

Teknologivalg ved utbygging av ITS-nettverk

Eivind Greve Aubert

Master i kommunikasjonsteknologi
Oppgaven levert: Juni 2007
Hovedveileder: Steinar Andresen, ITEM

Oppgavetekst

Oppgaven vil drøfte mulige løsninger for å realisere ITS-nettverk i Norge, med delvis fokus på distribusjonsnettverket. Arbeidet vil for en stor del basere seg på prosjektene CALM og CVIS, og vil belyse nært forestående nye overføringsstandarder, spesielt 802.11p. Oppgaven vil videre vurdere mulige løsninger for å kombinere overføringsutstyr og infrastruktur langs veinettet, og se på hvilke synergieffekter dette kan gi. For å få oversikt over hvilke praktiske problemstillinger som kan oppstå i denne forbindelse, vil det være aktuelt å utforme en case oppgave.

Oppgaven gitt: 01. februar 2007

Hovedveileder: Steinar Andresen, ITEM

Forord

”Teknologivalg ved utbygging av ITS-nettverk i Norge” er en masteroppgave utarbeidet i forbindelse med avslutning av sivilingeniørstudiet Kommunikasjonsteknologi ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. Arbeidet har vært utført ved Institutt for telematikk i perioden februar 2007 fram til juli 2007.

Jeg vil benytte denne anledningen til å takke professor Steinar H. Andresen for faglig oppfølging og verdifull veiledning gjennom denne prosessen. Hans engasjement og genuine faginteresse har vært med på å styrke resultatet av denne oppgaven. Videre ønsker jeg å takke medstudent Bjørn-Viggo Hagan for alle nyttige innspill og faglige diskusjoner han har bidratt med gjennom dette semesteret. I tillegg fortjener Torstein S. Kaarstein ros for å ha hjulpet til med å klarlegge potensielle problemområder rundt en rent praktisk utbygging av ITS-nettverk. Dere har alle vært med på å styre arbeidet mitt i riktig retning gjennom dette semesteret.

Til slutt ønsker jeg å takke alle venner og familiemedlemmer som har kommet med oppmuntrende ord og støtte underveis i arbeidet.

Trondheim 29/06-2007

Eivind Greve Aubert

Sammendrag

Oppgaven tar for seg mulige løsninger for å realisere en utbygging av ITS-nettverk i Norge. I den forbindelse gis det en oversikt over to aktuelle ITS-forskningsprosjekter, overføringsmedier, problemstillinger knyttet til en ITS-utbygging, prosess for valg av nettverksteknolog og en aktuell plan for utbygging av ITS-teststrekke med tilkobling til NTNU's nettlab i Trondheim.

To forskningsprosjekter for ITS-systemer beskrives i oppgaven. De to er CALM (Continuous Air-interface Long and Medium range) og CVIS (Cooperative Vehicle Infrastructure Systems). CALM prosjektet har som mål å utvikle en lagdelt løsning for kontinuerlig eller delvis kontinuerlig kommunikasjon mellom kjøretøy og infrastruktur langs vei, i tillegg til kjøretøy seg i mellom. Utstyret som er forespeilet brukt i en slik kommunikasjonssituasjon er for det meste eksisterende teknologi med små modifikasjoner. CVIS prosjektet går ut på å teste og utvikle ny teknologi som gjør det mulig for kjøretøy å kommunisere og samarbeide med veiinstallasjoner og andre kjøretøy, på en sikker og effektiv måte. En stor del av teknologiene som er tenkt brukt i CVIS systemet er basert på løsninger fra CALM prosjektet. CVIS systemet definerer i tillegg en hel systemarkitektur for et moderne ITS-system, med stor fleksibilitet og støtte for framtidige utvidelser.

Overføringsmedier som gjennomgås i oppgaven er enten radiobaserte eller trådbaserte. Noen av teknologiene som beskrives har vært tilgjengelig i flere år, mens andre teknologier fremdeles er på forskningsstadiet. Av trådløseoverføringsmedier som beskrives finner vi en ny WIFI standard (802.11p), mobile bredbåndsteknologier og mobiltelefoni datanettverk. De trådbaserte teknologiene som beskrives er basert på kommunikasjon over optisk fiber, tvunnet kabel og vanlige strømkabler.

Problemstillinger som tas opp i forbindelse med utbygging av ITS-nettverk i Norge faller under kategoriene: geografi og demografi, frekvensressurser, skalering av nettverk, valg av distribusjonsnettverk, integrering av utstyr i eksisterende infrastruktur og synergieffekter. Noen av disse problemstillingene tar for seg helt spesielle norske forhold, mens andre er mer universelle problemstillinger.

En vurdering av hvilke teknologier som bør ligge til grunn ved utbygging av ITS-nettverk blir gitt i oppgaven, samt en oversikt over hvilke momenter som bør tas med i betrakningen når det skal avgjøres om en strekning skal bygges ut eller ikke. Ut ifra et antall forskjellige veiscenarier blir det gitt anbefalinger om teknologivalg og grad av dekning for ITS-nettverk.

En del av oppgaven omhandler en case-oppgave, hvor målet er å realisere et ITS-nettverk langs en strekning i nærheten av Trondheim. Motivasjonene for å sette opp et testanlegg er å få testet ut ny nettverksteknologi i tillegg til å gjøre Trondheim til en "Field Operational Test-Site" i forskningsprosjektet CVIS. Tre forskjellige teknologiske tilnæringsmetoder for utbygging av strekningen gis i oppgaven.

Stikkord for oppgaven:

ITS, CALM, CVIS, 802.11p, WAVE, WiMAX, HC-SDMA, UMTS, HSPA, CD-MA2000, EV-DO, EPON, xDSL, Field operational test site, NTNU nettlab, Trådløse Trondheim.

