk på 5-10

GB per måned, ser man for eksempel at en kostnad på 100 øre per MB vil virke altfor høyt. På noe sikt må man antakeligvis søke å utvikle teknologien slik at 10 øre/megabyte blir mulig.

En 2048/640(inn/ut) kbps ADSL-forbindelse prises av NextGentel til 1138 NOK per måned for løpende kontrakt. For bedrift, prises 2312/2312 kbps til 3998 NOK per måned. Dette tilsvarer en daglig kostnad for sluttbrukeren på cirka 130 NOK. I kapittel 10 vil betraktninger rundt forventet bruksmønster vise hvorvidt dette er en prising som vil kunne være levbar for en DVB-RCS operatør. En oversikt over gjeldende ADSL-priser høsten 2002 finnes i appendiks A.3.

Sett fra kunden vil det være to hovedmomenter bredbåndsoperatørene konkurrerer om. Det ene er slutt hastigheten som tilbys, det andre er pris. Siden prisen på ADSL i Norge allerede er presset til et lavt nivå i forhold til inntjeningen for operatøren, er det kanskje på kapasitet DVB-RCS bør konkurrere. Ved å tilby raskere nettverksaksess, vil DVB-RCS kanskje kunne ha et fortrinn i forhold til ADSL. Dette forutsetter at en sluttbruker ikke har eksplosiv vekst i datamengder som lastes ned, fordi DVB-RCS-operatørens kostnader er proporsjonale med datamengdene som overføres. Den faktiske hastigheten som tilbys sluttbrukerne avhenger av hvor mye kapasitet som settes av i satellitten, antallet simultane brukere, kapasitetsdelingsalgoritmer og prosesseringshastighet for enkapsulatorer og modulatorer som nevnt i forrige kapittel. Det er på dette punktet at en DVB-RCS operatør bør fristille nok kapasitet, slik at systemet kan levere større hastigheter enn ADSL. Det viktigste virker likevel å være at man når områder som ikke dekkes av DSL, til akseptabel pris. I kapittel 10 vil jeg forsøke å gi et inntrykk av hvor mye faktisk data en gjennomsnittlig bruker vil trenge over et DVB-RCS nettverk.

I tillegg har et satellittsystem kringkastingsegenskaper som gjør at kostnader kan deles på antall brukere som laster samme data (multikast) til samme tid, og dermed gjøre tjenesten enda billigere for forbrukeren og inntjenende for seg selv. Dersom det er film og lyd som gir den drastiske økningen i datakonsum, kan DVB-RCS utnytte sin kringkastingsevne for å levere til alle simultane brukere. I motsetning til ADSL vil dette da bli en punkt-til-multipunkt modell, og spare bakstrukturen i nettverket for store belastninger. I tilfellet ADSL vil enhver forsendelse være en individuell forsendelse, og belastningen på nettverket multipliseres med antallet brukere som simultant ønsker å laste samme data.

En kringkastingsmodell for nedlasting av audio og video vil på en måte skille audio og video fra vanlig data, men være besparende for nettverket. Dette vil kunne medføre at slike nedlastninger blir billigere for operatøren og dermed åpne for en fortsatt vekst i denne type bruk som vi ser i dag. Dette vil også kunne øke den reelle hastigheten ned til sluttbruker, ettersom man unngår metning i nettet og treg forbindelse når mange brukere har krevende nedlastninger samtidig.

Akkurat dette med deling av kapasitet (multikast) er et av satellittens forretningsmessige fortrinn, og gjør seg gjeldende også ved bruk av satellitt for bredbåndstjenester. Dette vil kunne være et fortrinn i DVB-RCS' konkurranse med andre bredbåndsteknologier.

9.2 ADSL

La oss videre ta utgangspunkt i at en operatør av bredbåndstjenester over satellitt tar 50 øre per megabyte per bruker, noe som kan være bedre estimat ettersom man foreløpig i nærmeste fremtid antakeligvis vil ha utnyttelsesgrad nærmere 50 % enn 75 %, som ble brukt over.

Til sammenlikning kan vi gjøre et tilsvarende regnestykke for ADSL, per dags dato den mest utbredte høyhastighetsteknologien i Norge for hjemmemarkedet. Tross en viss variasjon i priser fra operatør til operatør, kan det være greit å ta utgangspunkt i Telenor sine priser. Høsten 2002 priset Telenor ADSL-oppkopling til 349 NOK per måned. La oss sammenlikne dette med 50 øre per megabyte i et DVB-RCS system.

- ADSL koster 349 NOK per måned uavhengig av antall byte den enkelte bruker
- DVB-RCS vil kunne være lønnsomt med 50 øre per megabyte

Regnestykket for hvor mange byte en bruker kan laste dersom man bruker en fast månedspris tilsvarende ADSL, blir:

$$\frac{\text{Pris for ADSL i en måned (NOK/mnd)}}{\text{Pris per megabyte i DVB-RCS (NOK/MByte)}} = \text{Antall Megabyte per måned}$$

$$\frac{349 \text{ NOK/mnd}}{0,5 \text{ NOK per Megabyte}} = 698 \text{ Megabyte per måned}$$

Med 30 dager per måned, vil dette si at hver bruker av ADSL må laste mer enn 23,267 Megabyte per dag for at ADSL skal lønne seg i forhold til vårt DVB-RCS-scenario. Med NextGenTels estimat over gjennomsnittlig nedlasting per måned på 6.5 Gigabyte (216 MB per dag), vil ADSL (med fastpris 349NOK/måned) være mer lønnsomt for sluttbruker enn DVB-RCS. Nok en gang gir dette indikasjoner på at det er på hastighet DVB-RCS kanskje vil ha sitt konkurransefortrinn. På den andre siden kan det indikere at fastprismodellen ikke er veldig robust, ettersom det også for ADSL er en kostnad for operatøren per byte som sendes gjennom nettet, og at det ikke skalerer med fastpris dersom forbruket øker drastisk.

På grunn av eksplosiv vekst i datamengdebruk, vil Telenor fra 1.1-2003 sette et tak på 1 gigabyte per måned (1000 megabyte) på sitt ADSL abonnement, før brukeren må betale mer, eller nøye seg med ISDN-hastighet. 1 gigabyte tilsvarer 33 MB per dag, og Telenors egne tall [32 -Telenor] tilsier at dette tilsvarer cirka 200 mp3 filer, cirka 20 000 websider, 500 000 e-postmeldinger uten vedlegg, eller ubegrenset med chatting, per måned.

Hovedvekten av norske brukere benytter antakeligvis Internett mindre enn dette, noe som igjen betyr at de aller fleste ADSL-kunder betaler for noe de ikke bruker, men er med på å betale snittkostnaden for én bruker. Småbrukerne subsidierer med andre ord storbrukerne, noe som gjør aksessen billig for storbrukerne, og på motsatt side dyr for småbrukerne.

Når man bruker fastpris-modeller, dreier det hele seg om operatørens kostnader for en gjennomsnittlig bruker. Dersom snittet allerede høsten 2002 er så høyt som NextGenTel indikerer, og eksplosivt økende, vil man enten måtte øke den månedlige fastprisen, eller innføre en ny prismodell. Det sistnevnte skal betraktes nærmere i kapittel 11.

9.3 Kapasitet

Kapasitet er et relativt komplekst begrep innen radiokommunikasjon. Sluttkapasiteten som den enkelte sluttbruker opplever er avhengig av mange faktorer. Dette er parametere som: frekvensbånd, frekvensbåndutnyttelse (koding/modulasjon), gjenbruk av frekvenser i forskjellige dekningsområde, multipleksingmetode, prosesseringshastighet og interferens med andre sendinger. Jeg skal ikke gå dypt inn på disse enkelte feltene, men heller ta utgangspunkt i den frekvensbåndbredde som er allokert innen satellittkommunikasjon.

9.3.1 Kapasitet per satellittposisjon

En satellitt er begrenset av den tildelte båndbredde. Det er globale organisasjoner som ITU (den internasjonale teleunionen) som standardiserer dette, og nedlink frekvensbåndet for satellitter er definert fra 10,7 GHz til 12,75 GHz. Dette er det såkalte Ku-båndet og gir en kapasitet på 4,10 GHz. Båndet i seg selv strekker seg fra 10,7 til 12,75 GHz hvilket gir 2,05 GHz båndbredde, men da man har to polarisasjoner: *horisontal* og *vertikal*, blir den totale kapasiteten på 4,10 GHz. Med QPSK modulasjon tilsvarer 1 Hertz cirka 1 bit per sekund. Denne båndbredden er kapasiteten per satellittposisjon, og det er minst én satellitt per 2-3 grader i den geo-stasjonære bane. Med andre ord vil dette bety at hver satellittposisjon i teorien kan tilby 4,10 Gigabit per sekund til sluttbrukerne. Denne kapasiteten kan igjen økes på mange måter – det kan benyttes modulasjon og kodingsmetoder som gir bedre frekvensutnyttelse eller man kan benytte spotbeamteknologi for den individuelle trafikken.

I opplink/returkanal har ITU standardisert et frekvensbånd på 500 MHz for DVB-RCS-terminaler, i frekvensområdet fra 29,5 GHz til 30 GHz, men det er også bygget inn en opsjon for å bruke Ku-båndet i opplink.

La oss se på hvor mange brukere en satellitt kan klare å betjene til enhver tid.

- Anta at man bruker $\frac{1}{4}$ av satellittens totale kapasitet til DVB-RCS formål. Dette tilsvarer da 1 Gbit per sekund, eller 1000 Mbit per sekund.
- Anta en døgnutnyttelse på 75 %, eller at kapasiteten utnyttes til det fulle i 18 timer av et døgn. Dette kan også skrives om til 750 Mbit/s kontinuerlig gjennom et døgn.
- Anta at hver bruker laster henholdsvis 20 og 216 megabyte per døgn.

Følgende blir regnskapet for det totale antallet brukere som kan betjenes:

$$\frac{750 \text{ Mbit/s} * 3600 \text{ s/t} * 24 \text{ t/døgn}}{8 \text{ bit/Byte}} = 8.1E^{12} \text{ Byte/døgn}$$

Da har vi cirka 8 TerraByte kapasitet, og hver bruker bruker 20 MegaByte per døgn. Dette gir et totalt antall brukere som kan betjenes på:

$$8.1E^{12} \text{ (Byte/døgn)} / 20E^6 \text{ (Byte/døgn/bruker)} = 405000 \text{ brukere.}$$

Dersom hver bruker benytter 216 MegaByte per døgn, slik snittbruken blant NextGenTel-brukere, vil antallet brukere som kan betjenes bli:

$$8.1E^{12} \text{ (Byte/døgn)} / 216E^6 \text{ (Byte/døgn/bruker)} = 37500 \text{ brukere.}$$

Intuitivt ser dette tallet veldig lite ut, tatt i betraktning at det bor mellom 20 og 50 millioner innbyggere innen Thor-satellittenes dekningsområde (se kapittel 2.4). Det sentrale spørsmålet i en kostnadsprofil er alltid markedspenetrasjonen, altså hvor mange brukere som vil benytte seg av denne teknologien. Men i tillegg til dette er det også viktig å vite hvor mange brukere som vil være pålogget samtidig og hva slags belastning bakstrukturen må takle til enhver tid.

9.3.2 Kapasitetsbegrepet – momentanhastighet vs. snitthastighet

Det som er viktig å ta i betraktning er at det foregående regnestykket gir henholdsvis 405 000 og 37 500 brukere som i snitt laster henholdsvis 20 og 216 Mbyte i døgnet.

Denne antakelsen samsvarer ikke med normalt bruksmønster, da vanlig er at brukere laster data/bruker sin bredbåndstilgang i perioder. Den daglige bruken hos sluttbruker varierer fra dag til dag. Regnestykket over forutsetter en jevn strøm på 231.48 byte per sekund, tilsvarende 1.851 kbps per bruker, kontinuerlig gjennom døgnet. Sammenhengen mellom momentan nedlastingshastighet og snitthastighet på jevn nedlastingsstrøm, er sentral i betraktninger hvor man søker å finne ut det totale antallet brukere som kan tjenes. Forsøk den senere tid viser dog at den totale bruken fra *alle* brukerne er jevn over døgnet, mens den enkelte bruker fortsatt har en ujevn bruk av sin aksess. Figuren 8.2 i kapittel 8.3.3 viser at selv med et relativt lavt antall brukere, jevnes belastningen ut forbausende godt ut.

Som nevnt tidligere i dette kapittelet kan man tilby 4.1 Gbit per sekund til sluttbruker per satellittposisjon med dagens beamteknologi i Ku-båndet. Og siden ingen brukere laster ned 1.851 kbps hvert eneste sekund kontinuerlig gjennom én måned, vil den momentane nedlastingshastigheten til de enkelte brukerne kunne være mye større enn dette. Dette avhenger av den totale tilgjengelige momentane kapasitet, antall simultane brukere og størrelsen på nedlastingene til den enkelte bruker. Dette styres av vanlige kapasitetsdelingsalgoritmer i FDM (Frequency Division Multiplex) og TDM (Time Division Multiplex) baserte systemer. Med andre ord betyr dette at man til en gitt tid kanskje har en øvre begrensning på antall brukere som kan tjenes per satellittposisjon. Men ser man dette over lengre tid, for eksempel over en time, vil de enkelte brukerne logge seg på sitt nettverk, fullføre sine gjøremål, og deretter logge seg ut igjen. Ved utlogging vil brukeren fristille kapasiteten for andre brukere.

Ettersom de fleste bruker Internett og bredbånd i relativt små sesjoner, vil et slikt system likevel kunne tjene mange flere brukere over et døgn enn dersom alle laster ned i gjennomsnitts hastighet kontinuerlig til samme tid. De største nedlastingene etter dagens bruksmønster er antakeligvis nedlasting av filmer, som i størrelse ligger ett sted mellom 0.5 gigabyte og 1.5 gigabyte. En bruker som laster ned en film, vil nødvendigvis trenge større nedlastningshastighet enn en person som ønsker å motta en e-post (noen få kilobyte). Men

denne brukeren vil ikke trenge samme nedlastingshastighet mens han eller hun ser på filmen. Faktisk vil brukeren ikke trenge noen kapasitet, ettersom filmen ses fra lokalt minne (ikke streaming). Denne kapasiteten kan da brukes til å for eksempel overføre 37500 tekst-dokumenter på 40 KB.

Slike typer fordelingsalgoritmer og kapasitetsfordeling er kjernen i at operatører kan tjene mange brukere, og det samme gjelder et DVB-RCS system. Uansett backbone-teknologi eller nettverks infrastruktur, vil det oppstå metning, kø og problemer dersom et for stort antall brukere ønsker stor båndbredde til samme tid. Da må operatørene nødvendigvis enten gi alle brukerne mindre momentankapasitet, eller bare noen brukere ved å skille dem og applikasjoner etter visse prioriteringsalgoritmer. Neste avsnitt tar nærmere for seg metoder for å dele inn brukere på og gi visse applikasjoner/brukergrupper prioritet i kapasitetsdelte system.

9.3.3 Prioritet

Til tross for at det totale forbruket viser seg å være relativt jevnt over døgnet er det likevel trolig at det må innføres metoder som bidrar til utjevning av trafikken, slik at systemet totalt sett får en kontinuerlig og jevn belastning. Inndeling av trafikken i kvalitetsklasser (QoS) og prioritetsklasser vil kunne ha en slik virkning.

Det opereres ofte med tre klasser som deler inn brukerne og tjenestene de benytter [7 – EMBRACE IST, 1999]:

- Continuos Guaranteed (CG) – Maksimalforsinkelsen, Maksimal bit rate og null tap er garantert. Sanntidsapplikasjoner hører hjemme i denne gruppa.
- Available Guaranteed (AG) – Maksimalforsinkelsen, Maksimal bit rate og null tap er garantert, men den maksimale bit raten er kun garantert i definerte perioder (eng: ON-periods). Nettverkspill, streaming hører hjemme i denne gruppa.
- Best Effort (BE) – maksimalforsinkelsen og tapet er garantert, men ikke bitrate. TCP-baserte internettjenester som web-surfing, FTP og fildelingstjenester hører hjemme i denne gruppa.

Slike kapasitetsdelingsmodeller medfører at man nedprioriterer tjenesteaksess som defineres som BE i forhold til CG og AG, slik at tjenester som må ha kapasitet, som sanntidsapplikasjoner ikke blir avspist av nettverket fordi det er i metning grunnet BE-tjenester som fildeling og surfing. Typisk vil en slik QoS-løsning sørge for at sanntidsdata ikke går tregt gjennom nettet, når det er for mange peer-to-peer brukere på og metter nettet.

9.3.4 Kapasitetsbehovet i HB@ (Hybrid Bredbånds @ksess)

Erfaringene fra Telenors konsernprosjekt HB@ i 2001 tilsier at en spredt brukergruppe av diverse bredbåndstjenester i midlet snitt trenger 200kbps. Dette var en brukergruppe i svolvær, Lofoten og representerte i grunn relativt ferske brukere. Med denne snitt-kapasiteten klarte systemet som var satt opp, å betjene sluttbrukernes behov. Denne kapasiteten tilsvarer en total nedlasting på brukerne på 90 Mbyte per time, fordelt på alle brukerne. Man så at det i topp-periodene var et totalt momentant hastighetsbehov over delt medium på cirka 1,5 Mbps. Det understrekes at bruksmønsteret her dreide seg om ”tradisjonell” bruk av Internett, uten streaming. Av dette var erfaringen at man med et stabilt DVB-RCS system, kunne tilby ”bredbånd” til en gruppe brukere, som for eksempel en skole.

I kapittel 8.3.3 viser figur 8.2 tilsvarende erfaringer fra Høykoms DVB-RCS prosjekt.

9.3.5 Ujevnt kapasitetsbehov som følge av ujevnt bruksmønster

Det har vært vanlig at bruken av multimedietjenester er veldig varierende gjennom et døgn. Det har tradisjonelt vært mye større belastning på nettverket om dagen, enn om natten. Dette har ført til metning i nettverkene og at man ikke har kunnet levere tjenester, med tilstrekkelig kapasitet, til alle brukerne når dette skjer. Den siste tidens enorme vekst i forbruk, er dette viktig å ta høyde for. Det er flere undersøkelser som viser at en mindre del av brukerne synes å dominere trafikkbildet, og skaper flaskehals. Derfor er det viktig at operatørene setter ut i live insentiver for å avverge dette. For å unngå metning i nettet og lavere overføringshastigheter til sluttbruker, er en mulig løsning å innføre ujevn betalings- eller kapasitetsmodell, slik at man stimulerer til jevnere total bruk over et døgn.

Dette kan for eksempel gjøres ved å prise de samme tjenestene forskjellig for forskjellige perioder av døgnet, ved tidsbasert prising. Det har vært vanlig i eldre kommunikasjons-tjenester også, som for eksempel i telefonnettet, der det er billigere å ringe mellom 17 og 06 enn mellom 06 og 17. Dette vil antakeligvis medføre at brukerne ønsker å benytte seg av tjenestene når de er billigst.

En annen løsning er å finne ut hvilke tjenester som belaster nettet sterkest, og finne løsninger, slik at disse tjenestene leveres til tider og gjennom modeller som egner seg bedre for nettverket. Da man ser klare tegn til at det er audio og videonedlastinger som er årsaken til den sterke veksten i Internettbruk og skaper flaskehals, kunne det for eksempel være en ide å forsøke og kanalisere denne type bruk til tider av døgnet hvor det er gunstig for bakstrukturen. For DVB-RCS kan det være naturlig å utnytte kringkastingsegenskapene ved å la brukerne melde seg på i grupper for en gitt nedlastning. Når det er tilstrekkelig antall brukere, kan datastrømmen kringkastes, og alle brukere laster ned simultant, i motsetning til at alle laster denne til forskjellige tider på døgnet og belaster nettverket med kapasitet unødvendig mange ganger.

Dersom film- og musikknedlastninger fortsetter i den hastige veksten som i dag, vil dette kunne være en løsning for tjenesteleveranse som løser problemet med at store nedlastninger til mange brukere som punkt-til-punkt kommunikasjon ikke skalerer.

Kapittel 10

Scenarieteknikk: Datamengdebehovet for én brukerprofil

I dette avsnittet er det tatt utgangspunkt i resultatene fra IST (Information Society Technologies) – prosjektet EMBRACE (Efficient Millimetre Broadband Radio Access for Convergence and Evolution) hvor Telenor deltok. Dette er et prosjekt med fokus på utvikling av lavkost radioaksess-systemer for massemarkedet. Systemprototypen har brukt MPEG2-transportstrøm i nedlink og MF-TDMA i opplink, tilsvarende et DVB-RCS system. Hovedfokus har vært lagt rundt LMDS (Local Multipoint Distribution System), som er et jordbasert bredbåndsradiorett. De fleste konklusjoner som kan trekkes ut fra dette prosjektet lar seg i stor grad overføre til et DVB-RCS system, da primærforskjellen kun dreier seg om forskjellig forsinkelse, grunnet forskjellig gangavstand for signalene. Både LMDS og DVB-RCS sikter mot å yte de samme tjenestene, men markedssegmentene er ulike med hensyn til brukertetthet. DVB-RCS er velegnet for bruk i tynt befolkede områder mens LMDS krever relativt høy brukertetthet for å være lønnsomt.

Derfor vil jeg bruke deler av analysen gjort i dette prosjektet for å gjøre økonomiske betraktninger sett fra én DVB-RCS sluttbruker [7 – EMBRACE IST, 1999]. I tillegg ønsker jeg å bruke scenarieteknikken i dette prosjektet for å belyse bruksmønstergjenkjenning i et DVB-RCS system, samt belyse sider ved slik scenarieteknikk som kan gi til dels uriktige resultater.

Jeg vil bruke tall fra EMBRACE for å definere typiske bruksmønstre og deretter lage et kostnadsregnskap for DVB-RCS. Etter diskusjon med veileder Agne Nordbotten, har vi kommet fram til at den analyse som ligger til grunn for bruksmønstrene brukt i EMBRACE, kan benyttes for å gi et bilde av DVB-RCS' nedslag i det norske hjemmemarkedet. Selv om tallene er innhentet ved årsskiftet 1999-2000 og bruksmønsteret er endret siden den gang, vil de kunne gi en pekepinn på dagens bruksmønster og jeg vil derfor bruke dem i denne oppgaven. Det ville også blitt en for stor og tidkrevende jobb å oppdatere disse tallene, da noe av datamaterialet som har vært brukt ikke er åpent tilgjengelig. Det er likevel med basis i ny erfaring foretatt tildels betydelige justeringer. EMBRACE-prosjektet og rapporter skrevet tilknyttet analysene gjort for dette prosjektet finnes online på www.telenor.no/fou/prosjekter/embrace.

Mitt hovedfokus i de kommende kapitlene vil være på den kostnadsmessige siden av systemet. Hvor mye vil det koste sluttbrukeren å installere og ha et DVB-RCS system som sin aksessteknologi til bredbånds-internett? Én ting er klart; kostnaden vil måtte tilpasses forbrukt datamengde.

I det følgende vil jeg skissere to brukerscenarier og hvor mye det er forventet at én sluttbruker benytter seg av sin aksess i disse to tilfellene, og da også hva slags kostnadsrammer brukeren kan forvente seg. I første omgang vil fokuset være etter en ren volumbasert prismodell, med 28 øre og 50 øre per megabyte. I kapittel 11 vil jeg skissere en prismodell som kan komme godt ut for brukere så vel som operatører.

10.1 Trafikkscenarier

I betraktninger rundt en kundemasses bruksmønster, kan det være nyttig å definere forskjellige scenarier, som man så kan dele befolkningen inn i. Det er store variasjoner i sluttbrukernes bruksmønster, alt fra storbrukere, til brukere med bredbånd som ikke bruker Internett til mer enn mail og litt surfing, hvilket kunne vært gjort tilfredsstillende gjennom ISDN eller modem. Likevel kan det være nyttig å definere en slags gjennomsnittsbruker, som kan brukes til å avgjøre hvordan et system vil takle trafikkbelastningen dette bruksmønsteret medfører og om systemet skalerer ved mange simultane brukere. Det sentrale i denne metoden er at slik vil man holde fokus på hva den enkelte bruker faktisk behøver av kapasitet, og ikke bare teoretisk tildelt kapasitet. Dette blir et gjennomsnitt funnet ved skjønsmessig vurderinger og fra statistiske data, hvor man finner den gjennomsnittlige bruker og dens gjennomsnittlige bruksvaner.

Det gjennomsnittlige antallet minutter hver bruker benytter seg av de forskjellige multimedietjenestene (tabell 10.2 og 10.3), ble av EMBRACE vurdert ut ifra undersøkelser gjort av Central Bureau of Statistics, Norsk Gallup, Post- og teletilsynet og med basis i EMBRACEs forløper, ACTS Project 215 CRABS [7 – EMBRACE IST, 1999]. Det er disse tallene som er brukt for å gjennomføre de tekno-økonomiske analysene i EMBRACE. Det er viktig å understreke at disse tallene er cirkatall og bærer preg av skjønsmessig vurdering, men at de likevel gir en pekepinn på hvordan bruksmønsteret og kapasitetsbehovet vil bli sende ut.

Døgnet er delt inn etter følgende definisjon:

Dag: 08:00 til 16:00

Kveld: 16:00 til 24:00

Natt: 00:00 til 08:00

Slik er scenariene delt inn i tidsforbruk:

	Hverdag/Arbeidsdag			Helg/Ferie		
	Dag	Kveld	Natt	Dag	Kveld	Natt
Hjemmebruker	-	Scenario 1		Scenario 2		

Tabell 10.1: Definisjon av scenarier for hjemmebruker

Det antas at multimediebruken er relativt lav om dagen på hverdager, ettersom de fleste brukerne da vil være på jobb eller skole. Dette vil da gi et lavt kapasitetsbehov, og det utelates fra scenariene og betraktningene. Scenario 1 går derfor over 16 timer hvilket tilsvarer 960 minutter, mens scenario 2 på 24 timer tilsvarer 1440 minutter.

Tidsforbruk for den enkelte bruker i scenario 1:

Scenario 1	Antatt tidsbruk (min) Totalt forbruk over 960 min (16 timer)	Kommentarer
Telefoni	15	Vanlig fast telefon
Web/e-post	60	Gjennomsnittlig forbruk=64 min per døgn, men med økende tendens
Audio	100	Ikke nødvendigvis realtime. Dette er et avtakende forbruk. I 1999 var den gjennomsnittlige lyttetiden på 152 minutter per døgn. Her er det en avtakende tendens. Økt MP3 fildeling gjør dette til en mer interaktiv multimedietjeneste.
Video	50	Kun Video-on-Demand. Nedlasting av video som alternativ til videoleie. Dette er utenom ”vanlig” TV-titting
Sanntids video	10	I hovedsak videotelefoni. Dette tallet er kanskje litt underestimert i forhold til tendensen i slike tjenester i 2002.
FTP	10	
Kringkasting (TV)	100	Til dels glidende overgang med VoD. Viktig for denne tjenesten er at antallet brukere deler samme kapasitet.
Utsendelse	10	MP3/DivX-fildeling. Antakeligvis underestimert ettersom fildeling har hatt eksplosiv vekst de siste årene. En tjeneste der multikast kan gjøre seg gjeldende (kapasitetsbesparende)

Tabell 10.2: Antatt bruksmønster for multimedia i hjemmemarkedet, hverdag, kveld og natt

Scenario 2	Antatt tidsbruk (min) Totalt forbruk over 1440 min (24 timer)	Kommentarer
Telefoni	20	Økt fasttelefonibruk i helger og ferie
Web/e-post	70	Økt nettforkbruk i helger og ferie
Audio	115	Ikke nødvendigvis realtime
Video	100	Økt forbruk i helgene
Sanntids video	15	Økt forbruk i helgene
FTP	30	Flere nedlastinger i helgene
Kringkasting (TV)	100	Forbruket påvirker ikke kapasitetstildelingen for denne typer tjenester
Utsendelse	30	MP3/DivX – eksplosiv vekst og tendenser til økt forbruk med økt båndbredde tilgang [23 – Timeglass]

Tabell 10.3: Antatt bruksmønster for multimedia i hjemmemarkedet; helger og ferie

Disse scenariene viser, på statistisk grunnlag, den enkelte brukers totale forbruk av de forskjellige typer multimedia (ikke bare PC-basert multimedia). Dette er en nyttig referanse for å kunne vurdere behovet for den totale kapasitet aksessystemet må kunne bære.

Tabell 10.4 og 10.5 viser den gjennomsnittlige kapasitet og maks kapasiteten som kreves av aksessteknologien for henholdsvis scenario 1 og 2 [7 – EMBRACE IST, 1999].

Tjenester	Forbruk over 960 min (min)	Gj.sn nedlink kapasitet (kbps)	Gj.sn nedlink over 960 min (kbps)	Gj.sn opplink kapasitet (kbps)	Gj.sn opplink kapasitet over 960 min (kbps)	Maks nedlink kapasitet (kbps)	Maks nedlink kapasitet over 960 min (kbps)	Maks opplink kapasitet (kbps)	Maks opplink over 960 min (kbps)
Telefoni	15	16	0.3	16	0.3	16	0.3	16	0.3
Web / e-post	60	200	12.5	64	4.0	384	24	128	8
Audio streaming	100	40	4.2	16	1.7	64	6.7	16	1.7
Video streaming Video-on-demand Multikasting	50	512	26.7	16	0.8	1024	53.3	16	0.8
Sanntids video Videokonferanse (video/lyd/data)	10	512	5.3	512	5.3	1024	10.7	1024	10.7
Data overføring	10	512	5.3	512	5.3	1024	10.7	1024	10.7
Kringkasting (TV)	960	5000	5000.0	0	0.0	5000	5000.0	0	0.0
Utsendelse	10	16	0.2	532	5.5	16	0.2	1024	10.7
Total kapasitet			5054		23		5106		43

Tabell 10.4: Gjennomsnittlig og maks kapasitetsbehov for hjemmemarked; hverdag, kveld og natt

Følgende vurderinger/regnestykker ligger bak de enkelte tallene:

Forbruk over 960 min: EMBRACE

Gjennomsnittlig opp/nedlink kapasitet: empirisk kjente data

Gjennomsnittlig opp/nedlink kapasitet over 960 min:

(Forbruk over 960 min)*(gj.sn. opp/nedlink kapasitet)/ 960 min.

Maks opp/nedlink kapasitet: empirisk kjente data

Maks opp/nedlink kapasitet over 960 min:

(Forbruk over 960 min)*(maks. opp/nedlink kapasitet)/ 960 min.

De samme vurderingene gjelder for scenario 2, men da midles kapasiteten over 24 timer (1440 min) og ikke 16 timer.

Tjenester	Forbruk over 1440 min (min)	Gj.sn nedlink kapasitet (kbps)	Gj.sn nedlink over 1440 min (kbps)	Gj.sn opplink kapasitet (kbps)	Gj.sn opplink kapasitet over 1440 min (kbps)	Maks nedlink kapasitet (kbps)	Maks nedlink kapasitet over 1440 min(kbps)	Maks opplink kapasitet (kbps)	Maks opplink over 1440 min (kbps)
Telefoni	20	16	0.2	16	0.2	16	0.2	16	0.2
Web / e-post	70	200	9.7	64	3.1	384	18.7	128	6.2
Audio streaming	115	40	3.2	16	1.3	64	5.1	16	1.3
Video streaming Video-on-demand Multikasting	100	512	35.6	16	1.1	1024	71.1	16	1.1
Samtids video Videokonferanse (video/lyd/data)	10	512	5.3	512	5.3	1024	10.7	1024	10.7
Data overføring	30	512	10.7	512	10.7	1024	21.3	1024	21.3
Kringkasting (TV)	1440	5000	5000.0	0	0.0	5000	5000.0	0	0.0
Utsendelse	30	16	0.3	512	10.7	16	0.3	1024	21.3
Total kapasitet			5065		32		5127		62

Tabell 10.5: Gjennomsnittlig og maks kapasitetsbehov for hjemmemarked; helger og ferie

Dersom vi ser nærmere på tallene presentert i tabell 10.4 og 10.5, kan vi gjøre en vurdering av hvordan DVB-RCS vil klare å betjene et slikt bruksmønster, samt gjøre et kostnadsoverslag som kan danne rammene for en mulig prismodell.

Tallene viser at TV vil dominere transportbehovet. Konvergens med individuell TV-leveranse er problematisk, da dette gir en enorm belastning på tradisjonelle ledningsnett og i tillegg vil bli dyrt. Med DVB-RCS blir TV kringkastet gjennom satellittsystemet, og vil nødvendigvis foholde seg adskilt fra annen punkt-til-punkt kommunikasjon.

10.2 Én bruker – kostnader og kapasitet

La oss gjøre noen regnestykker på hvor mye det vil koste en gjennomsnittlig bruker å bruke DVB-RCS som sin aksessteknologi, ut ifra bruksmønsteret skissert i tabell 10.2, 10.3, 10.4 og 10.5, samt de økonomiske betraktningene i forrige kapittel. Der kom vi fram til at en satellitt-transponder må prise hver megabyte til 28 øre for å få regnskapet til å gå i null. En prismodell med 50 øre per megabyte ble vurdert skjønsmessig til en mer reell pris, ettersom prisen 28 øre per megabyte kun tok høyde for transmisjonskostnadene og ikke andre utgifter. Begge disse tallene forutsetter en fullstendig volumbasert prismodell, uten andre inntekter (reklame, annonse, månedsavgift osv.) enn brukernes abonnement.

10.2.1 Scenario 1 - hjemmebruker; hverdag – kveld/natt:

I dette tilfellet er det gjennomsnittlige kapasitetsbehovet for én bruker, midlet over 16 timer aktivitet per døgn, 5054 kbps. Dette innebærer all bruk av multimedia betraktet i tabell 10.2 og 10.3. Da TV fortsatt er en teknologi som har en særegen rolle i satellittnettverk og vil kunne kringkastes kontinuerlig og uavhengig, tross i at tjenestenes transmisjonsteknologi konvergerer, kan det være nyttig å se på den totale datamengden brukerne krever både med og uten TV-signal.

Uten TV:

→ 54 kbps *nedlink* midlet over 960 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver hverdag, med bruksmønsteret skissert i tabell 2:

$$54 \text{ kbps} * 960 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 3\,110\,400 \text{ kbit} = 388\,800 \text{ kbyte} = \underline{388.88 \text{ Mbyte}}$$

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 108.864 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 194.4 NOK

← 23 kbps *opplink* midlet over 960 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver hverdag, med bruksmønsteret skissert i tabell 2:

$$23 \text{ kbps} * 960 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 1\,324\,800 \text{ kbit} = 165\,600 \text{ kbyte} = \underline{165.6 \text{ Mbyte}}$$

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 46.368 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 82.8 NOK

↔ Total kostnad *opplink og nedlink*

Med en pris på 28 øre per MB får vi en total daglig kostnad på 155.232 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en total daglig kostnad på 277.2 NOK

Klarer man å presse kostnadene ned til 10 øre per megabyte, vil man ut ifra disse scenariene få en daglig kostnad på 55 NOK, eller en månedlig kostnad på cirka 1700 NOK.

Med TV:

→ 5054 kbps midlet over 960 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver hverdag, med bruksmønsteret skissert i tabell 3 (individuell TV):

$$5054 \text{ kbps} * 960 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 291\,110\,400 \text{ kbit} = 36\,388\,800 \text{ kbyte} = \underline{36388.8 \text{ Mbyte}}$$

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 10188.87 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 18194.4 NOK

Ved mottak av TV-signaler, er det ingen opplink fra sluttbruker. I dette regnestykket kommer det fram at brukeren betaler for hele TV-signalet alene. Modellen tar utgangspunkt i TV som en konvergent punkt-til-punkt tjeneste. I anskuelig fremtid antas det fortsatt at TV vil være en delt tjeneste, der flere brukere benytter seg av tjenesten samtidig. Dette gjør at slike tjenester lønner seg i kringkastingsnettverk (radio), der man kan fordele kostnaden på antallet brukere.

10.2.2 Scenario 2 - hjemmebruker; helger og ferie – dag/kveld/natt:

I dette tilfellet er det gjennomsnittlige kapasitetsbehovet for én bruker, midlet over 16 timer aktivitet per døgn, 5065 kbps. Dette er da for all multimediebruk totalt.

Uten TV:

→ 65 kbps *nedlink* midlet over 1440 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver helge- og feriedag, med bruksmønsteret skissert i tabell 3:

$$65 \text{ kbps} * 1440 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 5\,616\,000 \text{ kbit} = 702\,000 \text{ kbyte} = \underline{702 \text{ Mbyte}}$$

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 196.56 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 351 NOK

← 32 kbps *opplink* midlet over 1440 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver helge- og feriedag, med bruksmønsteret skissert i tabell 3:

$$32 \text{ kbps} * 1440 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 2\,764\,800 \text{ kbit} = 345\,600 \text{ kbyte} = \underline{345.6 \text{ Mbyte}}$$

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 96.768 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 172.8 NOK

↔ Total kostnad *opplink og nedlink*

Med en pris på 28 øre per MB får vi en total daglig kostnad på 293.328 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en total daglig kostnad på 523.8 NOK

Med TV:

→ 5065 kbps midlet over 1440 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver helge- og feriedag, med bruksmønsteret skissert i tabell 3:

$$5065 \text{ kbps} * 1440 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 43\,761\,600 \text{ kbit} = 54\,702\,000 \text{ kbyte} = \underline{54\,702 \text{ Mbyte}}$$

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 15316.56 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 27351 NOK

Ved mottak av TV-signaler, er det ingen opplink fra sluttbruker

For begge scenariene er det regnet ut kostnader for både opplink og nedlink. Dette er proporsjonalt med kostnadene for en operatør. I en reell volumbasert prismodell vil brukeren ikke belastes for opplink, men operatøren er likevel nødt til å ta ut disse kostnadene på

forbrukerne. Derfor er det viktig å anse disse kostnadene ut fra disse scenariene som et bilde på operatørens kostnader med de enkelte brukernes forbruk. Den endelige prismodellen en operatør kan velge å bruke betraktes nærmere i kapittel 11.

10.3 Drøfting av scenariene som ble brukt

Som man ser av disse betraktningene og regnestykkene, gir en slik scenariebruk til dels uventede resultater og relativt høy dagprising (523 kroner per dag er mer enn hva markedet er villig til å betale per dag).

Årsaken til dette er at i dette scenariet er all multimediebruk tatt med i regnskapet. Dette inkluderer fasttelefon, TV, video, radio og CD/MD/kassett. Med andre ord har jeg ved å bruke dette scenariet forutsatt at alle disse, til nå segregerte, tjenestene leveres over samme aksessteknologi i fullstendig konvergens. Som henvist tidligere ser man tendenser til at teknologier konvergerer og at alt blir digitalisert. Følgelig kan man aksessere alle tjenestene gjennom enhver teknologi som leverer data med tilstrekkelig kapasitet. Men dette betyr dermed ikke at det er slik bruksmønsteret kommer til å bli, ei heller at alle dagens forskjellige tjenesteplattformer som radio, TV, CD/MD-spillere osv. smelter sammen til én plattform som gjør alt annet overflødig. Antakeligvis vil det ta lang tid før noen av de gamle mediene fases ut og kanskje vil noen av dem overleve parallelt med det som her er skissert, nemlig én datakanal som fullstendig dekker brukernes totalbehov for multimedietjenester. Dette betyr at man, for å danne seg et mer reelt bilde, i regnskapene over må skille ut teknologier som går på forskjellige plattformer og aksesseres på andre metoder enn gjennom ren datanedlasting, og som forventes å gjøre det en stund fremover i tid. I tillegg kan man nedskalere kapasitetsbehovet for tjenester som også vil aksesseres på andre måter.