Figurer

3.1	CALM scenario med alternative overføringsmedier	6
3.2	CALM-systemarkitektur	7
3.3	CALM systemarkitektur i kjøretøy	8
3.4	CALM-IR enhet, fra det tyske bompengesystemet for lastebiler. . . .	10
3.5	Calm M5 skal ha radioprofiler som gir rundstråle og semirettet radio-kommunikasjon.	11
3.6	CVIS nettverkskonsept	14
3.7	Tegningen viser de tre forskjellige kategoriene verter.	15
3.8	Forholdene mellom de forskjellige CVIS-entitetene.	16
3.9	CVIS-subsystemer	18
3.10	Kjøretøy subsystemet	19
3.11	Veikant subsystemet	20
3.12	Sentrale subsystemet	21
3.13	CVIS ruterer	22
3.14	CVIS-vertsplattformen	24
4.1	Eksempel på intersymbol interferens fra multibane propagering	27
4.2	Kanal oversikt for 802.11p protokollen på 5.9GHz frekvensbåndet. . . .	27
4.3	Fordeling av tidsressurser mellom kontrollkanal og tjenestekanaler i 802.11p	28

4.4	Parametre i EDCA for de fire forskjellige trafikklassene: background, best effort, voice, video.	29
4.5	Prosess for kanal aksess i 802.11p	30
4.6	Effektiviteten til de forskjellige datamoduleringene.	31
4.7	802.16 MAC ramme	32
4.8	Båndbreddeskalering i WirelessMAN-sOFDM	33
4.9	Hard handover	34
4.10	Macro Diversity Handover	35
4.11	Fast Base Station Switching	35
4.12	Adaptiv antenne-teknikk	37
4.13	HC-SDMA ramme, med forskjellig størrelse på training sequensfeltene for opp-og nedlink for å bedre kunne utnytte frekvensressursene ved bruk av AA	37
4.14	Spredning av signalet ved hjelp av CDMA	39
4.15	Felles kanalressurs delt mellom brukerne i tidsplanet og vha. HS-PDSCH koder.	41
4.16	QPSK og 16QAM modulering i HSDPA [16]	42
4.17	Figuren viser hvordan systemet kan velge mellom to brukere med varierende link-forhold, og gi den med best forhold kanalkapasitet. [42]	43
4.18	cdma2000 EV-DO overføringshastigheter.	45
4.19	Multimodus optisk fiber	48
4.20	Singlemodus optisk fiber	48
4.21	Frekvensmultipleksing	49
4.22	4 x 40 Gb/s TDM til 160 Gb/s optisk tidsmultipleksing	50
4.23	Aktive og passive optiske nettverk.	51
4.24	Passivt nettverk delt på frekvensressurser (WDM-PON)	51
4.25	EPON topologi	52

4.26 EPON systemet med sentral node, passiv splitter og optiske nettverksenheter.	52
4.27 EPON nedstrøms og oppstrøms.	53
4.28 GATE og REPORT meldingsutveksling mellom OLT og ONU.	54
4.29 Konseptet ved kommunikasjon over el-nettverket.	56
5.1 Statistikk viser en klar trend for sentralisering rundt de største regionsentrene, samt tilflytting til kystområdene.	58
5.2 Frekvensområdet 5.9GHz satt av for ITS-bruk i Europa.	59
5.3 Eksempel på konseptet "The Tube". Aksesspunkt plassert inni standard norsk lyktestolpe levert av Ørsta Stål.	62
6.1 Oversikt over forskjellige vei-scenariene som vil bli gjennomgått	69
6.2 Scenarie 2: Nytt veianlegg, lavt trafikkgrunnlag, høy befolkningstetthet.	70
6.3 Scenarie 3: Nytt veianlegg, høyt trafikkgrunnlag, ingen nettverkstilkobling.	71
6.4 Scenarie 4: Høyt trafikkgrunnlag, nettverkstilkobling.	72
6.5 Scenario 6: Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, ikke strøm tilgjengelig.	73
6.6 Scenarie 7: Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, ikke nettverkstilkobling.	74
6.7 Scenarie 8: Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, nettverkstilkobling.	75
6.8 Valg av nettverksløsning - Nytt veianlegg	78
6.9 Valg av nettverksløsning - Eksisterende veianlegg	79
7.1 Kart over aktuell strekning for utbygging av testanlegg.	83
7.2 Alternativ 1 - passiv fiber til hvert enkelt aksesspunkt	85
7.3 Forholdet mellom NTNU Nettlab og testanlegg for ITS-teknologi	85
7.4 M 0,6 kabel. Tyve par tvinnede kabler belagt med skjerming.	86

7.5	Oppnåbar datarate på et par tvinne kabler i forhold til rekkevidde, ved hjelp av ADSL2+ og VDSL2	87
7.6	Alternativ 2: xDSL teknologi	87
7.7	Alternativ 3: Kommunikasjon over strømledning	89
7.8	Eksempel på installasjon av PLC anlegg fra OPERA testprosjektet i Madrid, Spania.	89
.1	Calm M5 tjenester	I

Innhold

Forord	ii
Sammendrag	iii
1 Innledning	1
2 Bakgrunn	3
3 CALM og CVIS	5
3.1 CALM - Continuous Air-interface Long and Medium range	5
3.1.1 CALM-konseptet	5
3.1.2 CALM-systemarkitektur	6
3.1.3 CALM spesifiserte aksessmedier	9
3.2 CVIS - Cooperative Vehicle Infrastructure Systems	13
3.2.1 CVIS-konseptet	13
3.2.2 Sentraleverter	14
3.2.3 Veistrekningsverter	17
3.2.4 Mobileverter	17
3.2.5 CVIS-subsystemene	18
3.2.6 CVIS-plattformen	21
4 Overføringsmedier	25

4.1	Radiobaserte overføringsmedier	25
4.1.1	Standarder fra internett-verdenen	26
4.1.2	Standarder fra telematikk-verdenen	38
4.2	Trådbaserte overføringsmedier	46
4.2.1	Optisk fiber	46
4.2.2	Twisted pair	54
4.2.3	Kommunikasjon over strømledning	55
5	Problemstillinger	57
5.1	Geografi og demografi	57
5.2	Frekvensressurser	58
5.3	Skalering av ITS-nettverk	60
5.4	Integrering i utstyr	60
5.5	Synergieffekter	61
5.6	Distribusjonsnett	63
6	Betraktninger	64
6.1	Momenter som veier inn ved valg av teknologi	64
6.1.1	Trafikkgrunnlag på strekningen	65
6.1.2	Ulykkesstatistikk på strekningen	65
6.1.3	ITS-tjenester som skal tilbys	65
6.1.4	Avstand fra tilkoblingspunkt og tilgjengelighet av trekkør for fiber	66
6.1.5	Prosjekterte oppgraderinger av vei og infrastruktur langs strekning	66
6.1.6	Tilgjengelighet på strøm	67
6.1.7	Natur i området	67
6.2	Utbyggingsscenarier	68

6.2.1	Nytt veianlegg	68
6.2.2	Eksisterende veianlegg	72
7	Case	80
7.1	Beskrivelse av strekning	81
7.2	Infrastruktur langs strekningen	81
7.2.1	Generelle installasjoner langs veien	81
7.2.2	Nettverksressurser	81
7.2.3	Antagelser	82
7.3	Alternativ 1 - EPON nettverk	84
7.4	Alternativ 2 - xDSL teknologi	86
7.5	Alternativ 3 - Kommunikasjon over strømledning	88
8	Konklusjon	90
9	Videre arbeid	91
	Bibliografi	93

Kapittel 1

Innledning

Interessen for ITS-nettverk er idag stor, både innenfor fagmiljøer og nasjonale vei-myndigheter. Bakgrunnen for dette er ønsket om å gjøre veitrafikken mer trafikk-sikker, effektiv og miljøvennlig i framtiden.