Følgende mønster og betraktninger er viktig å ta hensyn til for å få perspektiv på tallene over:

- Det er ingen indikasjoner på at befolkningen vil slutte å handle musikk i butikker eller bruke CD/MD-spiller, selv om Internett og data vil ta en del av dette markedet. Derfor vil det være feil å anta at prisene ovenfor vil gi et bilde av reell kapasitetsbruk i et DVB-RCS system, da ikke alle multimedietjenester vil gå gjennom dette.
- Befolkningen vil antakeligvis i lang tid fremover bruke et annet medium for å se på TV enn gjennom sanntid datastrømmer fra Internett og PC. Det er fortsatt langt igjen før TV over IP er en fullstendig utviklet teknologi, og at datanettverkene vil kunne klare en slik belastning. I tillegg er det antatt over at TV aksesseres som punkt-til-punkt tjeneste. Da TV er en meget kapasitetskrevenne tjeneste, vil dette aldri lønne seg og derav antakeligvis aldri bli måten det aksesseres på. I dag kreves det minst 5 Mbps per bruker som ønsker å se på TV med god kvalitet gjennom datakanal, og dette multipliseres over antall simultane brukere ved punkt-til-punkt kommunikasjon.
- TV og radio-signaler, i motsetning til andre multimedietjenester, er av slik natur at de bør kringkastes. Med dette menes at man med sikkerhet vet at det er mange simultane brukere og at tjenestene er døgkontinuerlige. Spesielt for TV gjør den store båndbredden seg gjeldende, men også radio lar seg vanskelig sende som vanlige TCP-sesjoner til alle seere/lyttere, dersom alle ønsker å lytte/se kontinuerlig døgnet rundt. Dette fordi det foreløpig ikke finnes gode nok multikast protokoller som skalerer. Så lenge antallet brukere holder seg lavt, vil dette dog være en mulig måte å aksessere disse multimedietjenestene på, men det vil ikke gi noen betydelige besparelser økonomisk da kapasiteten ikke deles.

- Dersom det er noen tjenester som for sikkert har mange simultane brukere i et satellittnettverk, så vil kostnaden kunne fordeles på alle brukere dersom det kringkastes. Dette betyr at regnestykket ovenfor, der TV-signalet er tatt med i den totale kapasiteten til sluttbruker, er ugyldig slik det står, fordi det der antas at hver bruker betaler for et helt TV-signal. TV-signaler må skilles fra andre tjenester og prises utenom, fordelt på antallet simultane brukere. Spesielt i satellittnettverk, der man har god kringkastingsmuligheter til mange brukere, vil ikke TV-signaler som ren volumpriset data være konkurransedyktig. Dersom dette ikke gjøres, vil prismodellen økonomisk favorisere TV-programmer etter antallet brukere, og gjøre TV-programmer med én enkelt bruker for dyre, slik som i regnskapet ovenfor.

10.4 Kostnadsbetraktninger med nedjustert kapasitetsbehov

Som en følge av betraktningene drøftet over må man, dersom man ønsker å finne kostnaden for sluttbruker, nedjustere kapasitetsbehovet skissert i Tabell 10.4 og 10.5. Som nevnt i forrige avsnitt, vil brukere fortsatt benytte andre aksessmetoder for en del av multimedietjenestene. Slik Neras siste DVB-RCS terminal er, kan systemet utelukkende brukes til dataaksess. De neste versjonene er dog tiltenkt å kunne behandle TV-signaler parallelt med datastrømmer. Det er viktig å notere seg at dette fortsatt vil være to forskjellige tjenester, levert separat, men gjennom samme type transportkodeks. Dette er en av årsakene til at man også ønsker å bruke MPEG-strømmer for data, fordi det er slik det allerede etablerte digitale TV-signalet kringkastes (DVB-S). Dette reduserer kostnaden i bruker-enden, ved at man kan bruke eksisterende utstyr og skaper interoperable teknologier. Derfor må vi skille ut TV og Telefoni fra den totale kapasiteten i tabell 10.4 og 10.5, samt nedjustere audio- og videobebehovet gjennom rene data-aksessteknologier. CD og videobutikker vil fortsatt ta en stor del av dette tjenestebehovet. La oss anta følgende bruksmønster for *PC-basert multimediebruk* i dagens Norge:

- TV og telefoni er skilt ut fra rene datastrømmer. Antakelsen er at disse multimedieene fortsatt aksesseres gjennom andre teknologier som kabel, kringkastingsradio/satellitt og kobber.
- I EMBRACE-scenariet kommer det frem at en bruker benytter seg av web og e-post i 60 og 70 minutter for henholdsvis hverdag og helg. I tillegg antas en gjennomsnittsnedlinkhastighet på 200 kbps. Dette gir en cirka mail/web nedlasting på cirka 100 megabyte per dag, hvilket antas å være et for stort anslag. Grunnen til dette er at det i dette scenariet ikke går fram at web og epost er en tjeneste som leveres i bursts. Fordi man ikke laster ned verken epost eller websider kontinuerlig gjennom alle 60/70 minuttene man benytter seg av det, vil dette være en gal betraktning. Vanligvis får man eposten ned i innboksen sin, og bruker mesteparten av tiden på å lese den. I denne tiden går det ingen trafikk i nettet. Jeg ta utgangspunkt i at 10% av tiden man sitter med sin epost-klient, faktisk brukes til trafikk.
- 70% av audiobebehovet er lytting på radio/CD/MD på tradisjonell måte. Det betyr for eksempel at kun 30% av 100 minutter i tabell 2 er audionedlastinger gjennom PC. Dette kan være MP3-nedlastinger eller radiolytting.
- 90% av videobebehovet dekkes på tradisjonell måte, gjennom videoleie, som gir at 10% av 50 minutter i tabell 10.2 er videonedlastinger gjennom PC. Dette kan være kortere videosnutter, eller nedlasting av DivX-filmer. Multikasting benyttes ikke.
- Brukeren betaler kun for nedlink.
- Resten er som skissert i Tabell 10.2.

Så da sitter vi igjen med følgende kapasitetsbehov:

Scenario 1:

Tjenester	Forbruk over 960 min (min)	Gj.sn nedlink kapasitet (kbps)	Gj.sn nedlink over 960 min (kbps)
Web/e-post	6	200	1.25
Audio streaming	30	40	1.25
Video streaming	5	512	2.7
Sanntids video Videokonferanse	10	512	5.3
Dataoverføring	10	512	5.3
Utsendelse	10	16	0.2
Total kapasitet			16

Tabell 10.6: Antatt bruksmønster for internettbasert multimedia i hjemmemarkedet; hverdager

Dette gir følgende kostnad for sluttbruker på én hverdag:

→ 16 kbps *nedlink* midlet over 960 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver hverdag, med bruksmønsteret skissert i tabell 2:

$$16 \text{ kbps} * 960 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 921\,600 \text{ kbit} = 115\,200 \text{ kbyte} = \underline{115.2 \text{ Mbyte}}$$

Dette er et behov som ligger under det NextGenTel oppgir som snitt for sine kunder.

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 32.26 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 57.6 NOK

Med en pris på 10 øre per MB får vi en daglig kostnad på 11.5 NOK

Scenario 2:

Tjenester	Forbruk over 1440 min (min)	Gj.sn nedlink kapasitet (kbps)	Gj.sn nedlink over 1440 min (kbps)
Web/e-post	7	200	0.97
Audio streaming	34.5	40	0.96
Video streaming	10	512	3.6
Sanntids video Videokonferanse	10	512	5.3
Dataoverføring	30	512	15.9
Utsendelse	30	16	0.6
Total kapasitet			27.33

Tabell 10.7: Antatt bruksmønster for internettbasert multimedia i hjemmemarkedet; helger og ferie

Dette gir følgende kostnad for sluttbruker for én helge/feriedag:

→ 27.33 kbps *nedlink* midlet over 1440 minutter

Følgende regnestykke viser det totale antallet bytes en bruker behøver hver helge- og feriedag, med bruksmønsteret skissert i tabell 3:

$$27.33 \text{ kbps} * 1440 \text{ min} * 60 \text{ sek/min} = 2\,361\,312 \text{ kbit} = 295\,164 \text{ kbyte} = \underline{295.164 \text{ Mbyte}}$$

Med en pris på 28 øre per MB får vi en daglig kostnad på 82.64 NOK

Med en pris på 50 øre per MB får vi en daglig kostnad på 147.58 NOK

Med en pris på 10 øre per MB får vi en daglig kostnad på 29.51 NOK

Disse kostnadsbetraktningene vil i neste avsnitt brukes for å gjøre noen overslag over hvilket prisnivå et kommersielt DVB-RCS system bør legge seg på.

10.5 Hvilke konklusjoner kan trekkes?

I tabell 10.8 ser vi hvor mye kostnader én bruker kan regne med på dagsbasis og månedsbasis, ut ifra det skjønnsmessig justerte brukerscenariet fra kapittel 10.4 og med 50 øre per MB.

Dersom den gjennomsnittlige bruker benytter seg av de nevnte tjenestene i samsvar med dette scenariet vil det, dersom man tar utgangspunkt i en ren volumbasert prismodell med 50 øre per megabyte, koste i snitt cirka 85 NOK per dag.

	All multimedia				Nedjustert	
	<i>Med TV</i>		<i>Uten TV</i>		<i>Uten TV</i>	
	Datamengde	Pris (NOK)	Datamengde	Pris (NOK)	Datamengde	Pris (NOK)
Scenario 1 (hverdag)	36,4 GB	18194,4	389 MB	194,4	115,2 MB	57,6
Scenario 2 (helg)	54,7 GB	27351	702 MB	351	295,16 MB	147,58
Snittpris per dag		22772,7		272,7		83,30
Månedspris (31 dager)		705953,7		8453,7		2582,3

Tabell 10.8: Kostnadsprofil på bakgrunn av justert brukerscenario

Dette ser man at er rimelig mye mer enn 349 NOK/måned, som Telenor tar for sitt ADSL-abonnement. På den annen side er denne ADSL-prisen knyttet til en hastighet på godt under 1 Mbps. Som nevnt tidligere er det primært på to områder man kan konkurrere om kunder i bredbåndsmarkedet; det ene er på pris, og det andre er på hastighet. Dersom dette scenariet er en god representasjon på hvordan bruksmønsteret vil komme til å bli i nærmeste fremtid, kommer det klart frem at det ikke kan bli aktuelt å levere en DVB-RCS-tjeneste som kan konkurrere med det nevnte ADSL-abonnementet. På den annen side er det muligheter for å tilby brukerne høyere hastigheter, og derav sette en helt annen pris for det.

NextGenTel har et ADSL-abonnement som lover 4 Mbps til sluttbrukere, og priser som nevnt dette til 1898 NOK per måned. Dersom for eksempel Telenor skulle ønske å kommersialisere en DVB-RCS-tjeneste, kommer det fram av overnevnte resonnement at det antakeligvis er heldig å satse på en tjeneste med høyere kapasitet, og derav høyere pris. Dette fordi kostnaden for operatøren i dette tilfellet ligger i nedlastningsmengde, ikke hastighet.

Man kan på den annen side også se at for at DVB-RCS skal kunne konkurrere med dagens mellombåndsløsninger på pris, vil man måtte presse kostnaden nærmere 10 øre per MB. Dette ville resultere i en månedskostnad for sluttbruker på 516 NOK ut ifra scenariet i tabell 10.8.

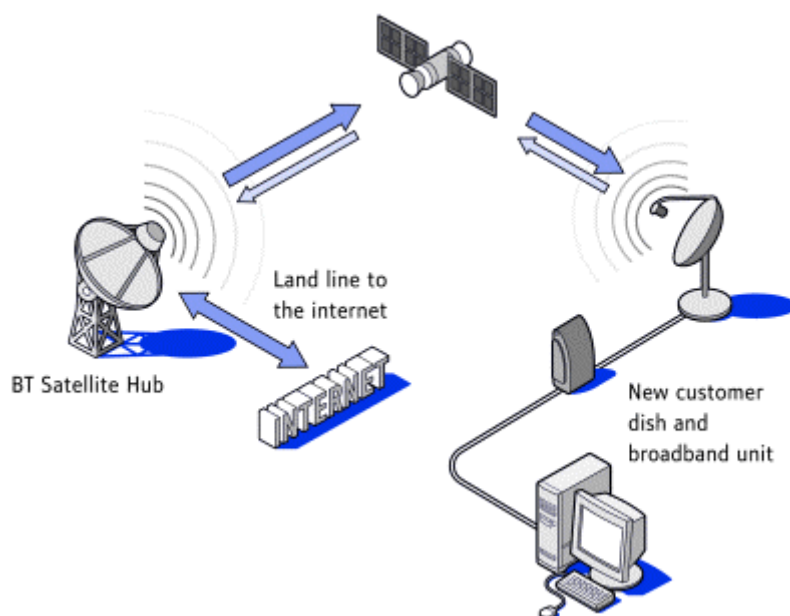
I neste kapittel vil jeg gå nærmere inn på hvordan en faktisk prismodell kan bli seende ut, med hensyn til inntjeningskrav hos operatør, konkurransedyktighet i et prispresset marked og med høyde for eventuell fremtidig endring i bruksmønster.

Kapittel 11

Mulige prismodeller

Som nevnt tidligere, er det allerede lansert kommersielle satellittsystem med returkanal, for bredbåndsbruk. I Norge ble det lansert et system av Tiscali i august 2002. På kontinentet har det vært British Telecom (BT) som har vært lengst fremme. De lanserte også sitt tilbud i løpet av sensommeren. Ingen av dem oppgir hvilken teknologi de bruker, men de har begge Gilat Satellite Networks Ltd. som leverandør. Dette betyr antakeligvis at deres system er basert på VSAT-teknologi med DVB-S for nedlink, men med en proprietær returkanal. Som figur 11.1 viser, er systemene, sett fra brukeren, helt tilsvarende DVB-RCS systemet som analyseres i denne hovedoppgaven. Derfor kan det være interessant å se på disse systemenes prismodeller for å gjøre en vurdering av heldig prising for DVB-RCS.

Dette kapittelet vil først gå nærmere inn på hvilke prismodeller som er vanlige, og deretter bruke resultatene fra kapittel 10, for å komme fram til hva som kan være en gunstig modell for DVB-RCS.



Figur 11.1: BTs skisse over hjemmesystem for toveis bredbånd over satellitt

11.1 Etablerte prismodeller for internettaksess

Det har i hovedsak tidligere vært tre vanlige prismodeller for prising av Internett, men det har den siste tiden vokst fram kombinasjoner av disse som utgjør en fjerde løsning. Denne sistnevnte løsningen er et resultat av endringer i bruksmønster i takt med større båndbredde til brukerne. En operatørs kostnader er ofte proporsjonal med volumet som sendes over transportnettet, og dette vil være fundamentalt for positivt regnskap for operatøren totalt sett. Dette innebærer at dersom datamengden som forbrukes overgår det som var tatt høyde for i utgangspunktet, vil man måtte gjøre visse justeringer. Spesielt gjelder dette fastpris avtaler. De fire prismodellene er som følger [8 - PriceWaterhouseCoopers, 2001]:

- *Bruksuavhengig prising* (fast pris) betyr at abonnenten betaler en fast sum per måned uavhengig av bruk. Verken tidsbruk eller volum/mengde prises. Dette er det som er vanlig i ADSL-markedet i Norge per høsten 2002.
- *Tidsbasert prising* innebærer at abonnenten betaler etter hvor mye tid han/hun bruker tilkoplek til nettet, vanligvis målt i minutter. I tillegg tas det ofte en oppkoplingssum for hver gang det logges på nettverket, for å stimulere til lengre sesjoner. Dette er den vanligste modellen i dag, og er den som har vært vanlig for modem, ISDN og mobiltelefon.
- *Volumbasert prising* medfører at abonnenten betaler etter hvor mye han/hun laster ned, vanligvis målt per megabyte. Det betales ikke for hvor lang tid denne nedlastingen tar. GPRS i Norge har brukt en slik prismodell.
- *Kombinert prising* er en kombinasjon av de ovenstående modellene, for eksempel som Telenors nye ADSL prismodell som tiltrer ved årsskiftet 2002/2003. I dette tilfellet betaler abonnenten en *fastpris* for sin aksess, men det settes et *volumbasert* tak på månedsbasis (for eksempel 1GB). Etter at dette taket eventuelt er nådd, vil en ny prismodell tiltre, enten *volumbasert* prising der man betaler en avtalt sum for påfølgende datamengder (for eksempel 90 NOK per påfølgende GB) eller at hastigheten settes ned til smalbåndhastighet som ISDN uten prising. I noen tilfeller har det vært vanlig å sette et tak på antall timer man kan være pålogget på månedsbasis, og deretter ha en ny modell for prising dersom denne grensen overskytes.

11.2 Fordeler og ulemper ved de enkelte prismodellene

For å kunne gjøre en vurdering av hva slags modell som antas å ville gi DVB-RCS et best mulig nedslag i det norske markedet og skalere for operatørene, er det nødvendig å gå nærmere inn på fordeler og ulemper ved de enkelte modellene.

I enhver prismodell er det viktig, for å få et rettferdig system, at det til enhver tid er den som utløser handlingen som betaler for transmisjonen. Dette er viktig å ta til betraktning i et nettverk der trenden går mot et mer og mer symmetrisk trafikkmønster. Hvem skal betale for det som sendes ut (opplink)? Hvem skal betale for pop-up reklame som følger noen websider? For operatøren vil det være en kostnad uansett hvem som utløser handlingen, så sant det går trafikk i nettverket, og dette må de få tjent inn på en eller annen måte.

11.2.1 Bruksuavhengig prising/fastpris

Som beskrevet i [8 - PriceWaterhouseCoopers, 2001], viser tidligere erfaringer at både mengdebruken og tidsbruk øker som følge av overgang til bruksuavhengig prising. Det virker som brukerne trives med en modell der man ikke trenger bekymre seg for hvordan

månedsfakturaen blir sendt ut, og det ser ut til at dette er en god prismodell, spesielt for brukerne. Det virker som at dette er et alternativ som brukerne velger tross i at ikke alle kommer økonomisk bedre ut av det enn om de hadde benyttet andre prismodeller.

Det som er viktig å ta hensyn til i betraktningen er hvordan bruksmønsteret eventuelt endrer seg. Spesielt gjør dette seg gjeldende i land som Norge, der den minuttbaserte internettaksessen allerede er meget lav. Brukerne har vendt seg til denne prismodellen og den summen det medfører på månedsbasis. Og til nå virker det som om det er hastighetsbegrensningen som har begrenset brukernes daglige og månedlige dataforbruk. Dette setter press på at nye bruksuavhengige prismodeller er nødt til å være lave, for å kunne konkurrere mot det som er gjengs oppfatning av månedlig kostnad for internettaksess.

Problemet er imidlertid at prisen ikke lar seg oppjustere like raskt som bruken. Ettersom bruken øker, vil inntjeningen til leverandør per bruker reduseres helt til abonnementet selges med tap, for som nevnt tidligere er leverandørens kostnader i paritet med mengden data som sendes over nettverket. Dette betyr at når man i et marked med sterk konkurranse setter en fastpris ved lansering av en tjeneste, er det vanskelig å senere øke den, og samtidig beholde alle kunder. Konkurranse vil alltid forsøke å gjøre tjenestene billigere, og dermed er det ikke store rom for oppjustering av priser dersom markedet allerede har ”stabilisert” seg på et for lavt prisnivå i forhold til bruken.

Med andre ord virker det som om fastpris er gunstig for storbrukerne, og stimulerer til økt Internettbruk i samfunnet [8 - PriceWaterhouseCoopers, 2001], men at det er en uheldig situasjon på lang sikt for leverandøren, fordi man ser klare tendenser til at forbrukt datamengde øker i takt med bredere bånd og fastpris.

11.2.2 Tidsbasert prising

Som nevnt tidligere er brukerne segmentert i forskjellige grupper, alt fra de tunge brukerne som laster ned mye musikk og film til de som utelukkende bruker Internett til enkelttjenester som nettbank, e-post eller litt surfing. For førstnevnte gruppe vil nok en bruksuavhengig prising være gunstig, men for den siste gruppen vil det ikke det, fordi man da betaler en fastpris godt over kostnadene man eventuelt ville hatt med en tidsbasert prismodell.

Tradisjonelt i Norge, er tidsbasert prising knyttet til ISDN og analoge modem, mens teknologier med større kapasitet bruker andre modeller. I tillegg har minuttprisen i Norge blitt meget lav. Med ned til under 10 øre per minutt er Norge en av de aller billigste landene i verden på minuttbasert internettaksess. Dette setter normen for markedets forventning av månedlige kostnader, og vil igjen styre markedets forventninger til en eventuell tidsbasert prising på nye teknologier som ADSL og bredbånd. Dette betyr at det kan være vanskelig for en leverandør å øke minuttkostnaden, og dermed månedsprisen, tilstrekkelig til å gjøre dyrere aksessteknikker lønnsomme.

Siden det i Norge er en sterk parallell mellom tidsprising og båndbredde vil denne prismodellen antakeligvis tape terreng blant brukere som ønsker raskere internettaksess. Det antas at markedet har lettere for å svelge nye prismodeller enn å få en raskere tjeneste, med dyrere minuttpris. Dette er en penetrasjonsterskel som må tas hensyn til når man vurderer en mulig prismodell.

11.2.3 Volumbasert prising

Volumbasert prising har den ulempen for leverandørene at man er nødt til å ha et verktøy for å kunne monitorere volumet den enkelte bruker benytter seg av. På den annen side er en slik prismodell den intuitivt mest rettferdige for alle parter. Kundene betaler for det de får, operatørene tar betalt for det de leverer. Tjenesten leverer data, og prisen måles derfor gjerne i megabyte.

GPRS-tjenesten til Telenor bruker en slik prismodell, det samme har den velkjente japanske mobile Internett-suksessen i-mode til DoCoMo.

En annen følge av en slik modell, kan være at den ikke stimulerer til økt bruk av Internett, fordi man må betale mer for å bruke tjenesten mer. Man ser at det er storbrukerne og nye tjenester som driver Internettbruken videre [8 - PriceWaterhouseCoopers, 2001], og det virker som om det er en sammenheng mellom nye tjenester, større datamengder og høyere kapasitetsbehov og dermed økt bruk. Fra et nasjonalt perspektiv, der man ønsker økt bruk, flere tjenester og større verdiskapning, vil dette antakeligvis ikke være en ideell modell.

11.2.4 Kombinert prising

De fleste kombinasjonsløsninger er underarter av de foregående modellene, men med visse modifikasjoner. Som oftest er dette modifikasjoner leverandøren gjør for å forsikre seg mot at fremtidige endringer i bruksmønsteret skal gi negative økonomiske effekter. Slikt sett kan dette ofte gi en mindre heldig modell for storbrukere som ønsker ubegrenset internettaksess til en rimelig fast pris. Men det er gunstig for leverandøren å kunne lansere en ny type prismodell som kan ta steget vekk fra den meget billige minuttprisen på smalbåndteknologier og fastprisen på mellombåndsløsninger. Slik kan man sette nye standarder for hva samfunnsnormen skal være for internettaksess, ettersom det i Norge er klare trekk for sammenhengen mellom prismodell og teknologi.

Som nevnt er det viktig for en ny teknologi å lansere en prismodell som ikke setter det økonomiske regnskapet i minus dersom for eksempel bruksmønsteret skulle endre seg. Kombinert prising, kan være mer forutseende enn de ovennevnte modellene.

La oss se på to sammenliknbare prismodeller for interaktive satellittsystem, og deretter forsøke å gjøre en vurdering for hva som kan være en gunstig modell for et kommersielt DVB-RCS system.

11.3 Tiscali

Tiscali, en av Europas største Internettleverandører, lanserte i juni 2002 en toveis satellitt løsning som et alternativ til ADSL. De tilbyr gjennom sin løsning en nedlink bitrate på 400kbps avhengig av belastningen og opplink på 100 kbps. Dette tilbudet gir fast oppkopling mot Internett, og bruker følgende prismodell på sine to løsninger [33 - Tiscali]:

- Tiscali Single
 - Utstyr og installasjon: NOK 14 990
 - Abonnement (24 måneders abonnement): NOK 2490/mnd
- Tiscali Multi
 - Utstyr og installasjon: NOK 19 990
 - Abonnement (24 måneders abonnement): NOK 3950/mnd

Den eneste forskjellen mellom de to tilbudene er at Tiscali Multi tillater at det koples opptil fire PC'er på inne-enheten, mens det til Tiscali Single kun kan koples én PC.

Prisene inkluderer følgende for begge produkter:

Parabol, vegg eller takfeste, 30 meter kabling og satellitt-modem. Installasjonsprisen inkluderer en times reisevei til og fra installasjonssted samt softwareinstallasjon og testoppkobling mot Internett.

Følgende inkluderes i tjenesten: 10 epostadresser (tiscali.no), 20 MB hjemmesideplass

11.4 British Telecom

British Telecom (BT) har også to tilbud til sine kunder; Business Satellite 500/1 and Business Satellite 500/4. Førstnevnte er for tilkøpling av én PC, mens sistnevnte er kompatibel for opptil fire PC'er. Begge er VSAT-baserte og bruker Eurobird på 28.5 grader øst som satellittkanal. BT sitt tilbud er billigere enn Tiscali sitt, de bruker følgende prising (*prisene er regnet om med valutakurser av 28. oktober 2002*) [34 – British Telecom]:

- Business Satellite 500/1
 - Utstyr: NOK 7593
 - Installasjon: NOK 2925
 - Abonnement (12 måneders abonnement): NOK 702/mnd
- Business Satellite 500/4
 - Utstyr: NOK 12753
 - Installasjon: NOK 2925
 - Abonnement (12 måneders abonnement): NOK 1287/mnd

Alle BTs priser er uten VAT (merverdiavgift). Det påpekes at BTs tilbud også primært virker å være ment for mindre og mellomstore firmaer.

BT lover følgende hastigheter gjennom sine satellittsystemer:

Produkt	Maksimal hastighet (ned/opp) i kbps	Typisk hastighet (ned/opp) i kbps
Business 500/1	500/120	200/70
Business 500/4	500/120	300/70

Tabell 11.1: Hastighetsprofil på BTs satellittløsning, oktober 2002

Som vi ser av disse tallene er selve tilbudet rimelig begrenset, ettersom kapasitetene som tilbys ikke er hva jeg definerer som bredbånd. I tillegg er spesielt Tiscalis prismodell godt over det nordmenn betaler for ADSL.

En typisk forventet hastighet på 200 kbps i nedlink er ikke veldig mye raskere (1,5 ganger) enn dobbel ISDN, mens 500 kbps i nedlink cirka er 10 ganger raskere enn vanlig ISDN. Dog

ligger det en forskjell i at brukeren med et slikt satellittsystem som Tiscali og BT tilbyr, alltid vil være pålogget. Til gjengjeld virker det også som om BT sammenlikner sitt satellittsystem med ISDN og ikke mot ADSL eller raskere aksessteknologier. De har gjort en prissammenlikning av satellittsystemet mot ISDN, og kommet fram til at det ligger en økonomisk gevinst i satellittsystemet, dersom man er pålogget mer enn 40 minutter per dag.

Begge operatører oppgir at systemet vil ha problemer med noen Internettjenester, som interaktive online spill, videokonferanse, voice over IP og liknende, på grunn av forsinkelsen som ligger i den lange gangavstanden til satellitt.

11.5 Viktige trender

En rekke bredbåndsleverandører i verden snakker stadig mer åpent om å endre prismodellene slik at kundene må betale for datamengdene de tar imot og sender. Årsaken er filutveksling – peer to peer trafikken øker voldsomt. [9 – Teleavisen, november 2002].

11.5.1 Hvor er det mest behov for bredbånd?

Dette med at BT sammenlikner sin satellittløsning med ISDN, har antakeligvis sammenheng med at BT ikke har satsset på ISDN tidligere. ISDN som en utbredt teknologi er, i europeisk sammenheng, i hovedsak et norsk og tysk fenomen [Agne Nordbotten – muntlig meddelelse], som et slags 2G etter at brukerne ble knyttet til Internett med modem (1G). Dette er kanskje også noe av årsaken til at veldig mange land i Europa satser tungt på bredbåndsutbygging, ettersom det eneste alternativet for mange av deres brukere er internettaksess gjennom modem (56 kbps). I Norge kan det være at behovet for bredbånd ikke er så kritisk, ettersom alle allerede er tilgjengelig på ISDN (128 kbps).

Derfor er det kanskje naturlig at både utrulling og penetrasjonen av bredbånd i Norge vil ta litt lenger tid enn i andre land, som for eksempel Sverige. Det er helt klart at behovet kommer, og at bruksmønsteret går mot større og større kapasitet, men da de aller flestes Internettbehov i dag fint kan dekkes med hastigheter som tilbys gjennom ISDN, vil det kritiske behovet og den massive utrulling, som vi kan se i noen andre land, antakeligvis la vente på seg i Norge. Det vi likevel snakker om, er fordelene for brukerne med å gå til bredere bånd og at dette er teknologi som man bør tilby flest mulig brukere i et land.

11.5.2 Storbrukere og flaskehals

En mindre del av brukerne synes å dominere trafikkbildet. De utnytter på en måte fastprissystemet, og det viser seg at flaskehalsene i nettet skapes av et fåtall personer som sender fra seg enorme mengder data. Paul Hansen i bredbåndsselskapet Aliant/Innovatia i Canada presenterte på et bredbåndsseminar høsten 2002, et reelt scenario der de hadde overvåket trafikken i nettene sine og kommet fram til at det var noen storbrukere av fildelingstjenesten Kazaa som mettet nettet [9 – Teleavisen, november 2002].

I en rapport fra nettverksfirmaet Sandvine kommer det fram at trafikken som oppstår fra fildelingstjenestene Kazaa og Gnutella kan stå for opptil 60 prosent av all trafikk på nettet, til tross for at det av denne undersøkelsen kom fram at det kun er 15-30 prosent av brukerne som benytter slike tjenester [15 – Telecom.no, september 2002]. 30 prosent er i og for seg ikke en

liten andel som står for 60 % av trafikken, men tendensen er klar, den går mot at færre og færre står for større og større deler av trafikken.

I løpet av dette seminaret kom det frem at nærmest ingen bredbåndoperatører har kalkulert med at det også er betydelig trafikk ut fra brukerne (opplink). Dette til tross for at man ser trenden av ett mer symmetrisk trafikkmønster. Det snakkes nå blant operatører å finne metoder for å nedprioritere peer to peer brukere, ved å eventuelt gi de lavere hastigheter. Andre diskuterer igjen hvorvidt den eksisterende fastprismodellen kanskje bør endres.

Telenor-direktør Stig Eide Sivertsen sa under kvartalspresentasjonen i høst at ” fast pris på ADSL er som å drive en bar med fast pris, noen drikker da enormt mye”. For å videreføre denne analogien er jo målet, også i et bredbåndsnett, å sørge for at det er nok til alle, og unngå at et mindretall tar kapasiteten fra majoriteten av brukerne.

11.5.3 Vil peer-to-peer tjenester tillates i fremtiden?

Med den nevnte bruken av peer-to-peer tjenester, ser man klare likhetstrekk med bredbånd som med utviklingen verden opplevde rundt mobiltelefonen. Brukerne benytter seg i økt grad av ”gratis” peer-to-peer tjenester og har blitt ”avhengige” av dette på samme måte som folk ble avhengige av mobiltelefon og SMS. Årsaken til dette sistnevnte mener mange har sammenheng med sterkt subsidierte telefoner og relativt billige priser, noe som stimulerte til at flere samfunnsklasser tok i bruk denne teknologien og forbruket nådde uante høyder.

Noe av årsaken til veksten i fildelingsnettverkene er antakeligvis at bredere bånd og raskere hastigheter åpner for denne muligheten. Den viktigste katalysatoren har nok vært den sterke og åpne konkurransen blant bredbåndsoperatørene, noe som har gitt gagnbare priser for allmuen. Dette er i tillegg til effekten av de lave prisene for hjemme-PC'er med meget raske prosessorer og store lagringsenheter.

Min antakelse er at slike fildelingstjenester er kommet for å bli, og det virker som om også operatørene belager seg på dette. Uansett hvordan myndigheter, operatører og åndsverkslover motsetter seg bruken av fildelingstjenester, har brukerne fått smaken av dette, og dette vil overleve i en eller annen form. Hvis fildelingstjenestene legges ned, vil det komme nye måter å dele musikk, filer og filmer på i fremtiden.

Et viktig tillegg, for operatørene, er at det nettopp er slike fildelingstjenester som for mange er et insentiv for å skaffe seg bredbånd. Teknologien er funnet opp og vil spres i markedet, så det vil for operatørene heller bli en kamp om markedsandeler for å overleve enn å kjempe imot typer forbruk som metter nettene. Det vil nok heller ikke være strategisk av operatørene å motsette seg slike tjenester, da de er avhengig av denne type storbrukere. Mest for å opprettholde en god profil i markedet, hvis meninger ofte styres av de som kan mest og da også er først ute med å benytte nye tjenester. Dette er da nettopp storbrukerne. Men også ser det ut til at det er storbrukerne som driver behovet, utviklingen og verdiskapningen i nettene, slik at operatørene kan tilby flere tjenester for allmuen og oppnå økt markedspenetrasjon.

Det som, dog, er viktig for en operatør er å sørge for at man ikke selger sine tjenester for billig. Så derfor er isteden det sentrale for operatørene å, punkt 1, ha en prismodell som skalerer i takt med forbruket, og punkt 2, ha et nettverk som klarer de trafikkmessige belastningene som dette medfører.

11.6 Skisse av mulig prismodell for DVB-RCS

For å finne en mulig skisse av en fremtidig prismodell i et interaktivt satellittnettverk, er det mange hensyn som må tas. Fra overordnet nivå er det viktig å kjenne til hvilket markedssegment denne satellitteknologien antakeligvis vil treffe, hvor mange brukere man tror man kan få og hva slags kostnader sluttbrukeren er villig til å ta. I dette delkapittelet vil jeg forsøke å oppsummere disse tingene.

11.6.1 Investering i infrastruktur vs. investering i kapasitet

Det som kan være det største fortrinnet til DVB-RCS framfor ADSL er kapasiteten som kan tilbys sluttbruker og dekningsgraden satellitten tilbyr.

ADSL har et øvre teoretisk tak på cirka 8 Mbps til den individuelle bruker, mens man i realiteten ikke vil klare å tilby hastigheter enn 6 Mbps. DVB-RCS i følge Nera vil kunne tilby opptil 50 Mbps momentant fordelt på flere brukere [22 – Digi.no]. Den faktiske nedlastingshastigheten til sluttbruker avhenger som nevnt av antallet simultane brukere og avsatt kapasitet. Men det er i teorien mulig for en sluttbruker å få en hastighet på 50 Mbps, dersom den benytter én hel transponderkapasitet. Operatøren kan i teorien velge å leie så mange transpondere det skulle være behov for (Operatøren vil tilby den totalkapasitet markedet krever). Denne kapasiteten deles mellom brukerne på tidsbasis, slik at den enkelte bruker kan få relativt høye momentane nedlastingshastigheter. Som vi så i kapittel 9.3.1, kan én transponder klare opptil 37 500 simultane brukere i kontinuerlig nedlasting (dersom de laster 216 MB per måned, jfr. scenariene i kapittel 10), mens antallet totale brukere er mye større, avhengig av kapasitetsdelingsalgoritmer. Normalt vil det settes en øvre grense for kapasiteten til enkeltbrukerne.

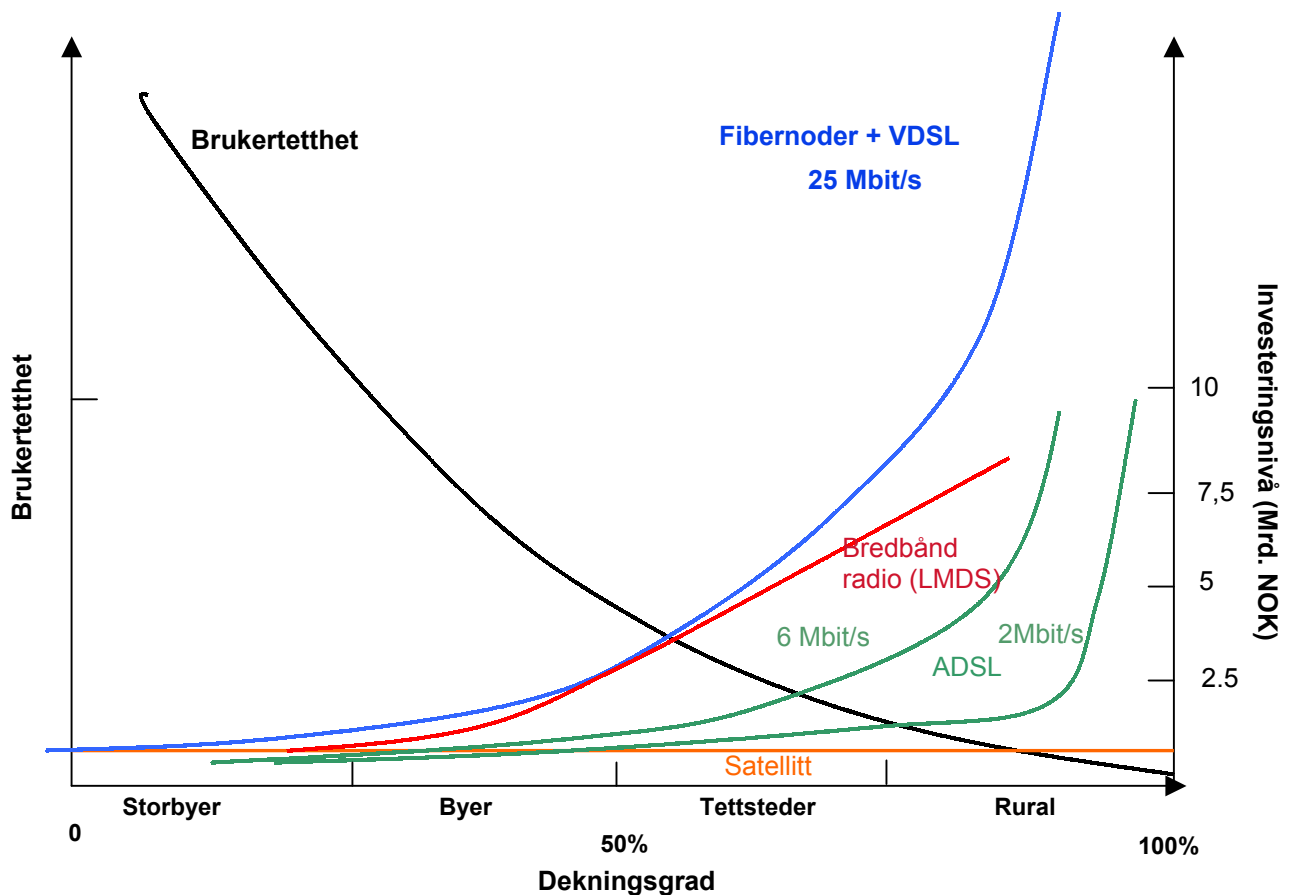
Dersom det settes av kapasiteter i størrelsesorden 10 Mbps til sluttbruker, konkurrerer DVB-RCS mot teknologier som VDSL og fiber. Som vist i figur 11.2 vil utrulling av bredbånd over stort geografisk spenn med DVB-RCS være mye billigere, ettersom satellitten av natur gir en nasjonal dekning (man estimerer cirka 95 % av befolkningen, når man tar hensyn til folk som bor i skygge for satellitten). I tillegg krever VDSL at sluttbrukeren bor innen 600 meters trådrekkevidde fra nærmeste node, noe som igjen krever massiv utbygging av infrastruktur for teleoperatører, og derav høye kostnader.

Man ser at desto lavere brukertetthet man opererer med, desto bedre kommer satellitten ut økonomisk. Den sentraliserte infrastrukturen, som ikke trenger ytterligere investeringer for å nå ut til større andeler av brukerne, er nettopp en av satellittens økonomiske fordeler. Dersom DVB-RCS tilbyr høyere hastighet til sluttbruker, og kan klare å konkurrere prismessig, vil dette satellittsystemet ha et sterkt konkurransefortrinn framfor ADSL-utbygging. For en operatør som har alternativet å kunne tilby bredbånd over satellitt, og som ønsker å tilby bredbånd til flest mulig innen et geografisk område, vil det rett og slett ikke lønne seg å satse på 100% utrulling av ADSL eller dyrere teknologier.