Etter flere år med forskning og utvikling kan det nå se ut til at vi nærmer oss teknologiske løsninger på mange av de problemene som tidligere har stått i veien for ITS-nettverk. Vi har nå stabile digitale overføringsstandarder for både radio- og lyskommunikasjon som gir høy overføringsrate med lav responstid. I tillegg har vi utviklet teknologi for mobilitetshåndtering, slik at en tilkobling kan beholdes selvom en node beveger seg gjennom et nettverk, eller flytter seg helt over på et annet nettverk ved hjelp av en annen aksessteknologi.

Tjenester som etterhvert kan tilbys langs veier med ITS-dekning vil kunne være mange, og vil avhenge av hvilket aksessmedie som brukes på tilkoblingen. En hel rekke med tjenester er allerede definert og flere vil nok dukke opp etterhvert som vi blir bedre kjent med mulighetene et slikt nettverk kan tilby. Foreløpig kan man i grove trekk dele opp tjenestene i tre grupper:

- Sikkerhetstjenester
- Nyttetjenester
- Underholdningstjenester

Interessen for utvikling av nye sikkerhetstjenester for kjøretøy har helt klart vært den største pådriveren for utvikling av ITS-teknologi. Hvert eneste år skades et stort antall mennesker som følge av trafikkulykker. Dette er ikke bare personlige

tragedier for de involvert men også en unødvendig økonomisk belastning som legges på samfunnet.

Teknologibaserte sikkerhetstjenester for kjøretøy er vi allerede godt kjent med, eksempelvis abs-bremser og air-bag. Disse vet vi har bidratt mye til å senke statistikken for antall døde i trafikken. Men dette er på langt nær nok, ettersom målet bør være å utvikle transportsystemer som ikke gir drepte eller skadede i det hele tatt. Med et slikt ambisiøst mål i tankene er det klart at vi etterhvert må utvikle teknologier som tar hensyn til alle menneskelige begrensningene som finnes, både med tanke på sanser og oppmerksomhet, og utvikle teknologi som kan støtte føreren i kritiske situasjoner. Bruk av nettverksteknologi for å utvikle nye sikkerhetstjenester som kan "se framover" i kjørebanelen og forutsi hendelser som vil kunne inntreffe vil derfor være en naturlig evolusjon i utviklingen av sikrere transportsystemer.

Av andre tjenester et ITS-nettverk kan tilby, kan det nevnes veipricing, hjelp til å finne parkeringsplass, oppdatering av kartdata, styring av trafikkflyt, betalingstjenester, stedbemt informasjon og diverse underholdningstjenester.

Denne oppgaven vil se på teknologiske utfordringer vi vil stå ovenfor ved en utbygging av ITS-nettverk i Norge. I hovedsak tar oppgaven utgangspunkt i arbeidet som er gjort på CALM og CVIS prosjektene, og har som mål å foreslå generell løsninger for utbygging av ITS-nettverk i Norge. I tillegg vil det bli gitt et konkrete forslag på hvordan Trondheim by kan gjøres om til et "Field Operational Test site" for ITS-forskningsprosjektet CVIS.

Kapittel 2

Bakgrunn

Arbeidet som er gjort i denne oppgaven støtter seg i hovedsak på arbeid gjort i forskningsprosjektene CALM og CVIS. Dette arbeidet blir forklart i detalj i det neste kapittelet. I tillegg støtter oppgaven seg på allerede utviklet nettverksteknologi fra standareringsorganene: IEEE, ISO, ITU, 3gpp og 3gpp2.

Her i Norge finnes det i hovedsak tre aktører i tillegg til NTNU som har jobbet mye ITS-problematikk over de siste årene. Disse tre er Sintef, Statens Vegvesen og Q-Free. Nedenfor følger en kort oppsummering over hvilket arbeid hver enkelt aktør har gjennomført og hvilket arbeid som nå er underveis:

Sintef startet allerede i 2003/2004 prosjektet "Den intelligente vei" under daværende avdeling Veg og Samferdsel. Arbeidet strakk seg fram til høsten 2005 og konkluderte med at en videreføring av arbeidet og en realisering av et fullskala ITS-laboratorium var ønskelig. Forprosjektet "Den instrumenterte vei" ble så påbegynt høsten 2005 av Sintef Transportsikkerhet og -informatikk, og en rapport ble lagt fram i juli 2006. Sintef har lenge vært med i det europeiske prosjektet CVIS og for tiden arbeider de blant annet med design av CVIS antennemodul.

Statens Vegvesen har lenge vært interessert i ITS-løsninger og har gjennomført flere testprosjekter innefor dette temaet de siste årene. "ITS på veg" var et prosjekt som ble gjennomført i perioden 2002-2005 og som hadde som mål å "oppnå mer effektiv, sikker og miljøvennlig utnyttelse av tilgjengelig vegnett". Uttalte delmål for dette prosjektet var: optimalisering av datagrunnlag, utprøving av systemer og konsekvensutredning for bruker/samfunn. "Atferdsanalytisk laboratorium" er et samarbeidsprosjekt mellom Statens Vegvesen, Veg og trafikkfagligsenter, HiNT, NTNU og Sintef. Diverse prosjekter har blitt gjennomført i dette samarbeidet og foregår fremdeles. "Nullvisjonsprosjektet" var et trafikkisikkerhetsprosjekt som utført i perioden 2003 - 2006. Navnet Nullvisjonsprosjektet henspiller til en framtidvisjon hvor det

ikke finnes drepte eller skadede som følge av veitrafikk. Prosjektet tok for seg forskjellige trafikksikkerhetstiltak, deriblant utforming av veier og kryss, veimerking, belysning og kjøretøyteknologi.

Q-Free er en norsk bedrift som har spesialisert seg på utvikling av automatiske bompenge-systemer. Bedriften er den ledende leverandøren av slike systemer i Europa, og har vært dypt involvert i både CALM og CVIS forskningsprosjektene fra tidlig av. Bedriften har investert betydelige ressurser på å være med på å styre utviklingen av neste-generasjons veiprisingsystem, og i den forbindelse alt som har med nye kommunikasjonssystemer for kjøretøy i fart. Arbeidsgruppe SWG 16.0 - systemarkitektur i CALM prosjektet ledes av Knut Evensen ved Q-Free.

Kapittel 3

CALM og CVIS

3.1 CALM - Continuous Air-interface Long and Medium range

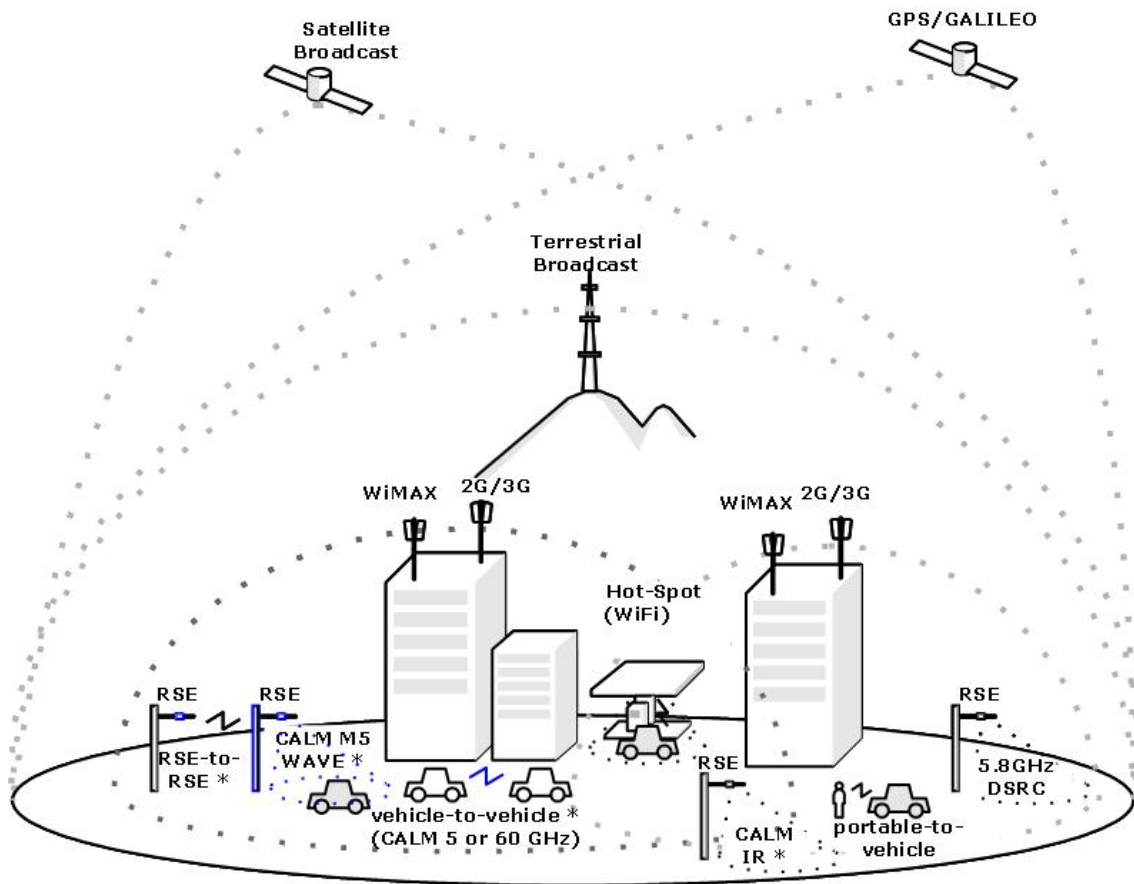
CALM-prosjektet er en del av ISO og ETSI sine standarderingsprosjekter og skal resultere i standardene ISO CALM TC204 og ETSI ERM TG37[55]. Målsetningen er å utvikle en lagdelt løsning for kontinuerlig eller delvis kontinuerlig kommunikasjon mellom kjøretøy og infrastruktur langs vei, og mellom kjøretøy seg i mellom. Arbeidet tar utgangspunkt i teknologi tilgjengelig allerede idag, men legger også til rette for bruk av nye overføringsteknologier som kan bli tilgjengelige i framtiden.

3.1.1 CALM-konseptet

CALM-konseptet går ut på å utvikle en standardisert systemarkitektur som tillater kjøretøy å være i kontakt med installasjoner langs vei og med andre kjøretøy, uten å ende opp med å ha låst seg til bare en eller få overføringsstandarder[20]. CALM arbeidet er derfor ikke fokusert på å utvikle en universel overføringsstandard som kan brukes overalt i verden, men har heller slått seg til ro med tanken om at nettverksforholdene kommer til å variere både fra sted til sted, og fra nasjon til nasjon. Arbeidet har derfor fokusert på utviklingen av en systemarkitektur som tillater alle egnede datanettverk å benyttes, uten å måtte binde seg til en enkelt teknologi.

Det som gjør CALM arbeidet interessant er hvordan det metodisk har blitt bygget opp en arkitektur som gjør det mulig å ha en kontinuerlig kommunikasjon mellom kjøretøy og infrastruktur langs vei, selv om kjøretøyet beveger seg ut av deknings-

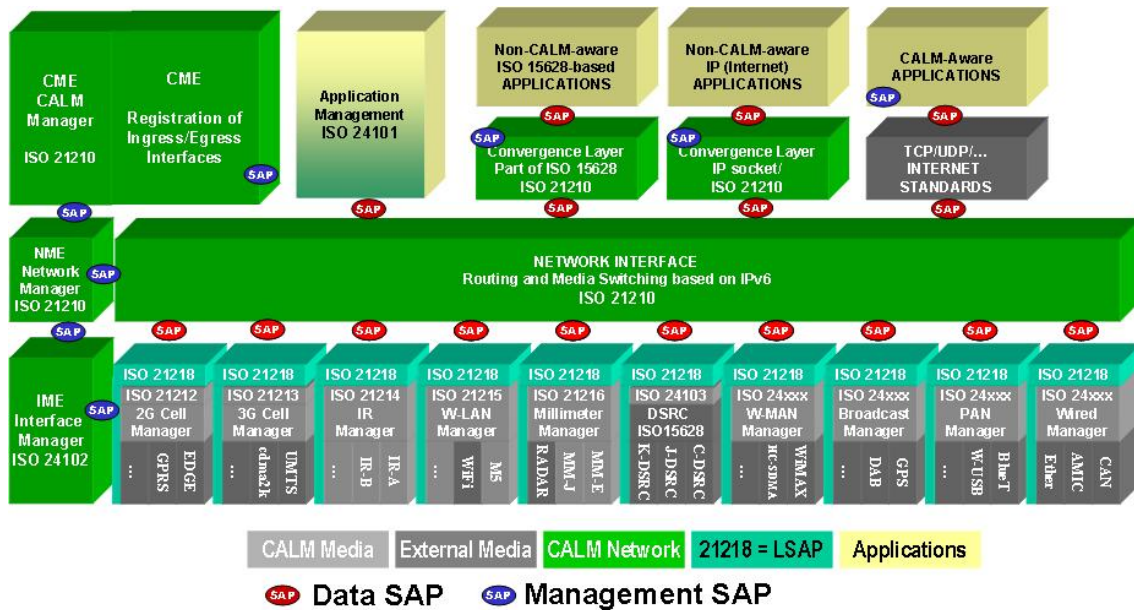
området for et overføringsmedium og over i et annet. CALM-ruteren sørger for at tilkoblingen beholdes uavhengig av hvilket nettverk som er tilgjengelig, og velger det mediumet som vil være best egnet ut ifra de tjenestekrav som stilles. Selve valget av overføringsmedium skjer usynlig for brukeren, slik at brukeren ikke aktivt trenger å forholde seg til hvilke nettverk som er tilgjengelige i området. Korte avbrudd vil kunne oppleves i skiftet mellom overføringsmediene, og båndbredden vil kunne reduseres merkbart, men nettverkstilkoblingen vil fortsatt være tilgjengelig[22].