Det er billigere å investere i leie av flere transpondere, slik at man klarer å tjene nok brukere, enn å investere i DSL-teknologi til alle.

Fiber opererer med et kostnadsestimat på mellom 300 og 400 NOK per meter kabel som graves, og det sier seg at med den spredte befolkningen i Norge, vil dette også gi meget høye kostnader [11 – Høykom]. På den annen side er satellitten kapasitetsbegrenset, og kan ikke

tjene for mange brukere uten at ytterligere transponder-kapasitet allokeres. Når behovet er tilstede, har man muligheten for en forretningsplan som forsvaret anskaffelse av mer kapasitet.



Figur 11.2: Hvordan investeringsnivået til de enkelte bredbåndsteknologiene øker med økt dekningsgrad og forskjellig brukertetthet [35 - FWBA]

Så sant ikke trafikken øker så mye at det blir nødvendig å skyte opp flere transpondere, skulle det allerede være nok kapasitet i den geostasjonære bane, i tillegg til at det alltid vil komme nye satellitter. Spesielt er en eventuell DVB-RCS operatør heldig i disse tider, da det meste av tradisjonell trafikk gjennom satellitt digitaliseres, og frigjør kapasitet. Denne kapasiteten kan brukes til andre tjenester enn TV og Radio, som data og Internett. Nettopp fordi denne kapasiteten blir frigjort, vil kostnadene for en DVB-RCS operatør begrense seg til leie av transponderkapasitet, ikke kostnadene med å skyte opp en ny satellitt fordi trafikken øker. I tillegg er tendensen at kapasiteten blir billigere. Det hele dreier seg da om en investering i kapasitet, ikke investering i infrastrukturbygging.

Situasjonen er ideell nå i en oppstartsfasen, med frigjort billig kapasitet. Men med nye satellitter får man mulighet til å optimalisere satellitten for denne type bruk, noe som vil kunne presse prisene ytterligere. Dagens transpondere er som nevnt tilpasset behovet for overføring av analoge TV-signaler

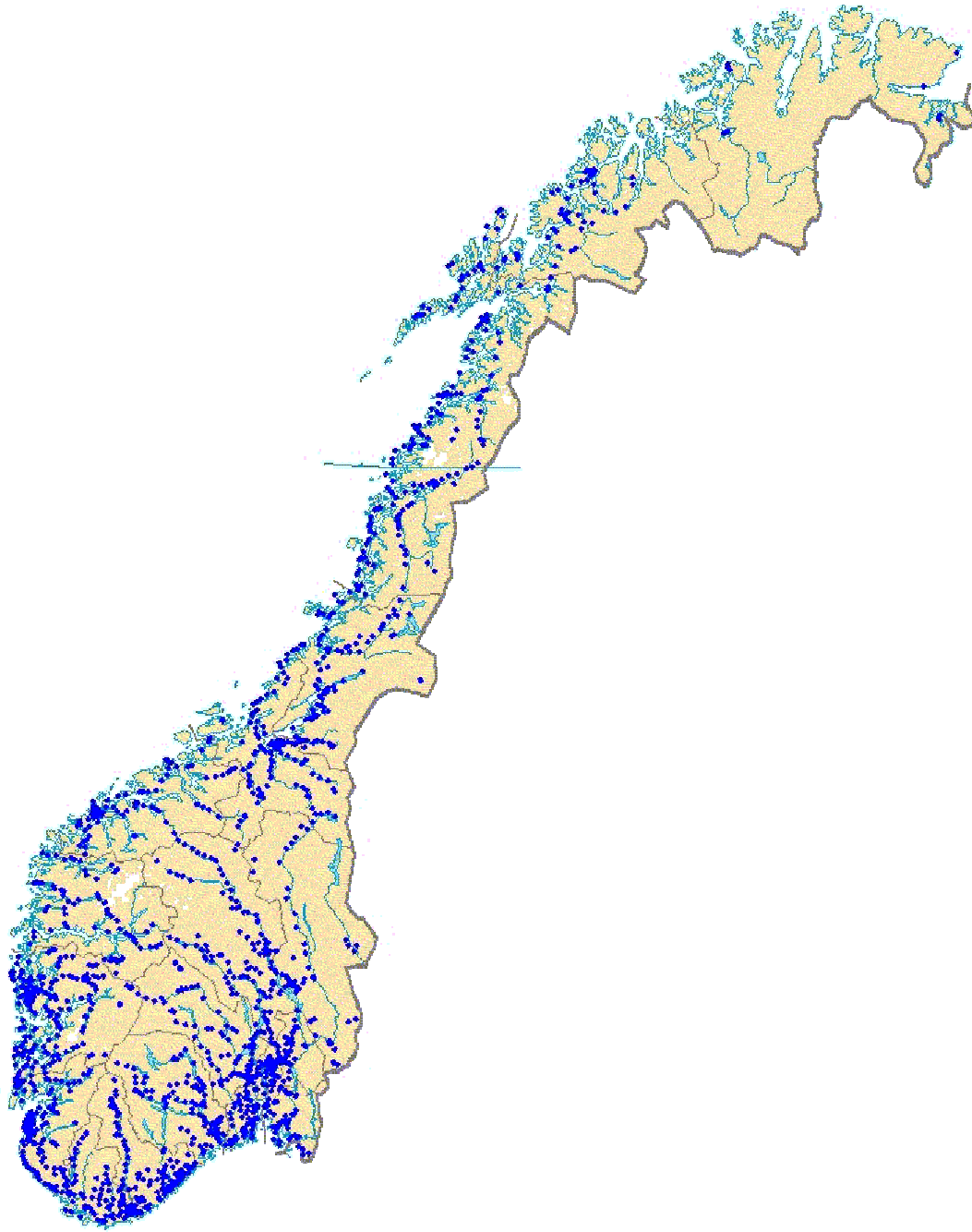
11.6.2 Hvilket markedssegment vil DVB-RCS antakeligvis treffe?

Som tidligere nevnt, vil antakeligvis ikke satellittsystemer kunne konkurrere på det lokale markedet i sentrale strøk. Til dette er brukertettheten for stor, og andre nettverksteknologier som ADSL og Radiobaserte løsninger, vil være billigere å rulle ut (figur 11.2). Men som skissert i Telenors HB@-prosjekt og statens Høykom-prosjekt, vil Internett over satellitt finne sin plass der andre nettverksteknologier ikke når fram. Typisk vil dette være i distriktene, og steder der befolkningstettheten er for lav til at det kan lønne seg med DSL-teknologier. Siden det totale antallet brukere jfr. regneeksempel i kapittel 9.3.1 med dagens løsninger begrenses til 405000, vil det være gunstig dersom disse er spredt over en stor del av satellittens nedslagsfelt. Dette betyr at satellittoperatører kan tilby en tjeneste på nasjonalt eller større regionalt nivå. Sett i sammenheng med antallet brukere vil satellitten ha et større konkurransemessig fortrinn enn andre teknologier desto større område brukerne er spredt over, fordi satellitten når ut til alle, også i rurale strøk. DVB-RCS vil derfor plassere seg som et substitutt til lokale teknologier, fordi man kan tilby en *nasjonal* tjeneste med én engangskostnad (+ drift) og kan betjene et begrenset antall brukere per transponder.

Det er 2 049 000 husstander i Norge [10 – Gallup Intertrack], av disse er cirka snaut 10 prosent i tettsteder med mindre enn 2000 innbyggere, og cirka 25 prosent i enda mer spredtbygde strøk. Dette tilsvarer henholdsvis 190 000 og 425 000 husstander [11 – Høykom]. Norge har en meget spredt bosetning, sammenliknet med andre land, se figur 11.3. [36 – J. E. Thygesen]

I tillegg til norske husstander i distriktene, vil de minste skolene i de 244 kommunene i Norge med mindre enn 5000 innbyggere (skoler som ligger utenfor tettbebygde strøk) antakeligvis ikke vil få tilfredsstillende tilbud om bredbåndsaksess de nærmeste årene. Det er cirka 1200 skoler med mindre en 100 elever, og ytterligere 1400 skoler med mindre enn 300 elever [11 – Høykom]. Dette er også et marked der DVB-RCS har høstet gode erfaringer gjennom HB@ og Høykom-prosjektene. I sammenheng med myndighetenes visjon om bredbånd til alle norske skoler i løpet av 2003, er antakelsen at satellittaksess vil ha et stort nedslagsfelt her.

Med utgangspunkt i at 200 skoler er tilknyttet en satellittløsning, er det i Høykom-prosjektet estimert en tilknytningspris til DVB-RCS på 10000 NOK, og en månedlig brukspris mellom 5700 NOK per måned til 12700 NOK per måned avhengig av antall elever (75 til 150 elever) og bruksmønster. Dette er en noe høy pris, i hvertfall for et private markedet, så jeg vil senere i dette kapitlet forsøke å skissere en prismodell som kan passe bedre også for hjemmebrukeren.



Figur 11.3: Bosetningsmønsteret i Norge.

DVB-RCS' lønnsomhet er som annen aksessteknologi avhengig av antall brukere, eller penetrasjon. Brukt i en ren bredbåndssammenheng, vil DVB-RCS ha litt andre penetrasjonsforutsetninger enn for eksempel ADSL. Som vi har sett vil DVB-RCS, rent kapasitetsmessig, klare å konkurrere med ADSL, men antallet brukere bør også betraktes. For et satellittsystem er den sentrale faktoren *antallet brukere per spot*. En satellittpoperator som tilbyr DVB-RCS-tjenester gjennom Thor II, vil ha et dekningsområde over hele Norden og de nordligste delene av Europa, se figur 2.2. Dette betyr at det totale antallet brukere den avsatte

kapasitet kan tjene kan være spredt utover hele dette området. Dersom det ikke er tilstrekkelig antall brukere innen et område, kan man benytte en større spot, slik at man dekker flere brukere, og oppnår nok brukere til å gjøre systemet økonomisk levedyktig. Antakeligvis vil nok tilfellet være det motsatte for DVB-RCS gjennom tradisjonelle TV-satellitter. Med dette menes at det er for mange brukere i dekningsområdet til at man vil finne det lønnsomt å konkurrere om alle. Ledningsbaserte teknologier er jo som nevnt lønnsomme i de mest tettbebygde strøkene.

I et tettbebygd strøk vil det være relativt rimelig å rulle ut ADSL (rekkevidde på 2-5 km), fordi man har mange brukere per sentral. Sentralen er jo en engangskostnad (+ drift), som fordeles på antallet brukere som benytter seg av tjenestene. Over store områder med lav bebyggelse må det bygges ut mange ADSL-sentraler, som koster dyrt per bruker, så sant man ikke får opp det totale antallet brukere per arealenhet. Dette er ofte årsaken til at norske operatører venter til det lengste med å rulle ut lokale teknologier, ettersom man er avhengig av at det er tilstrekkelig antall brukere som tar teknologien i bruk og gjør den lønnsom.

Og disse betraktningene gir en pekepinn på hvor man ser for seg et DVB-RCS system i den store sammenheng. Ettersom det per dags dato ikke er allokert nok kapasitet i geostasjonære satellitter til å dekke bredbånds kapasitetsbehov for alle norske husstander, vil DVB-RCS være en kompletterende aksessteknologi. Med dette menes det at de uttallige bredbåndsoperatørene og de forskjellige teknologiene i det frie marked, vil ruller ut der det er lønnsomt. Dette er som oftest, for ledningsbaserte teknologier, der det er mange brukere per arealenhet. Men dette vil ikke gi dekning til alle husstander i et helt land, spesielt ikke i Norge som, sett i verdenssammenheng, har en meget spredt bosetting. Så trenden går dit hen at lokale aksessteknologier (kabel/ledning/fiber) vil ta seg av de kapasitetsmessig tyngst belastede områdene, mens et satellittsystem vil, for en billig penge, kunne tilby bredbånd i områder der ingen er villige til å investere i utrulling av ledningsbaserte aksessteknologier. Slik vil man kunne gjøre alle husstander i Norge operative på mellombånd (og bredbånd om tilstrekkelig kapasitet settes av) i løpet av relativt kort tid i avvente på at fiberen kryper helt ut til sluttbruker.

11.6.3 Markedspenetrasjon – antall brukere

Nera bruker i sine beregninger og prognoser 5-15% av den totale kundemasse, som et anslag på hvor mange brukere som vil komme til å bruke satellitt som sin aksessteknologi. Dette tallet er basert på globale anslag, og vil antakeligvis være litt annerledes dersom vi kun ser på Norge. Grunnet landets spredte befolkning, spesielle geografi og topologi, vil tallet nok være litt høyere i Norge enn i et gjennomsnittslend i verden, fordi en større andel av kundemassen vil ha satellitt som sin eneste aksessteknologi. DVB-RCS vil også være et gunstig alternativ for nomadiske og mobile brukere i samfunnet. Mange tilbringer betydelig del av sin tid på hytte eller andre sekundære boliger. Disse stedene er ofte utenfor rekkevidde for vanlig nett-infrastruktur.

La oss anta at DVB-RCS oppnår en markedsandel på 10 prosent i Norge. Gitt at det som nevnt er 2 049 000 husstander i Norge, vil dette tilsi at cirka 200 000 husstander i Norge antas å ha DVB-RCS bredbånds aksess som den mest attraktive løsningen. Denne betraktningen gjelder selvfølgelig kun under forutsetningen at *alle* norske husstander ønsker bredbåndsaksess, og da at alle norske husstander definerer den totale kundemasse.

Den totale kundemassen må derfor i dette tilfelle defineres som antall husstander som har PC.

Men det er på langt nær sikkert at verken alle husstander i Norge med PC kopler seg til Internett eller at alle som har tilgang til DSL-teknologi eller raskere, kommer til å benytte seg av det. I denne sammenheng kan det nevnes at EU har satt *Broadband to all* som mål i det 6. rammeprogrammet. Dette er EUs overordnede strategi for den teknologiske utviklingen blant medlemslandene, hvor Telenor ofte utspiller Norge sin rolle ved deltakelse.

Det kan være en god antakelse å anslå at Internett vil oppnå en like stor penetrasjon blant norske *PC-eiere* som mobiltelefonen har hatt i den norske befolkningen. Mobiltelefonen har i Norge en penetrasjon på over 70% av befolkningen, i følge Statistisk Sentralbyrå. Hvor mange av norske brukere som kommer til å benytte seg av et bredbåndstilbud, er noe vanskelig å anslå, men det er noen pekepinner som kan brukes.

Cirka 1,2 millioner norske husstander har til nå skaffet seg Internettoppkopling [10 – Gallup Intertrack], og dette tallet øker i takt med PC-salget. La oss anta at det innen et par år er 1,5 millioner norske husstander med internettaksess (dette inkluderer modem, ISDN og alle andre teknologier).

I dag har Telenor og NextGenTel 94 500 ADSL-kunder, noe som tilsvarer 7.9 % av alle med Internetttilgang i Norge. I tillegg finnes det mange mindre bredbåndoperatører som gjør at bredbåndsprosenten øker i Norge. Telenor lover at de vil ha rullet ut ADSL til mellom 50 og 60 prosent av alle norske husstander innen slutten av 2003, i tillegg kommer alle andre operatører med forskjellige aksessteknikker, som for eksempel UPC med deres kabel-løsning.

La oss derfor anta at 30% av alle norske Internettkunder med tiden ønsker seg bredbånd, noe som tilsvarer 450 000 husstander. Dersom nå 10 prosent (Neras anslag, og i tråd med andelen nordmenn som bor i utkant-Norge) av disse vil benytte satellitt som sin aksessteknologi, vil et DVB-RCS system kanskje kunne få opptil 45 000 husstander tilkopledd i Norge.

Dette kan være et noe høyt tall, men siden jeg i disse betraktningene ikke har regnet med antallet bedrifter og skoler i utkant-Norge, vil dette likevel kanskje være et godt bilde. Antakeligvis er det nettopp skoler og næringsliv som først vil benytte seg av denne tjenesten.

Tatt i betraktning at det antakeligvis vil ta lang tid før alle har et bredbåndstilbud i Norge vil det faktiske tallet kunne være enda høyere, ettersom andelen av den norske befolkningen som har DVB-RCS som sin eneste mulighet til bredbåndsaksess er større. Men det kan i denne sammenheng være sunt å forsøke å holde den antatte penetrasjonen minst mulig, for å kunne gjøre nøkterne betraktninger.

11.6.4 Installasjonskostnader

Det er helt klart at DVB-RCS har en høyere terskel for markedspenetrasjon, som følge av installasjonskostnadene, enn ADSL og andre teknologier. For de andre teknologiene dreier det seg om hvorvidt sluttbrukeren er innen rekkevidde eller ikke. Dersom ikke teknologien (DSL/Kabel) når fram til brukeren, leveres ingen tjenester eller så må operatøren eventuelt ta kostnadene for å bygge ut nettverket med ytterligere noder, dersom brukeren skal få aksess. Installasjonskostnaden for ADSL i Norge ligger ett sted mellom 1000 og 3000 NOK for brukeren, avhengig av operatør. Satellitten på sin side gir av natur alle innen dekningsområdet tilgang, men til gjengjeld er det sluttbrukeren som tradisjonelt har måttet ta kostnaden for å installere riktig utstyr (parabol, set-top boks osv.).

Nera opplyser at deres terminal foreløpig ligger i prisklassen 20000 NOK, men at den vil krype under 10000 NOK per terminal dersom man oppnår tilstrekkelig markedspenetrasjon. I tillegg er det her åpning for operatøren, staten og/eller andre myndigheter å subsidiere installasjonskostnadene, på samme måte som Telenor gjorde da de rullet ut Canal Digital i 2002. Dette er antakeligvis en nødvendighet for at sluttbrukeren skal finne bredbånd via satellitt attraktivt. Utstyspriser viser en tendens til å avta med tiden, spesielt dersom brukerantallet kommer opp i rimelig antall. Hjemmemottakere for TV, mobiltelefon og GPS-utstyr (Global Positioning System) er gode eksempler på dette. Det kan virke rimelig å sette et prismål for en interaktiv DVB-RCS terminal til det dobbelte av en TV-mottaker.

11.6.5 Månedsutgifter for sluttbruker

Dersom vi tar utgangspunkt i brukerscenariene fra kapittel 10, ser vi at en vanlig bruker kommer til å forbruke 216 megabyte per dag, noe som tilsvarer en månedsutgift (i en rent volumbasert prismodell: inntjeningskrav – 50 øre/MB) på 2582 NOK, og en nedlastingsmengde på 6,2 gigabyte per måned. Antakeligvis gir denne scenariobruken et noe overestimert anslag på nedlastingsbehovet per bruker, i tråd med drøftingene i kapittel 10.3, men i anslagsøyemed kan det være greit å bruke dette som en pekepinn da man ser at forbruket generelt øker.

Dersom vi derimot går for en kombinert prising, med en fastpris på 500 NOK per måned for fri bruk av systemet inntil 1 GB per måned, med for eksempel 250 NOK per GB i tillegg til dette, vil vi velge en modell som tar hensyn til småbrukerne. Dersom operatøren har et inntjeningskrav på 50 øre per megabyte, vil denne prismodellen gå opp for operatøren fram til første GB, og forhåpentligvis stimulere til at forbruket bremses noe. De neste GB vil sluttbrukeren få for 25 øre per megabyte, noe som betyr at operatøren subsidierer 25 øre per megabyte brukeren laster ned.

Antakeligvis vil det ta litt tid før gjennomsnittsbrukeren i Norge bruker mer enn 1 GB per måned, og i dette tilfellet mener jeg at teknologien penetrerer et representativt utsnitt av borgerne, og ikke bare storbrukerne. Min antakelse er at 6,5 GB i snitt per måned per NextGenTel-kunde er et resultat av at de har tiltrukket seg storbrukerne (en liten gruppe av samfunnet), og ikke et representativt snitt av innbyggerne i Norge. Men likevel ser man at den nevnte prismodellen heller ikke skalerer, dersom gjennomsnittsforbruket opplever sterk vekst.

Derfor er kanskje en klassemodell den aller beste løsningen for alle parter. Man får et system som er rettferdig overfor småbrukerne, og storbrukerne betaler for sin del av trafikken i nettet, samtidig som at operatøren ikke sitter igjen med regningen ved ekstremt forbruk. I et slikt system kunne man for eksempel ha forskjellige fastpriser i forhold til hvor mye data sluttbrukeren selv forventer å forbruke på månedsbasis. Eksempelvis kunne en klassesdelt prismodell bli slik:

Abonnementene har fått arbeidstitel for å lettere kunne referere til de senere.

- *Alfa:* 5000 NOK/måned dersom du forventer å bruke inntil 10GB, 50 NOK per overskytende gigabyte
- *Beta:* 1000 NOK/måned dersom du forventer å bruke inntil 2GB, 150 NOK per overskytende gigabyte
- *Gamma:* 500 NOK/måned dersom du forventer å bruke inntil 1GB, 250 NOK per overskytende gigabyte
- *Delta:* 250 NOK/måned dersom du forventer å bruke inntil 500 MB, 350 NOK per overskytende gigabyte

Hastigheten kan for eksempel nedjusteres til ISDN-hastighet dersom brukeren går over sin kvote.

Dette vil antakeligvis føre til at man får et slags skille mellom brukere, men dersom sluttbrukeren faktisk har et vedvarende behov for større datamengder enn det man "får" gjennom sin fastpris, vil brukeren oppgradere sitt abonnement til et dyrere abonnement, som blir billigere totalt sett og som skalerer for operatøren.

Det som kan være dette DVB-RCS-scenariets ankerpunkt i konkurransemarkedet, er at alle brukere, uansett abonnementstype, vil kunne gis samme hastighet, for eksempel 10 Mbps (avhengig av avsatt kapasitet). Brukerne betaler i denne modellen da ikke mer for økt hastighet, men mer for større datamengde.

11.6.6 Oppsummering og konklusjon

I dette kapitlet har vi kommet fram til at det antakeligvis er privatbrukere og skoler, samt næringsliv i tettsteder med mindre enn 2000 innbyggere at DVB-RCS vil finne sitt største marked. Antakelsene om penetrasjon gav oss ett tall på opptil 45 000 brukere som kanskje vil knytte seg til satellittsystemet.

Dersom vi går for den klassedelte prismodellen skissert over, vil vi kunne gjøre et anslag på hvordan et kommersielt DVB-RCS system kan komme ut økonomisk.

La oss anta at 15 prosent av brukerne (Antakeligvis skole og næringsliv) benytter seg av Alfa-abonnementet, 35 prosent av Beta, 35 prosent av Gamma og 15 prosent av Delta. Jeg antar også at *ingen av brukerne går over forbrukskvoten sin*, ved å anta at det går opp i opp økonomisk mellom de som forbruker for mye og de som ikke forbruker hele sin kvote.

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt dataforbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	6750	33.75	67500 GB	18.9
Beta	15750	15.75	31500 GB	8.82
Gamma	15750	7.88	15750 GB	4.41
Delta	6750	1.69	3375 GB	0.945
Totalt	45000	59.07	120375 GB	33.075

Alle tall gjelder per måned.

(* i appendiks A.1 er det gjort overslag over hvordan den totale inntjeningen kommer ut for forskjellige antall brukere og forskjellige abonnementspriser)

Så dersom antakelsene er korrekte, og man oppnår penetrasjonen skissert, med den nevnte prismodellen, vil en operatør kunne sitte igjen med cirka 25 millioner kroner i fortjeneste per måned, etter at transmisjonskostnadene er tatt ut. Fra denne summen må operatøren kunne ta ut driftkostnader, lønninger, markedsføring, supporttjenester og eventuelt subsidier av terminaler til brukerne.

45 000 brukere kan virke noe høyt, sett i sammenheng med at ADSL kun har fått cirka 100 000 brukere i Norge til nå. Men vi har ikke inkludert privat næringsliv i disse betraktningene, noe som også vil kunne gi et tillegg til private brukere og skoler. I tillegg dreier det seg også om hvor stort dekningsområde man ønsker at satellitten man bruker skal dekke. For Thor-satellittens del, som dekker Skandinavia, Nord-Europa og Øst-Europa, vil det mest sannsynlig være innen rekkevidde å knytte til seg dette antallet brukere.

Det viktigste spørsmålet er hvorvidt dette antallet brukere vil være villige til å betale like mye som prismodellen skisserer. Det vil alltid være mange hensyn å ta i en slik sammenheng, alt fra bedriftens inntjeningskrav, hvor effektivt de klarer å drive, transponderleiepris og liknende. Det er en intuitiv sammenheng mellom prisen for en tjeneste og hvor mange som da benytter den, men det er noe vanskelig å bestemme eksakt. Dette fordi det er mange faktorer, slik som faktisk fremtidig bruksmønster (ofte i sammenheng med hva slags tjenester som tilbys), faktisk kapasitetsbehov, reell investeringsvilje hos sluttbruker og endelig utstyrspris.

Fordi sammenhengene er så mange, og antakelsene noen ganger forbundet med usikkerhet, vil det nødvendigvis være vanskelig å treffe fullstendig med prognoser og anslag. Derimot er det, som resonnementene over viser, mulig å gjøre nettopp antakelser som kan gi oss et overordnet bilde på hva fremtiden vil bringe av de ovennevnte parameterne, og hva muligheten er. Dette er nyttig i forhold til å forsøke å være forutseende, slik at man har et grunnlag for å beslutte sine eventuelle investeringer. Det faktiske utløpet, ved kommersialiseringen av DVB-RCS, blir en diskusjon operatør må gjøre ut ifra de rammebetingelser de er fastsatt av.

Å gi et faktisk tall på fremtidens brukermasse, og dermed fremtidens inntjening, har ikke vært målsetningen for denne oppgaven. Snarere har det vært et mål å gi et anslag, ved å variere flere parametere, på hvordan forbruk, kundemasse og prismodell kan bli seende ut i fremtiden. Et anslag er nevnt over, noen andre resultater over den månedlige inntjeningen med forskjellige klassedelte prismodeller og markedspenetrasjon er skissert i appendiks A.1.

Del V

Avsluttende betraktninger og konklusjon

Kapittel 12

Konklusjon

Multimedia via satellitt representert ved det interaktive satellittsystemet DVB-RCS er en av de nye teknologiene som kan benyttes for å gi tilgang til interaktive bredbåndstjenester. Systemet synes spesielt å være et alternativ for dekning av områder med lav befolkningstetthet hvor det er vanskelig å oppnå økonomisk akseptable løsninger med andre aktuelle teknologier som kabelnett, DSL eller interaktive bredbånds radiosystem.

Denne oppgaven har tatt for seg en del generelle problemstillinger vedrørende IP over satellitt og mer spesielt sett på det interaktive satellittsystemet DVB-RCS og dets muligheter, fordeler og ulemper slik det fungerer i dag. Derfor har det vært viktig å forstå teknologien og dens anvendbarhet relativt til andre bredbåndsteknologier.

Opgaven har som skrevet innledningsvis ønsket å nå ut til to målgrupper. Den ene har vært kommende studenter ved fysisk institutt, som ønsker å sette seg inn i rammeverket for dagens IP-baserte datakommunikasjon og satellittnettverk. Den andre målgruppen har vært beslutningstakere i landet som ønsker å lære mer om satellittens levedyktighet for nåtidens og fremtidens bredbåndsaksess.

I dette arbeidet har jeg redegjort, på generelt plan, for satellittkommunikasjonens og Internettets utvikling, og gått i dybden på hvordan TCP/IP fungerer som fundament i dagens datakommunikasjon med vekt på de spesielle problemene som kan oppstå med de lange tidsforsinkelsene som samband via geostasjonær satellitt gir. Den andre delen har i hovedsak dreid seg om å analysere det interaktive satellittsystemet DVB-RCS, både teknisk og økonomisk. Spørsmål som har vært ønskelig å besvare, er hvorvidt systemet faktisk er et reelt bredbåndsalternativ i Norge. Vi har gjort oss mange erfaringer i løpet av arbeidet med denne oppgavens problemstilling. Det viktigste gjengis i det følgende.

12.1 Teknisk

Gjennom testene som ble gjennomført sommeren og høsten 2002, i samarbeid med Nera og Telenor, verifiserte vi at DVB-RCS systemet, slik det er implementert av Nera, klarer å levere bredbåndstjenester. Etter at feilene var funnet på jordstasjonen på Nittedal, så vi at systemet klarte å levere drøyt 6 Mbps til den enkelte bruker på IP-nivå. Når jeg skriver IP-nivå, er det fordi DVB-RCS standarden, som vist enkapsulerer IP-pakker i MPEG2-transportstrømmer, bestående av MPEG-pakker på 188 byte. Det viktige på terminalsiden er nå å fokusere på kostnadsreduksjon, noe som er sterkt avhengig av brukerantall og masseproduksjon.

Vi testet også systemets evne til å takle, det vi definerte som, vanlige bredbåndstjenester, som FTP-nedlastinger, websurfing og interaktiv Netmeeting (audio, video og data). Tross satellitt-

systemenes kjente problemer med TCP-kommunikasjon, viste det seg at DVB-RCS, med det oppsettet vi brukte, klarte å levere vanlige internettjenester tilfredsstillende.

Med andre ord betyr disse erfaringene at det er fullt mulig, fra et teknisk perspektiv, å rulle ut bredbånd til brukerne gjennom satellitt. Vi har et funksjonelt system for IP over satellitt. Systemet klarer å levere hastigheter innenfor definisjonen av bredbånd og gir ikke brukergrensesnittet noe dårligere ytelse enn gjennom for eksempel ADSL.

Det åpne tekniske spørsmålet, som også bunner ut i en økonomisk drøfting, er hvor mye kapasitet som settes av i nettverket. Slik Neras siste DVB-RCS brukerterminal er bygget, vil en hastighet på 6 Mbps på IP-nivå være nær dens begrensning. Dette er noe som i senere versjoner enkelt kan forbedres når behovet oppstår, slik at sluttbrukeren vil kunne oppnå ytterligere hastighet gjennom sin interaktive satellitterminal. Men igjen, dette er avhengig av kapasiteten som settes av over satellitthoppet og det avhenger av antallet brukere et kommersielt system oppnår, og hva slags bruksmønster disse har. Det nevnes at det gjennom betraktningene som har vært gjort i denne oppgaven, har kommet klare tegn på at et kommersielt DVB-RCS system burde tilby hastigheter godt over det ADSL og kabel tilbyr. Men det viktige på terminalsiden er nå å fokusere på kostnadsreduksjon, noe som er sterkt avhengig av brukerantall og masseproduksjon.

12.2 Økonomisk

Det økonomiske perspektivet, er i seg selv noe av årsaken til at DVB-RCS standarden i utgangspunktet ble utviklet. Nettopp fordi DVB-RCS bygger på den etablerte standarden DVB, ville en slik løsning være heldig, fordi man ikke trenger store investeringer i nettverkets infrastruktur. Satellitten er den samme, jordstasjonen er den samme (Dog med noen modifikasjoner), parabolen er den samme. Det eneste som trengs å byttes ut er set-top boksen hos sluttbruker, samt parabolhodet (som skal kunne sende også).

I tillegg er nye digitale tjenester en nødvendighet for dagens satellitter, fordi man, nettopp med digitaliseringen, har frigjort relativt mye kapasitet. Denne kapasiteten kan nå reallokeres og brukes til interaktive internettjenester. Dette medfører igjen en relativt billig utrulling, fordi man benytter eksisterende infrastruktur.

Men som nevnt tidligere er det mange usikre parametere som vil styre den eventuelle kommersielle suksessen til systemet i fremtiden. Spesielt viktig er faktoren *antall brukere*. Vi har kommet fram til at man per satellittposisjon, med dagens teknologi, klarer å tjene 405 000 og 37 500 brukere, avhengig av om brukerne i snitt "forbruker" henholdsvis 20 eller 216 megabyte per døgn.

Deretter har vi fått et anslag på hva slags bruksmønster som kan forventes i fremtiden, basert på oppsatte scenarier. Disse scenariene er bygget på statistiske data fra Norsk Gallup, statistisk sentralbyrå, Post- og teletilsynet, samt IST-prosjektet EMBRACE. Dette gjør at vi kan sette opp et økonomisk regnskap basert på forventet belastning i systemet.

Med basis i de nevnte statistiske data, pluss globale anslag på satellittens markedspenetrasjon, har det vært mulig å gjøre et anslag på hvor mange brukere man kan forvente for bredbånd via satellitt. Antallet, 45 000, anser vi som et realistisk og forsiktig anslag på hvor mange brukere man kan komme til å få, men nok en gang er dette basert på en del usikre parametere, der spesielt dekningsområdet til satellitten er viktig.

Basert på disse betraktningene, har det vært mulig å skissere en mulig fremtidig prismodell, som skalerer bedre for DVB-RCS operatøren enn en ren fastprismodell som vi ser i bredbåndsmarkedet i dag. Denne prismodellen er en klassesdelt fastprismodell, med et volumbasert tak per måned. Prismodellen er ment som en skisse for bruk i diskusjon for fremtidige operatører. En endelig prismodell må nødvendigvis gjennomgå ytterligere analyse og undersøkelser, men vår skisse kan være et godt utgangspunkt. Det er skissert prismodeller for forskjellige prisnivå, forskjellige antall brukere og forbruk. Disse resultatene er å finne i oppgavens kapittel 11, samt i appendiks A.2.

Parallelt med en tidlig utrulling er det nødvendig med en utviklingsfokus på å oppnå ytterligere kostnadsreduksjoner. Det foreligger muligheter for å bedre utnytting av satellitten (bit/s/Hz), for kostnadsreduksjon på utstyret og kostnadsreduksjoner på kapasitet generelt. Utnyttelse av satellittens kringkastingssegenskaper for å utvikle og tilby effektive multikast/karuselljenester som reduserer kostnadene for den enkelte bruker er et spesielt viktig område å bearbeide. Det ser ut til at man bør etterstrebe å få kostnadene ned til 10 øre per megabyte for å kunne levere konkurransedyktige priser. Samtidig må prisen på brukerutstyret bringes under 5000 NOK. Som nevnt innledningsvis i kapittel 2, viser de globale trendene innen satellittkommunikasjon at ytterligere kostnadsreduksjoner er å forvente [25 – Global VSAT Forum-Technology Trends].

Vi har gjennom dette arbeidet verifisert at satellitten er å regne med som et bredbåndsalternativ. Det er en del usikre parametere i forhold til eventuell kommersiell suksess, men vi tør faktisk påstå at satellitt er det eneste gagnbare alternativet dersom myndighetene i Norge ønsker å nå ut til *alle* innbyggere i landet med bredbåndsaksess. Derfor er det et håp at dette arbeidet kan bringe nye sider til den pågående debatten og brukes i sammenheng med fremtidig offentlig og privat diskusjon og planlegging av *bredbånd til alle*.

Arbeidet som er gjort i denne oppgaven, viser at det interaktive satellittsystemet DVB-RCS representerer et godt alternativ for bredbånd til tynt befolkede områder hvor det blir meget kostbart med DSL og radiobaserte bredbåndsløsninger. Det er også vist gjennom forsøk at forsinkelsesproblemene med TCP over satellitt, som gir kapasitetsbegrensninger, kan løses på tilfredsstillende vis. DVB-RCS teknologien virker funksjonsdyktig og brukerøkonomien er sammenlignbar med den man ser for andre teknologier, dog bør det etterstrebes å få ned kostnadene ytterligere. Det foreligger så vel behov som muligheter for forbedringer som kan tilfredsstillende det økende brukerbehovet vi har indikasjoner på. I kapittel 13 vil jeg gå nærmere inn på muligheter som finnes for bedre utnyttelse av satellitter for bredbåndstjenester.

Kapittel 13

Avsluttende betraktninger

I løpet av arbeidet med denne oppgaven har jeg støtt borti mange interessante betraktninger rundt satellittens rolle i fremtidens telekommunikasjon. Noen er av ren teknologisk art, mens andre betraktninger igjen dreier seg om utnyttelsen av satellittens fordeler for å styrke dens posisjon blant fremtidens brukere. Noen av de mest interessante mulige utviklingsløpene vil jeg gjengi i dette kapitlet, som en pekepinn til leseren, for hva som kan forventes av geostasjonære satellittsystemer i fremtidens konvergens av teknologier.

I tillegg vil jeg i dette kapitlet nevne noen hensyn og prioriteringer jeg, ut fra mine vurderinger, mener er sentrale for en eventuell DVB-RCS operatør.

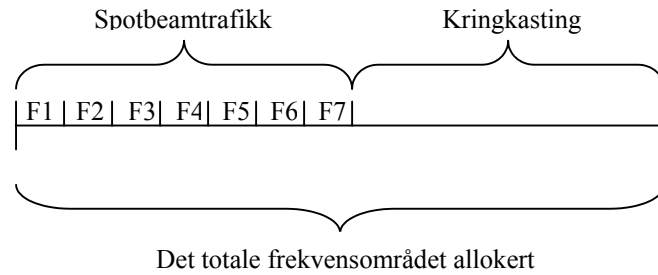
13.1 Simultankapasitet og forsinkelse

Som nevnt er det begrenset hvor mye kapasitet som disponeres for å kringkaste/overføre per satellittposisjon. Dette er en ren frekvensbegrensning, som settes av det allokerede Ku-båndet, men det finnes muligheter for å både inkludere høyere bånd og effektivisere ressursbruken ved hjelp av nyere teknologi.

Vi kom i kapittel 9 fram til at man har 4,1 GHz til rådighet per satellittposisjon i Ku-båndet. Dersom man benytter seg av QPSK-modulering tilsvarer dette en kapasitet på mellom 4 og 5 Gbit/s. En umiddelbar måte å øke denne kapasiteten på, er å benytte seg av andre moduleringsteknikker, som 8-QAM og 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation). Dette vil gi en gevinst på henholdsvis 2 og 4 ganger i forhold til QPSK, men har ulemper med økt interferens mot nabokanaler, intermodulasjon i transponderen opp mot metning, økt støyfølsomhet og større BER. Ny kodingsteknologi kan langt på vei benyttes til å kompensere for dette. Men det finnes en annen interessant løsning som kan øke kapasiteten betraktelig og som samtidig vil forbedre satellittens tilpasningsevne i den teknologiske utviklingen.

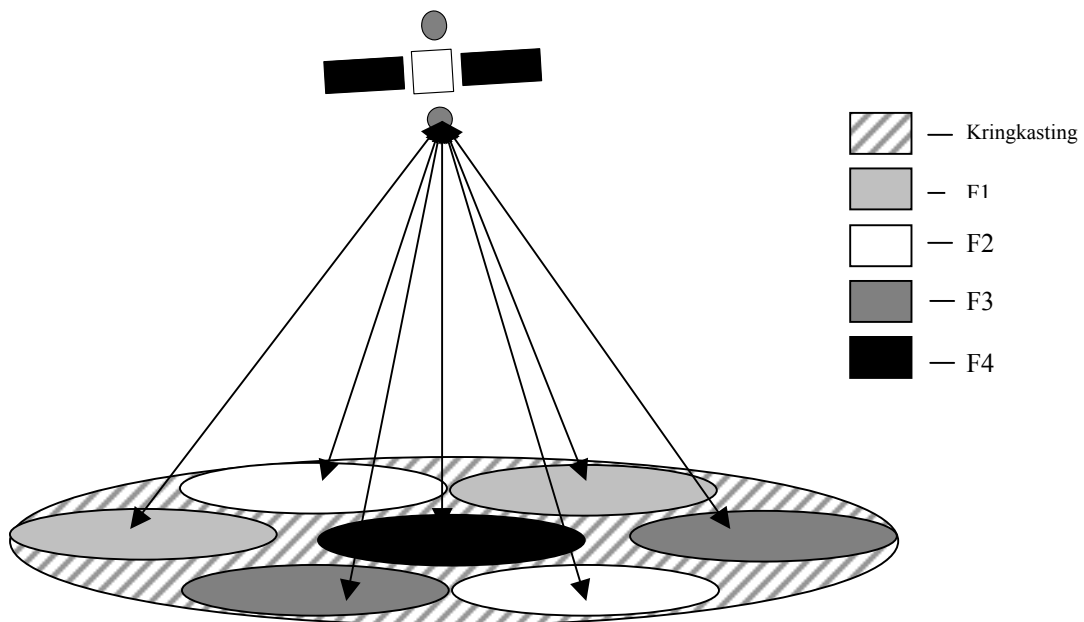
13.1.1 Celleteknologi

Dersom man overfører celleteknologien, som i sin tur gjorde mobiltelefoni til en suksess med mange simultane brukere til satellittkommunikasjon, vil man kunne benytte seg av frekvensgjenbruk og derav økt simultankapasitet per satellittposisjon. Denne teknologien kalles spotbeam-teknologi, og deler det totale dekningsområdet inn i mange mindre områder som vist i figur 13.2, slik at hver og en av dem kan bruke en betydelig del av det allokerede frekvensområdet, avhengig av hvor findelt frekvensspekteret er. To naboceller med samme frekvensbånd, vil skape interferens. Derfor er det viktig at det totale frekvensbånd deles inn i noen mindre underbånd, som kan gjenbrukes med en viss avstand, se figur 13.1.