Figur 3.1: CALM scenario med alternative overføringsmedier

3.1.2 CALM-systemarkitektur

CALM-systemarkitekturen er bygd opp slik at den skal være i stand til å støtte både ip-basert og ikke ip-basert kommunikasjon[21]. Særlig meldinger som ikke kan forsinkes kan det bli aktuelt å sende uten bruk av ip-pakker, som for eksempel bil-til-bil sikkerhetsmeldinger og bomring passeringsmeldinger.



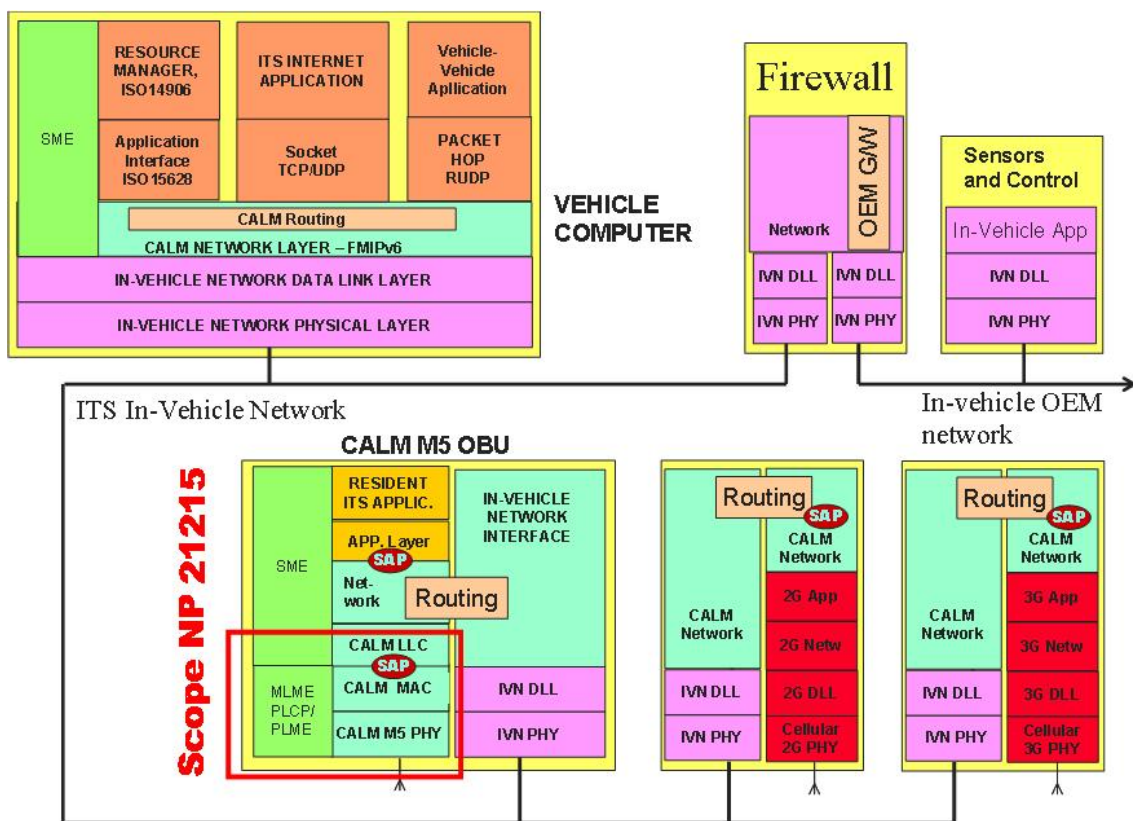
Figur 3.2: CALM-systemarkitektur

Som vi ser i figur 3.2 er det definert en rekke forskjellige overføringsstandarder i CALM, og videre utvidelser vil også være mulig. Hvert overføringsmedium vil se tilsynelatende likt ut ovenfor CALM-nettverkslaget og CALM-administrasjonslaget. Systemarkitekturen støtter i tillegg til CALM-applikasjoner andre applikasjoner som ikke baserer seg på CALM, som enten ikke trenger nettverkstilkobling i det hele tatt eller som bare trenger nettverkstilkobling uten støtte for media switching.

Den fullstendige systemarkitekturen for hvert enkelt kjøretøy er illustrert i 3.3, viser at systemet er bygd opp av flere forskjellige komponenter. Disse kan grovt deles inn i:

- CALM-datamaskin
- CALM-ruter
- Internt nettverk
- Gateway
- Kjøretøy sensorer/brytere

CALM-datamaskinen er der både CALM-applikasjoner og andre applikasjoner skal utføres.



Figur 3.3: CALM systemarkitektur i kjøretøy

CALM-ruteren skal sørge for kontinuerlig tilkobling til ITS-nettverket, så fremt det er mulig. Ruter funksjonaliteten kan fordeles på en eller flere rutere.

Det interne nettverket består av to deler: det standarderte ITS-nettverket som er koblet sammen ved hjelp av ethernet kabler og hver enkelt bilprodusents eget datanettverk i kjøretøyet.

Gatewayen skal skille mellom det standarderte ITS-nettverket internt i kjøretøyet og de proprietære nettverket fra den spesifikke bilprodusenten. Etersom hver enkelt bilprodusent vil være ansvarlig for sikkerheten til sine kunder, vil det være et krav om å kunne skille mellom de kritiske kontrollsystemene man finner i kjøretøy og ITS-systemet.

Kjøretøy sensorer/brytere vil være tilgjengelige for ITS-systemet gjennom gatewayen.

3.1.3 CALM spesifiserte aksessmedier

Mobil nettverk

CALM legger til rette for bruk av både 2. og 3. generasjons mobilnettverk for bruk til enkle ITS-tjenester. GSM har den fordelen at det er et allestedsnærværende nettverk som finnes i svært mange land, og de aller første ITS tjenestene basert på to-veis kommunikasjon ved hjelp av GSM finnes allerede i utvalgte nyere biler, eksempelvis biler av merkene Volvo og BMW. Tjenesten som har blitt lansert er en nødhjelpstjeneste, hvor bilene sender GPS lokasjonene sine til en nødhjelpssentral hvis kjøretøyet merker at det har vært involvert i en alvorlig ulykke eller nødhjelpsknappen blir trykket inn [54]. Begrensningene i overføringskapasitet og responstid gjør derimot at GSM ikke er egnet til å utføre ITS-tjenester som krever kontinuerlig tilkobling og høy kapasitet.