Figur 13.1: Inndelingsskisse av det totale frekvensbånd

I et tenkt multispotbeam-scenario, kan noe av trafikken gå gjennom et frekvens sub-bånd tiltenkt en kringkastingskanal med total dekning, mens noe av trafikken går som spotbeam-trafikk gjennom et frekvensbånd allokert for denne type trafikk. Det kan være naturlig at kringkastingsjenester som radio TV og multikastjenester går gjennom den nevnte kringkastingskanalen, mens ren datatrafikk går gjennom spotbeamer.



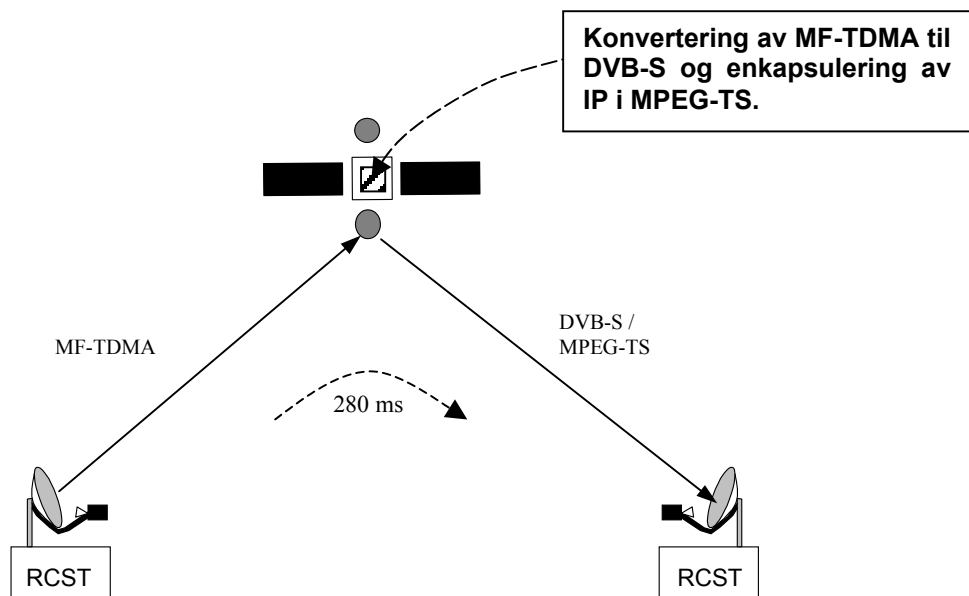
Figur 13.2: Spotbeam; bruk av celleteknologi i satellittnettverk

Med denne typen frekvensutnyttelse, vil man oppleve at man kan tjene flere simultane brukere, fordi man innen cellene kan bruke hele dets dedikerte frekvensområde, som også brukes i andre celler. I tillegg til cellene kan man ha én spot for kringkasting i det totale dekningsområdet.

13.1.2 Svitsjing, om-bord-prosessering (OBP) og enkelthopp systemer

Som en følge av celleteknologibruk, åpnes det for en annen løsning som kan forbedre satellittens ytelse betraktelig. For dersom systemet administrerer mange celler, vil det også åpnes for effektivisering med svitsjer om bord i satellitten. Disse svitsjene kan ta inn signaler fra brukere i én celle, og sende det ned igjen til en mottaker/bruker i en annen. Allerede finnes det mange satellittsystemer som benytter seg av denne teknologien, blant annet Iridium, som er en lavbane satellittkonstellasjon til bruk for mobilkommunikasjon.

I tillegg til dette vil man også kunne flytte en del av oppgavene, som i dag i DVB-RCS systemet ligger på jordstasjonen, opp til satellitten, dersom man har satellitter med større prosessorkraft om bord. Dette medfører for eksempel at man vil kunne gjennomføre konverteringen fra opplink MF-TDMA til nedlink MPEG2-transportstrømmer om bord i satellitten. Dersom dette gjøres, vil man i et interaktivt system, med forskjellig opplink og nedlink som DVB-RCS, kunne redusere kommunikasjonen fra bruker til bruker med ett satellitthopp. Dette reduserer forsinkelsen med 280 ms én vei, noe som vil forbedre TCPs ytelse betraktelig og forbedre ytelsen til systemet for sanntids interaktive applikasjoner.



Figur 13.3: OBP; skisse av et enkelthopp-system

En forlengelse av dette er at satellitten kan innta en rolle som en ruter i Internett, ved at den har egenskapene som skal til for å motta og videresende pakker til riktig mottaker i riktig dekningsområde.

13.2 Multicast

La oss se litt nærmere på kostnader ved bruk av tyngre bredbåndstjenester. La oss si at en bruker skal laste ned en film sanntid fra Internettet. Fortsatt forutsetter vi at operatøren tar 50 øre per megabyte nedlastet data. For studiotkvalitet film, trengs 8 megabit per sekund, eller 1 megabyte per sekund. Per time har vi da et behov for 3600 megabyte (1 megabyte * 3600 s/time). Kostnadsregnskapet blir da som følger:

$$\frac{3600 \text{ MegaByte/time}}{0,50 \text{ NOK/MegaByte}} = 1800 \text{ NOK/time}$$

Som regnestykket viser, vil det koste 1800 NOK per time å laste ned en film i studioskvalitet i et prissystem som tar 50 øre per lastede megabyte. Tatt i betraktning at en vanlig bruker vil kunne ha god nok kvalitet med 4 megabit per sekund, kan kostnaden reduseres med 50 % til 900 NOK per time. I dag betaler alle nordmenn 1800 NOK *i året* i TV-lisens, med påfølgende fri bruk av TV-tjenester, så dette er mye mer enn en operatør kan forvente å ta betalt per bruker, per dag. Det er viktig å understreke at dette regnestykket kun gjør seg gjeldende ved sanntids filmvisninger. Hvis man kan laste ned en film og så se den fra et minne/buffer, vil saken være en helt annen.

Derfor er det, dersom man velger en volumbasert prismodell for sanntids multimedia over bredbånd eller har et system som har en volumbasert kostnad for tjenesteleveranse, et behov for en løsning der man kan dele kostnader på flere brukere. Det er i dette feltet satellittsystemene sine egenskaper gjør seg økonomisk gjeldende. Det er fortsatt ingen gode multikastprotokoller for ledningsbaserte nett som skalerer, selv om det er betydelig forskning innen dette feltet. Problemer oppstår når for mange brukere ønsker tunge multimedietjenester simultant. Nettet går i metning, og klarer ikke levere nok datamengder til alle.

Satellittens kringkastingsegenskaper kan derimot brukes til å sende samme data til flere brukere samtidig, og slik redusere kostnadene til den enkelte bruker. Jo flere brukere som ønsker å motta samme multikast-transmisjon, desto billigere blir det per bruker, da man deler kostnadene, dersom bakstrukturen i nettet behersker punkt-til-multipunkt kommunikasjon.

For aksessteknologi er det vanlig å dele inn trafikken i følgende typer:

- **Individuell** *Punkt-til-punkt*: I denne kategorien puttes alle individuelle tjenester som den enkelte bruker laster, med visse unntak (karusell). Dette er tjenester som e-post og ftp/http-nedlastinger. Dette kan defineres som tjenester der tjenesteleverandør må sende noe spesifikt adressert til én enkelt bruker.
- **Multikast** *Punkt-til-multipunkt*: Dette er tjenester som adresseres til den enkelte bruker, men det er flere som vil ha denne samme informasjonen til samme tid.
- **Karusell** *Punkt-til-multipunkt*: Dette er en løsning som kan minske belastningen på nettverket og er basert på et felles bruksmønster hos en gruppe brukere. For eksempel kan dette være nedlastning av nettaviser. Isteden for å levere nye oppdaterte sider av avisen til hver eneste bruker hver eneste gang brukeren åpner URL'en til nettavisen, kan operatør aktivt sende oppdateringer for eksempel hver halvtime til en cache (bufferminne) eller server lokalt for en cluster brukere. Dette kan brukes til for eksempel til å utnytte ledig kapasitet i sendemultiplekset.
- **Kringkasting** *Punkt-til-multipunkt*: I dette tilfellet skal alle brukere tilknyttet tjenesten ha samme informasjon til samme tid.

I ADSL og andre ledningsbaserte system vil all data være individuell, og ikke åpne for noen betydelige besparelser ved at flere brukere ønsker samme data samtidig.

I alle tilfellene punkt-til-multipunkt kommunikasjon, vil en satellittbasert bakstruktur åpne for en skalerbar samtidig tjenesteleveranse til alle brukere. Når trenden i dag er at brukerne i større og større grad benytter seg av store nedlastinger av video og data, som metter nettverkene, er multikast og punkt-til-multipunkt kommunikasjon en meget nyttig løsning.

Problemet er imidlertid ikke kun at filene er for store. Problemet er at slike peer-to-peer tjenester er blitt veldig populære, og det er mange brukere som bruker disse simultant, og da skaper flaskehals. Slik tjenestene fungerer i dag, kopler man seg opp til en bruker, gjennom p2p-applikasjonen, som har den ønskede filen. Det kan være flere brukere som er koplet opp til denne tjenesten, og laster ned simultant. Dette begrenser hastigheten, fordi alle simultane nedlastere deler opplink-kapasiteten til brukeren som har den ønskede filen. Dette gir dårlige hastigheter, lang nedlastningstid og belastning på mottaker-PC over lang tid. En mulig løsning på dette i satellittnett, er å kringkaste slike krevende tjenester. Dagens utvikling mot peer to peer er interessant for satellittanvendelser.

Det kunne være mange modeller for å løse dette gjennom satellittnettverk. Blant annet kan det være mulig at brukere i satellittnettverket meldte seg på grupper som er interessert i samme fil. Når det er tilstrekkelig antall brukere (innen en viss tidshorisont), kan filen kringkastes gjennom satellitten med høy kapasitet. Dersom filen er gratis, oppnår brukeren større hastighet og mindre belastning på sin PC. Er tjenesten en betaleløsning som video-on-demand, vil tjenesten kunne bli billigere for brukeren, ettersom de deler på transmisjonskostnadene. I begge tilfeller vil i hvertfall operatøren oppleve bedre og skalerbar utnyttelse av sitt nettverk.

13.3 Komprimeringsteknologi

Som vi har sett, er trenden klar på at større og større filer traverserer nettene som brukes til internettapplikasjoner, noe som medfører kraftig belastning på internettets bakstruktur. I den sammenheng er det sentralt å utvikle nye metoder for å levere tjenester som krever mye kapasitet. Allerede er det utviklet ressursbesparende kodingsmetoder som MPEG, til å kunne overføre multimedia mye mer effektivt enn tidligere. Enda mer effektive kodingsmetoder hører helt klart til i fremtiden.

Likevel, vil kravet til leveranse av tunge tjenester antakeligvis fortsette å øke. Jo kraftigere PC'er brukerne får, desto tyngre tjenester vil de drive fram. Dette forutsetter selvfølgelig at aksessteknologien (telenett, kabel, satellitt osv.) følger etter og klarer å betjene belastningen. Den siste tiden har nye lagringsmedier som CD (opptil 800 megabyte), DVD (30-40 gigabyte) og liknende medført at man ikke har hatt stort behov for komprimeringsteknologier som for eksempel winzip, for å flytte data mellom enheter. Den gang disketten (1,44 MB) var det eneste mobile lagringsmediet for hjemmebrukerne, var zip-teknologi og dets liknende en nødvendighet for å kunne flytte større filer.

I dag ser man at brukerne i økt grad bruker internettet til å overføre filer, enten det er gjennom FTP-tjenester, eller peer-to-peer tjenester. Og med dette er det nettverkets leveringskapasitet som begrenser evnen til å gjøre store filer mobile.

Derfor, vil man antakeligvis økt fokus på måter å komprimere filer på. I dag er det vanlig å overføre filer slik de er og ofte er de da veldig store. Dersom man finner enda bedre metoder enn det vi har i dag for å komprimere filer før overføring, og deretter dekomprimere filene hos mottaker, vil man kunne spare mye belastning for nettverket.

13.4 Konvergens av teknologier

Pakkebasert multimedia over satellitt må sees i sammenheng med spådommene om at i fremtiden konvergerer mange av telekommunikasjonens grener sammen i et "always-on", IP-basert kommunikasjonsnettverk. Dette er også kjent som en "all-IP" nettverk-infrastruktur.

13.4.1 Always-on

Trenden er at brukerne av dagens kommunikasjonstjenester vil ha aksess til sine personlige tjenester hvor som helst og når som helst i hele verden. IPv6 som utvider adresserommet fra dagens IPv4, ADSL, DVB-RCS, statiske IP-adresser og høy båndbredde på håndholdte dataterminaler (PDA) er alle ledd i denne utviklingen, og har som mål å tilby brukere å *alltid* være tilgjengelige og pålogget jordens datanettverk, hvor som helst og når som helst.

Tanken tidligere har vært å kunne aksessere Internett overalt. Men man ser at utviklingen av en slik infrastruktur vil gi mange nye tjenester som kan kommersialiseres. Som David S. Bennahum skriver i 2001 sin fremtidsartikkel [13 – D. S. Bennahum, 2001]:

" Forget the World Wide Web on your cell phone. The key to the always-on, everywhere wireless Internet comes down to three things: location, location, location..."

Han spår at det kommer til å myldre av tjenester i et always-on nettverk, der det sentrale kommer til å være hvor du er til hvilken tid. For nærmere innsyn i Bennahums fremtidsspådommer, henvises leseren til artikkelen.

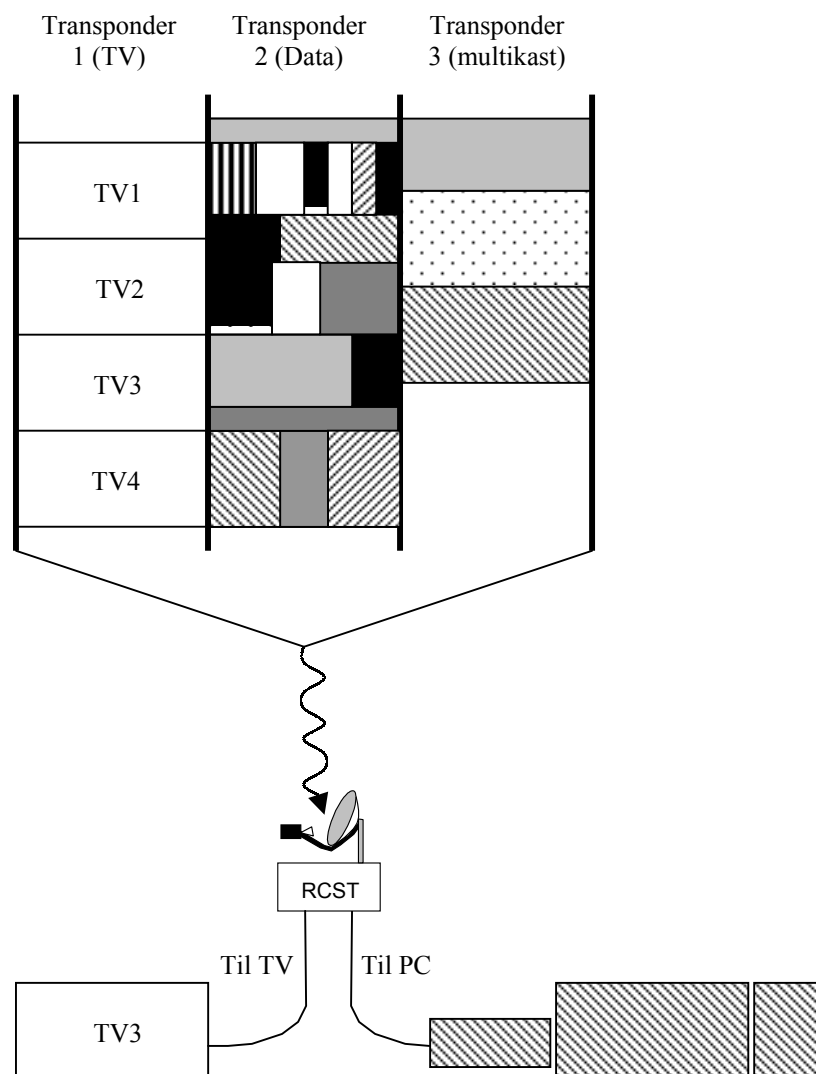
Basert på en felles IP kommunikasjonsplattform, vil jordbaserte nettverk, satellitter, radiolinje og eksisterende optiske kanaler jobbe sammen for å tilby menneskene tjenester over hele verden. Derfor er det viktig at det foregår innovasjon av applikasjoner som stimulerer til bruk av slike nettverk.

13.4.2 Multitransponder-mottaker

Teknologiene konvergerer, men det trenger ikke bety at metoden for tjenesteleveranse gjør det også. Selv om dataoppbygningen er den samme, vil det antakeligvis være nyttig å organisere tjenestene atskilt. For eksempel har TV-signalet fortsatt helt andre egenskaper enn ren data, i form av at TV-strømmen er forutsigbare og periodiske datablokker. Dataen er avhengig av bruk og vil variere deretter. Likevel er det viktig å nevne at det ligger en gevinst med likhet i leveringsplattform for forskjellige tjenester. For eksempel vil én fordel med TV over IP ligge i behandlingen av dataene, lik form vil åpne for lik behandling og som igjen vil medføre

raskere behandling. Hardware som brukes vil kunne være fullstendig transparent, i at de kun behandler IP-datablokker og ikke trenger å skille de forskjellige typene tjenester. Dette vil også gjøre dem billigere.

Derfor ser det ut til at det i fremtiden bør være et slags skille av tjenester på forskjellige transpondere. For eksempel kan det virke som det er heldig om TV-signalet, som krever mye kapasitet, vil sendes over andre transpondere enn data. Dette betyr at dersom teknologikonvergensen ønsker å medføre at all trafikk tas imot over samme set-top boks, må den evne å lytte på flere transpondere samtidig. Dette må til for å kunne se på TV, chatte, surfe, laste data samtidig i ett hus, gjennom én set-top boks. Set-top boksen vil da kunne innta rollen som en slags inngangsruter til hvert hjem, som fordeler de enkelte data til de enkelte mottakerne TV, PC osv.



Figur 13.4: RCST med evne til å lytte på flere transpondere simultant

13.5 Sentralisert vs. spredt infrastruktur

Fordelene med satellittens sentrale infrastruktur er klare, og gir utslag som nevnt i forhold til dekningsområde og kringkasting/multicasting. På den annen side er dette også en sentralisering av bakstruktur som kan få større konsekvenser dersom satellitten feiler, enn ved en distribuert nettverkløsning.