3. generasjons mobilnettverk som UMTS er også aktuelle som overføringsmedier, med høyere overføringskapasitet og kortere responstid enn det GSM kan tilby. Ulempen med UMTS i forhold til GSM er den begrensede dekkningen det kan tilby, ettersom cellestørrelsen er betraktelig mindre. Dataratene som støttes i UMTS er nå maksimalt 7.2Mb/s i nedlink, og 1.4Mb/s i opplink, ved bruk av HSPA.

Det er foreløpig uklart hvor stor rolle mobil nettverk kan komme til å spille i framtidige ITS-systemer. Tidligere arbeid utført i CALM-prosjektet har kommet fram til at tilkoblingsprotokollene og dataratene tilgjengelig så langt har vært for dårlige til at 3G nettverket kunne få noen stor rolle i et ITS-system, men forbedringer på protokoller og overføringsteknikker gjør at dette vil kunne endres i løpet av få år.

Siden lanseringen av de første UMTS spesifikasjonene i år 2000 har responstid og overføringskapasitet blitt forbedret betraktelig, og enda et nytt sett med UMTS spesifikasjoner (Release 7) er planlagt ferdigstilt i løpet av 2007. Her vil fokus være å forbedre responstid, overføringskapasitet og støtte for real-time applikasjoner.

Infrarød

Infrarød teknologi er i deler av verden allerede i bruk idag i realiseringer av bompengestallasjoner. Fordelene med infrarøde systemer er at de kan tilby svært høye datarater, rettede overføringer og at det allerede nå finnes relativt små og rimelige mottakere på markedet.



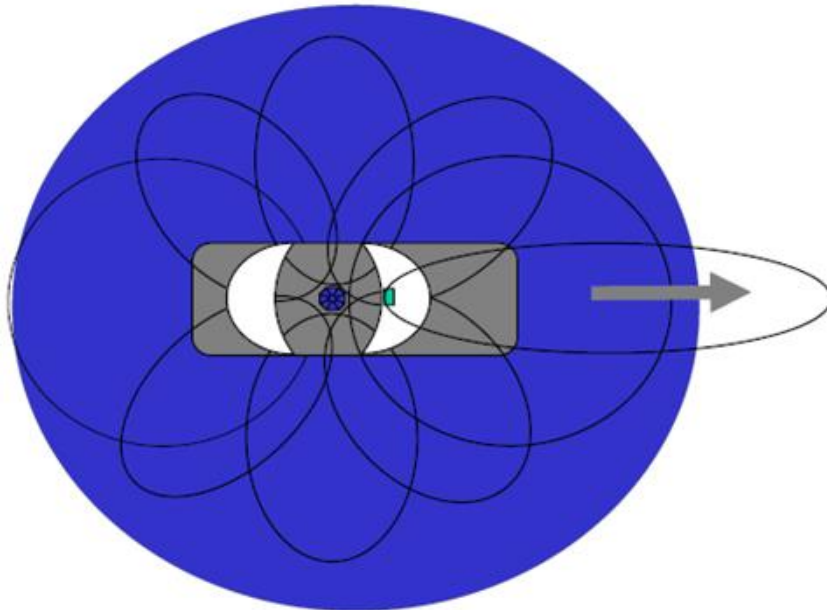
Figur 3.4: CALM-IR enhet, fra det tyske bompengesystemet for lastebiler.

Overføringshastigheten kan dynamisk tilpasses til 1, 2, 8, 16, 32, 64 og 128 Mbit/s, avhengig av signal/støy-forholder. Tiden det tar å sette opp en tilkobling er også svært lav, forsinkelsen er ikke mer enn maks 10ms. Spredningen av infrarøde signaler kan justeres. Avhengig av hvilke mål som er satt for kommunikasjonen. Profilene som støttes er enten punkt-til-punkt, punkt-til-multipunkt, multipunkt-til-multipunkt, broadcast eller multicast. Tester utført i Tyskland har vist at det er mulig å kommunisere mellom to møtende kjøretøy, begge kjørende i 100km/t i motsatte retninger, med 2-3 kjørefelt seg i mellom ved hjelp av infrarød. [38]

Infrarøde systemer vil være svært godt egnet i situasjoner der enten posisjonsavhengig data er påkrevd, et høyt datavolum må overføres eller høy overføringsstabilitet er ønsket. Slike systemer vil heller ikke kunne forstyrre andre radiobaserte systemer med elektromagnetisk stråling, og kan derfor brukes i situasjoner der det stilles strenge krav til stråling.

WLAN

CALM legger til rette for å støtte tidligere og kommende WLAN standarder, og da særlig WLAN standarden IEEE802.11p. Den kommer til å ha en stor rolle i ITS-systemet. IEEE802.11p standarden går også under betegnelsene CALM M5 og WAVE¹. Denne WLAN standarden er spesial laget for kjøretøy i trafikk og er forespeilet brukt både i kjøretøy-til-kjøretøy kommunikasjon og infrastruktur-til-kjøretøy kommunikasjon. Teknologien tillater antenner som gir rettet kommunikasjon så vel som rundstråle kommunikasjon, noe som gjør den egnet i svært mange situasjoner. Frekvensområdet som er satt av til CALM M5 er 5.85-5.925 GHz[19].



Figur 3.5: Calm M5 skal ha radioprofiler som gir rundstråle og semirettet radiokommunikasjon.

Grunnen til at denne overføringsstandarden til tider blir omtalt i ITS-publikasjoner som CALM M5 og til tider IEEE802.11p, er fordi de to forskjellige uttrykkene om-

¹Wireless Access for Vehicular Environments

fatter forskjellige detaljnivåer. CALM M5 benytter seg av fysisk- og MAC-lag fra 802.11p, men inneholder også tilleggsspesifikasjoner for frekvensområdet som skal benyttes, effektbruk, reguleringer av domene administrasjon, radiobølge profil og retningslinjer for samhandling med med andre overføringsmedier, eksempelvis DSRC

En grundigere gjennomgang av 802.11p standarden kommer i neste kapittel som omhandler overføringsmedier.

Millimeter-radiobølger 63-64 GHz

Millimeter-radiobølger er aktuelle som overføringsmedie i CALM-systemet, siden de har svært gunstige egenskaper i spesielle situasjoner. De fysiske egenskapene til radiobølger på svært høye frekvenser gjør at de har en lav spredning på signalet og kan støtte høye overføringsrater. Dette som gjør de godt egnet til rettede overføringer enten mellom bil-til-bil, bil-til-infrastruktur eller infrastruktur-til-infrastruktur kommunikasjon.