Sjansene for at man skulle oppleve en slik fatal feil i en geostasjonær satellitt er for så vidt liten, men det er en risiko man må være klar over. Skulle dette skje, vil alle brukere være uten bredbåndstjenester, inntil problemet er fikset. Dreier det seg om ikke-reparerbare feil, vil man eventuelt måtte erstatte satellitten. Dette vil nødvendigvis ta mer tid, enn hva som er holdbart for kundene. Er feilen av en mindre karakter, som at en transponder faller død, vil man antakeligvis kunne allokere kapasitet i andre transpondere i den samme posisjon. En annet interessant forbehold, er i tilfeller store eksplosjoner i sola, hvor solvind med stor kraft slår ut alle elektromagnetiske systemer rundt jordas atmosfære, for perioder.

Dette problemet er kjent som single-point-of-failure, hvor all kommunikasjon avhenger av ett enkelt punkt i nettverket. Og nettopp fordi de geostasjonære satellitter svever i bane over 36000 kilometer over jordoverflaten, vil dette antakeligvis være et problem som er vanskelig å løse på kort tid, slik man kan fikse én node i ADSL-nettverk.

På den annen side igjen vil et satellittbasert system være mer robust i forhold til katastrofer på jordoverflaten, slik som det store strømbruddet i Tokyo, Japan i 1984, der 9000 strømlinjer var uten strøm i over 17 timer. Andre tilsvarende tilfeller, der jordbaserte nettverk opplever et problem i forhold til lang nedetid, er naturkatastrofer som flodbølger, jordskjelv og større vulkanutbrudd.

Sett i lys av at satellitter har vært brukt i flere tiår, uten hyppige og store kollapser, er sannsynligheten likevel liten for at dette kommer til å skje. Satellittene, spesielt de geostasjonære, viser seg å være en stabil aksessteknologi.

13.6 Hvilke aksessteknologier vil overleve?

Trenden som styrer mye av utviklingen er at maskinhastigheten på lokalt nivå øker, og lagringskapasiteten blir billigere og billigere. På kort tid har klokkefrekvensen på hjemme-PC'er økt fra 33MHz til 3 GHz. Dette er en økning i hastighet med en faktor på 1000. Dette medfører økt press på hastigheten i datakommunikasjon. Og det viser seg at behovet øker, når kapasiteten øker. Dette gjør at noen teknologier faller av utviklingen og de med størst kapasitet overlever. I så måte er det en trend som viser at kabel- og telefonnettverk ikke kommer til å klare det fremtidige kapasitetskravet, mens fiber og radio har egenskaper som gjør at de antakeligvis vil bli de typene teknologi som overlever.

Hvis man ser på alle telekom-teknologier i ett, er det tre hovedtrender som skiller seg ut. Brukerne ønsker raskere aksessteknikker, økt mobilitet og belaster nettverkene symmetrisk i økt grad.

Fiber har som nevnt tidligere en unik kapasitetsevne, og man ser at fiberen vil kripe nærmere og nærmere sluttbrukeren dersom alle ønsker fremtidens kapasitetskrav for datanettverk. Som Uninett og mange med dem mener, er det ingen tvil om at det er fiber som er fremtiden. Dette er en meget dyr investering, så det vil antakeligvis ta litt tid dersom utbyggingen forblir rent

markedsstyrt. I mellomtiden vil antakeligvis kabel- og telefonteknologier ta unna det største presset fra brukerne med økt kapasitetskrav, men antas ikke å overleve på lang sikt.

Det er kun radionettverk som har evnen til å tilby brukerne full mobilitet, både på regionalt nivå gjennom mobilnettverk som GSM og IMT2000/UMTS, men også på globalt plan som satellittkommunikasjon med sjøfartøyer og satellitt-telefoner. I tillegg er radiobaserte transmisjonsmetoder av natur kringkastingsvennlige, og har derav en økonomisk fordel framfor andre aksessteknikker. Man antar jo at både TV, radio og en-til-mange kommunikasjon kommer til å overleve i fremtiden, og dermed gir det grobunn for å tro at radio også, sammen med fiber, blir fremtidens kommunikasjonsplattformer.

Del VI

Appendiks

A.1 ATM

En annen datakommunikasjonsteknologi som bør nevnes i en viss kontrast til TCP/IP, er ATM (Asynchronous Transfer Mode), også kjent som celle-svitsjing. Denne teknologien ble veldig viktig mot slutten av 80-tallet, spesielt fordi telefonindustrien tok den i bruk.

ATM er en forbindelsesorientert, pakkesvitsjet teknologi. Dette innebærer at den setter opp virtuelle forbindelser før selve datatransmisjon finner sted. ATM har en metode for oppkopling, kalt signalering. Dette begrepet brukes om en virtuell oppkopling som settes opp før kommunikasjon. ATM bruker en signaleringsprotokoll kalt Q.2931 [37 – ITU].

Denne protokollen finner forsøksvis den beste ruten mellom sender og mottaker. Men den har også en annen egenskap, som regnes for en av ATMs absolutte beste fortrinn. Den allokterer også ressurser på veien mellom sender og mottaker før datatransmisjon tar til. Med dette tilbyr ATM meget god tjenestekvalitet. Heretter vil tjenestekvalitet refereres til som QoS, av engelsk: Quality of Service.

Det som gjør ATM så spesiell i henhold til pakkebasert kommunikasjon, er at pakkene i ATM-nettverk alltid har fast størrelse. Denne størrelsen er 53 bytes; 5 bytes i header og 48 bytes data. TCP-pakker derimot varierer i størrelse for å tilpasse seg den enkelte forsendelse, med en maksimal størrelse på 65536 bytes. Dette er årsaken til at pakkene i ATM kalles *celler*; for å skille dem fra pakkebegrepet generelt brukt i datakommunikasjon.

Cellene

Årsaken til fast lengde på cellene, har sammenheng med den gjeldende teknologien på 80-tallet. Spesielt hardwareteknologien og svitsjene hadde store fordeler med fastlengde-celler.

Det trekkes frem to hovedgrunner for fast lengde:

1. Jo enklere jobb svitsjene har å gjøre, desto lettere er det å lage dem. Fast lengde tilsier mindre prosessering i mellomliggende svitsjer i nettverket, og de kan holdes mer transparente. Det betyr at hovedoppgaven deres er å skyve dataceller igjennom seg og videre mot destinasjon, uten å gjøre noe med dem.
2. Det er lettere å organisere nettverkets elementer effektivt ettersom de fleste elementene i et slikt nett gjør de samme tingene om igjen. Da er det lettere å kjøre prosesser parallelt, ettersom alle forskjellige prosesser bruker samme tid hver gang.

En annen god egenskap med celler er at de letter organiseringen rundt køer. Typisk vil ventetiden for første pakke i køen alltid være den tiden det tar å transmittre én celle. Dette er betraktelig mindre enn en full størrelse pakke. Det viser seg at det å kunne kontrollere forsinkelse, da spesielt variasjon i forsinkelse, også kalt jitter, er veldig viktig for noen applikasjoner. Det bør nevnes at køene for ATM-celler ofte er kortere enn pakke-køer, fordi tiden det tar å transmittre pakker er den tiden det dannes kø. Små pakker gir kortere transmisjonstid, og da også mindre kø.

A.2 Prismodelltyper og datamengdekostnad

Klassedelte prismodelltyper med forskjellige utgangspriser

Prismodell A

Navn	Fastpris (NOK)	Datamengde (gigabyte)	Pris overskytende GB (NOK)	Kostnad for totalt GB-forbruk per måned (NOK)							
				0,5 GB	1 GB	2 GB	5 GB	7 GB	10 GB	50 GB	100 GB
Alfa	5000	10	50	5000	5000	5000	5000	5000	5000	7000	9500
Beta	1000	2	150	1000	1000	1000	1450	1750	2200	8200	15700
Gamma	500	1	250	500	500	750	1500	2000	2750	12750	25250
Delta	250	0,5	350	250	375	725	1775	2475	3525	17525	35025

Pris for forskjellig månedsbruk av datamengde ved bruk av den skisserte klassedelte prismodell

Prismodell B (70% av prisene i A)

Navn	Fastpris (NOK)	Datamengde (gigabyte)	Pris overskytende GB (NOK)	Kostnad for totalt GB-forbruk per måned (NOK)							
				0,5 GB	1 GB	2 GB	5 GB	7 GB	10 GB	50 GB	100 GB
Alfa	3500	10	35	3500	3500	3500	3500	3500	3500	4900	6650
Beta	700	2	105	700	700	700	1015	1225	1540	5740	10990
Gamma	350	1	175	350	350	525	1050	1400	1925	8925	17675
Delta	175	0,5	245	175	262.5	507.5	1242.5	1732.5	2467.5	12267.5	24517.5

Pris for forskjellig månedsbruk av datamengde ved bruk av den skisserte klassedelte prismodell

Prismodell C (50% av prisene i A)

Navn	Fastpris (NOK)	Datamengde (gigabyte)	Pris overskytende GB (NOK)	Kostnad for totalt GB-forbruk per måned (NOK)							
				0,5 GB	1 GB	2 GB	5 GB	7 GB	10 GB	50 GB	100 GB
Alfa	2500	10	25	2500	2500	2500	2500	2500	2500	3500	6650
Beta	500	2	75	500	500	500	725	875	1100	4100	7850
Gamma	250	1	67.5	250	250	375	750	1000	1375	6375	12625
Delta	125	0,5	175	125	187.5	362.5	887.5	1237.5	1762.5	8762.5	17512.5

Pris for forskjellig månedsbruk av datamengde ved bruk av den skisserte klassedelte prismodell

— — — —

Inntjening på månedsbasis med 45 000 brukere

45 000 brukere: Prismodell A

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	6750	33.75	67500 GB	18.9
Beta	15750	15.75	31500 GB	8.82
Gamma	15750	7.88	15750 GB	4.41
Delta	6750	1.69	3375 GB	0.945
Totalt	45000	59.07	120375 GB	33.075

Fortjeneste: 25.995 mill NOK per måned

45 000 brukere: Prismodell B (70% av prisene i A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	6750	23.625	67500 GB	18.9
Beta	15750	11.025	31500 GB	8.82
Gamma	15750	5.516	15750 GB	4.41
Delta	6750	1.183	3375 GB	0.945
Totalt	45000	41.349	120375 GB	33.075

Fortjeneste: 8.274 mill NOK per måned

45 000 brukere: Prismodell C (50% av prisene i A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	6750	16.875	67500 GB	18.9
Beta	15750	7.875	31500 GB	8.82
Gamma	15750	3.94	15750 GB	4.41
Delta	6750	0.845	3375 GB	0.945
Totalt	45000	29.535	120375 GB	33.075

Fortjeneste: - 3.54 mill NOK per måned

Inntjening på månedsbasis med 30 000 brukere

30 000 brukere (Prismodell A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	4500	22.5	45000 GB	12.6
Beta	10500	10.5	21000 GB	5.88
Gamma	10500	5.25	10500 GB	2.9
Delta	4500	1.125	2250 GB	0.63
Totalt	30000	39.375	78750 GB	22.01

Fortjeneste: 17.365 mill NOK

30 000 brukere (Prismodell B / 70% av A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	4500	15.75	45000 GB	12.6
Beta	10500	7.35	21000 GB	5.88
Gamma	10500	3.675	10500 GB	2.9
Delta	4500	0.7875	2250 GB	0.63
Totalt	30000	27.5625	78750 GB	22.01

Fortjeneste: 5.5525 mill NOK

30 000 brukere (Prismodell C / 50% av A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	4500	11.25	45000 GB	12.6
Beta	10500	5.25	21000 GB	5.88
Gamma	10500	2.125	10500 GB	2.9
Delta	4500	0.5625	2250 GB	0.63
Totalt	30000	19.6875	78750 GB	22.01

Fortjeneste: - 2.3225 mill NOK

Inntjening på månedsbasis med 15 000 brukere

15 000 brukere (Prismodell A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	2250	11.25	22500 GB	6.3
Beta	5250	5.25	10500 GB	2.94
Gamma	5250	2.625	5250 GB	1.47
Delta	2250	0.5625	1125 GB	0.315
Totalt	15000	19.6875	39375 GB	11.025

Fortjeneste: 11.025 mill NOK

15 000 brukere (Prismodell B / 70 % av A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	2250	7.875	22500 GB	6.3
Beta	5250	3.675	10500 GB	2.94
Gamma	5250	1.8375	5250 GB	1.47
Delta	2250	0.39375	1125 GB	0.315
Totalt	15000	13.78125	39375 GB	11.025

Fortjeneste: 2.75625 mill NOK

15 000 brukere (Prismodell C / 50% av A)

Abonnement	Antall brukere	Total inntekt (mill NOK)	Totalt data-forbruk	Volumbasert kostnad (28øre/MB) (i mill NOK)
Alfa	2250	5.625	22500 GB	6.3
Beta	5250	2.625	10500 GB	2.94
Gamma	5250	1.3125	5250 GB	1.47
Delta	2250	0.28125	1125 GB	0.315
Totalt	15000	9.84375	39375 GB	11.025

Fortjeneste: - 1.18125 mill NOK

A.3 Gjeldende DSL-priser

Prisene er hentet fra Telenors og Nextgentels hjemmesider.

Privat

Operatør	Hastighet (nedlink/opplink)	Pris (NOK/måned)	Etableringskostnad
NextGenTel	704/384	498	998
NextGenTel	1024/512	748	998
NextGenTel	2048/640	1138	998
NextGenTel	4096/640 - 8032/864	1898	998
NextGenTel	2312/2312	1598	998
Telenor	Inntil 704*	349	1695
Telenor	384	352	1695
Telenor	704	452	1695
Telenor	1024	652	1695
maksgrense på 1GB/måned, og deretter volumbasert prising			

Tabell 9.1: Gjeldende priser for ADSL-abonnement høsten 2002, privatmarkedet

Bedrift

Operatør	Hastighet (nedlink/opplink)	Pris (NOK/måned)	Etableringskostnad
NextGenTel	704/384	800	2500
NextGenTel	1024/512	995	2500
NextGenTel	2048/640	1200	2500
NextGenTel	4096/640 – 8032/864	2500	2500
NextGenTel	2312/2312	3998	5000
Telenor	640/256	2150	4500
Telenor	1024/384	3450	4500
Telenor	2048/448	3950	4500

Tabell 9.2: Gjeldende priser for ADSL-abonnement høsten 2002, bedriftsmarkedet

Bibliografi og referanser

- [1] RFC 2001 *TCP Slow Start, Congestion Avoidance, Fast Retransmit and Fast Recovery algorithms*: W. Richard Stevens, Januar 1997
[Online - <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2001.txt>]
- [2] Ian F. Akyildiz, Giacomo Morabito and Sergio Palazzo *Research Issues for Transport Protocols in Satellite IP Networks*, Comsoc June 2001, side 44-48
- [3] RFC 2488 *Enhancing TCP over Satellite Channels using Standard Mechanisms*: M Allman, D. Glover and L. Sanchez, January 1999
[Online - <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2488.txt>]
- [4] Mark Allman *Improving TCP performance over Satellite channels*. Masters Thesis, Ohio University, June 1997, 39 sider.
- [5] Hans Kruse *Performance Of Common Data Communications Protocols Over Long Delay Links: An Experimental Examination*. Proceedings of the 3rd International Conference on Telecommunication Systems Modeling and Design, 1995
[Online - <http://irg.cs.ohiou.edu/references/kruse.pdf>]
- [6] S. Oueslati-Boulaia, A. Serhrouchni, S. Tohmé, S. Baier and M. Berrada *TCP over Satellite links: Problems and Solutions*, Telecommunication Systems Journal, vol. 13 2000, side 199-212
- [7] Agne Nordbotten, Isabelle Tardy, Geir Røkke, Terje Tjelta, John Norbury, Michael Schmidt, Duccio Gerli, Gianfranco Vezzani, Sylvia Restivo, Horst Clausen and Hilmar Linder *EMBRACE IST-1999-11571; System requirements*, 1999.
[Online - www.telenor.no/fou/prosjekter/embrace/Open_Publications/Embrace%20Deliverable%20D4.pdf]
- [8] PriceWaterhouseCoopers på oppdrag fra Post- og Teletilsynet og samferdselsdepartementet *Kartlegging av det norske Internettmarkedet*, 2001
[Online - www.npt.no/no/bransjeinfo/nett_og_tjenester/Internett/hoering_internetrapport4.pdf]
- [9] Håvard Fossen *Må bredbånd strupes?*, Teleavisen, 27. november 2002
[Online - www.teleavisen.no/template/article.asp?id=1690]
- [10] Norsk Gallup, Gallup Intertrack, oktober 2002:
[Online - www.gallup.no/arch/img.asp?file_id=179934&ext=.ppt]
- [11] Høykom – dokumenter: Nera.pdf
[Online - www.hoykom.no]
- [12] Uninett – fiberskoleprosjektet
[Online - www.uninett.no/nln/fiberskoler]

- [13] David S. Bannahum *Be here now* Wired, november 2001
[Online - www.wired.com]
- [14] Pål Spilling *Internettets historie i Norge*, mars 1995
[Online - www.isoc-no.no/isoc-no/social/arpa-no.html]
- [15] Telecom.no: *Fildeling står for 60 prosent av nettrafikken*, 13. september 2002
[Online - www.telecom.no]
- [16] Latif Ladid, Tim Chown, Jordi Palet Martinez, Petri Mahonen, Joao Da Silva, Jose-Joaquim Fernandes, Peter Hovell, Ger van den Broek *IPv6-Task Force; Main Report*
[Online - www.ipv6tf.org/PublicDocuments/IPv6TF-Report.pdf]
- [17] Y Fun Hu, Gerard Maral and Erina Ferro *EU COST action 253; Service efficient Network Interconnection via Satellite*. John Wiley & Sons, New York, 2002, 243 sider (ISBN 0471 48669 8).
- [18] European Telecommunications Standards Institute (ETSI): *DVB-RCS 333, REV 6.0*, desember 2000
[Online - www.etsi.org]
- [19] Høykom forstudie: *Internett til skoler via satellitt*
[Online - www.hoykom.no]
- [20] RFC 793 *Transmission Control Protocol – Protocol specification*, DARPA Internet Program, september 1981
[Online - [ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc793.txt](http://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc793.txt)]
- [21] IT-avisen: *Filmgale bredbåndskunder*, 18. september 2002
[Online - www.it-avisen.no]
- [22] Digi.no: *Lover 50 Mbps trådløs Internett-linje*, 21. september 2002
[Online - www.digi.no]
- [23] Timeglass – Norsk nettside som monitorerer Internettforbruket i Norge.
[Online - www.timeglass.com]
- [24] Timothy Pratt og Charles W. Brostian *Satellitecommunications*. John Wiley & Sons, New York, 1986, 472 sider (ISBN 0471 87837 5).
- [25] Global VSAT Forum-Technology Trends
[Online - www.gvf.org/vsat_industry]
- [26] [Online - www.dvb.org]
- [27] [Online - www.aramiska.com]
- [28] [Online - www.ses-astra.com]

- [29] [Online - www.nera.no/wba]
- [30] [Online - www.flashnetworks.com]
- [31] [Online - www.mentat.com/skyx/whitepaper.html]
- [32] [Online - www.telenor.no/plus]
Tall hentet fra [Online - <http://privat.telenor.no/adsl123/?content=FAQ.ascx>]
- [33] [Online - www.tiscali.no]
- [34] [Online - www.bt.co.uk og www.btopenworld.com/satellite]
- [35] Kjell Ove Kalhagen og Markku Lähteenoja *The Economics of Providing Fixed Wireless Broadband Access (FWBA) Services in Different Geographic Areas*, FWBA world congress, 10. september 2002 Barcelona
- [36] Jan Edvard Thygesen *Bredbånd*, Norsk Forskningsråd 7. mars 2000
- [37] [Online - www.itu.int/itudoc/itu-t/rec/q/q1000up/q2392.html]
- [38] [Online - www.cs.helsinki.fi/u/jkiviniemi/MPEG.html]
- [39] RFC 1323 *TCP Extensions for High Performance*: V. Jacobson, R. Braden, D. Borman, mai 1992
[Online - <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc1323.txt>]
- [40] RFC 2018 *TCP Selective Acknowledgment Options*: M. Mathis, J. Mahdavi, S. Floyd, A. Romanov, oktober 1996
[Online - <ftp://ftp.rfc-editor.org/in-notes/rfc2018.txt>]