Overføringskapasiteten til CALM MM er i størrelsesorden flere hundre Mb/s, med en rekkevidde begrenset til et par hundre meter grunnet atmosfæriske dempinger. Kostnadene forbundet med millimeter-radiobølge utstyr har historisk vært svært høy, men med utviklingen av nye GaAs-baserte MMIC² gjør at kostnadene ser ut til å komme ned på et akseptabelt nivå [25].

CALM MM er forespeilet brukt som komplement til infrarøde overføringer i situasjoner der det er behov for rettede overføringer.

DSRC

Dedicated Short Range Communications er idag den mest utbredte ITS teknologien som er bruk, og da særlig til oppgaver som bompenger-innsamling og aksesskontroll. DSRC er standardert gjennom CEN³ og har sitt utspring fra diverse europeiske forskningsprosjekter. Teknologien brukes idag i store deler av Europa, Asia, Sør-Amerika, Australia og Japan, og har vist seg å være en svært god teknologi for kommunikasjon mellom infrastruktur og kjøretøy. Store investeringer i DSRC anlegg betyr at det vil være mange aktører som fortsatt vil ønske å benytte seg av denne overføringsteknologien.

CALM legger til rette for videre bruk av DSRC på 5.8 GHz, i tillegg til begrenset

²integreerte monolitiske mikrobølge kretser

³Comité Européen de Normalisation

støtte for andre systemer som tilfredstiller ISO 15628 standarden. ISO standarden ble opprinnelig laget for å kunne tilby DSRC standarden med et applikasjonslag, og tilbyr kun begrenset funksjonalitet. Det gjør det i det minste mulig å støtte også eldre DSRC systemer uavhengig av hvilke frekvens de benytter seg av.

Mobilt bredbånd

CALM-arkitekturen legger til rette for bruk av mobilt bredbånd, i form av mobil WiMAX (802.16e) og HC-SDMA (802.20). Disse mediene er tiltenkt en rolle i tettbygde strøk der det ikke er økonomisk gjennomførbart eller av andre grunner egnet å sette opp et eget CALM-nettverk langs veien. Begge standardene kan støtte soft-handover mellom basestasjonene i hastigheter over 100km/t, og kan derfor være egnede som lavkostnads ITS-nettverksaksess for kjøretøy. Tjenestene som kan tilbys over en slik aksess vil være begrenset i forhold til utvalget av tjenester ved bruk av andre CALM-aksessmetoder.

Satelitt

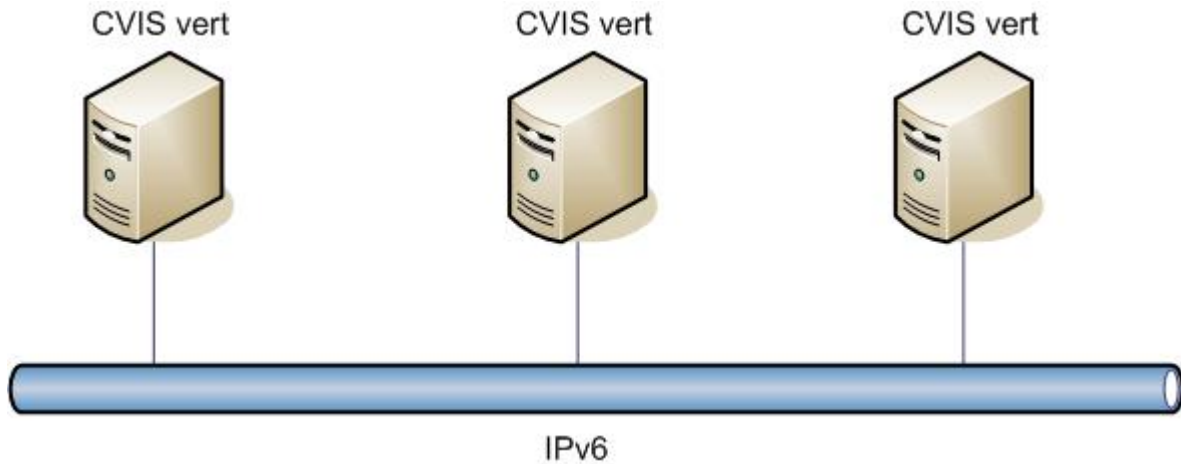
Satelittkommunikasjon er også et alternativ i CALM-systemet med den fordel at det har en global dekning. Kostnadene forbundet med satelittkommunikasjon er generelt svært høye, og det er i såfall bare noen få tjenester det kan være aktuelt å gjennomføre over dette mediet, eksempelvis informasjon om livstruende kræsj i områder der det ikke finnes dekning av noe annet nettverk.

3.2 CVIS - Cooperative Vehicle Infrastructure Systems

CVIS-prosjektet er et europeisk forskningsprosjekt hvor målsetningen er å teste og utvikle ny teknologi som gjør det mulig for kjøretøy å kommunisere og samarbeide med veiinstallasjoner og andre kjøretøy, på en sikker og effektiv måte. [12]

3.2.1 CVIS-konseptet

CVIS-systemet er basert på en peer-to-peer tankegang, der alle nodene er koblet sammen ved hjelp av IPv6 protokollen. Systemet vil derfor være i stand til å håndtere mobilitet på lik linje med andre IPv6 nettverk. [14]



Figur 3.6: CVIS nettverkskonsept

Vertene tilhører en av tre kategorier: sentraleverter, veistrekningsverter eller mobilerverter. Hver av disse vertene kan påta seg forskjellige roller og oppføre seg som både klient og tjener alt ettersom situasjonen.

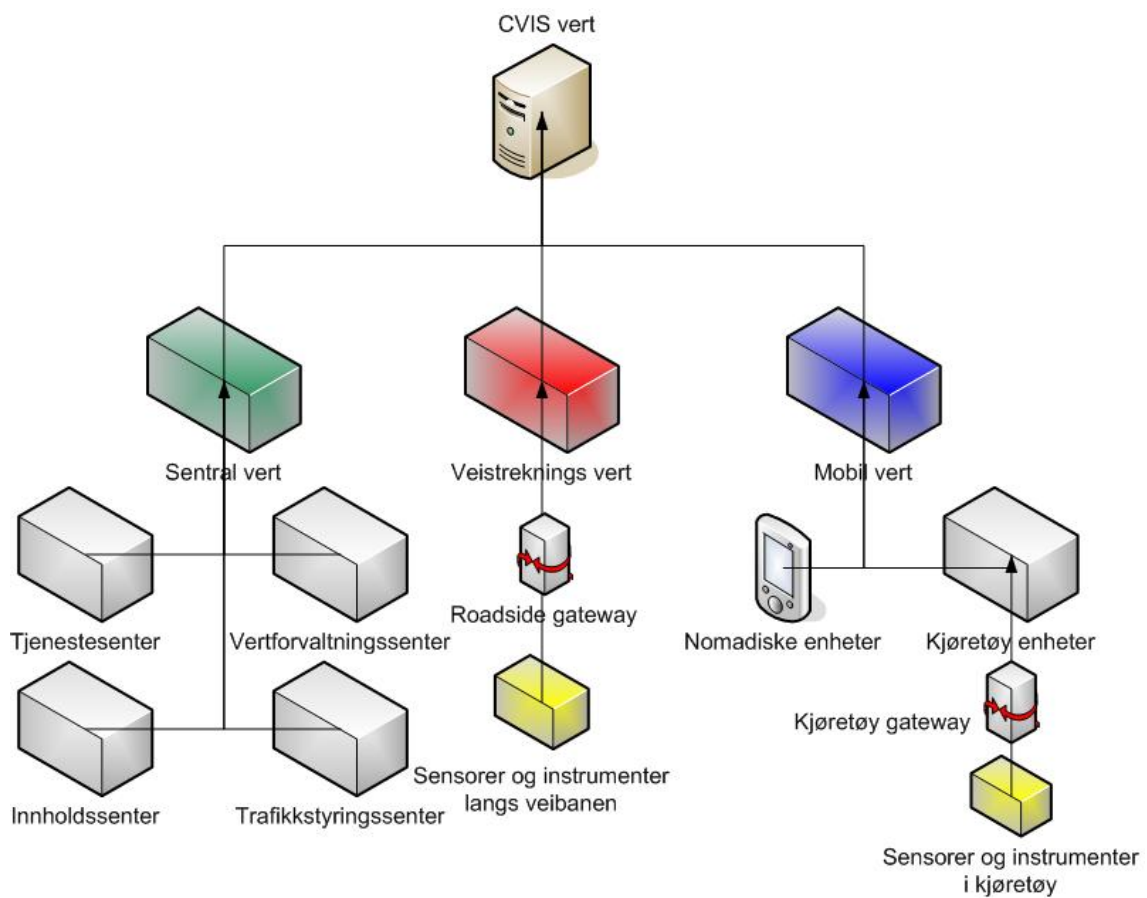
3.2.2 Sentraleverter

Tjenestesentre

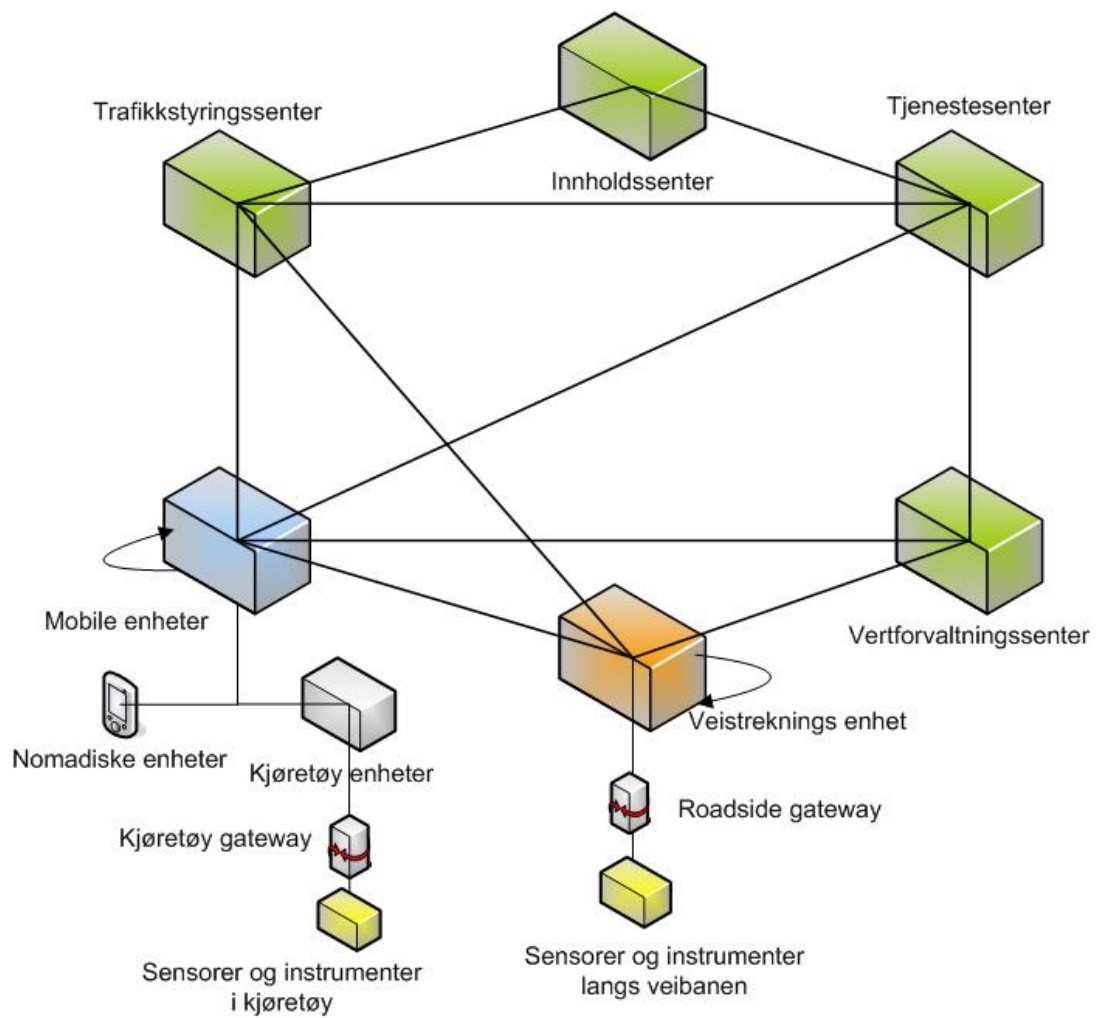
Enhetene som kalles tjenestesentre er ansvarlige for ett eller flere ITS-aspekter i et eller flere områder. Når en bruker skal ta i bruk en tjeneste tar den mobileenheten kontakt med et tjenestesenter for å utveksle den informasjon som trengs for å benytte seg av tjenesten. Tjenestesentrene får så ansvaret med å hente inn data fra de innholdssentrene som trengs for å kunne tilby tjenesten, og for å samarbeide med trafikkstyrings sentrene slik at tjenesten vil støtte de overordnede trafikkstyringsmålene.

Innholdssentre

Innholdssentre tilbyr rådata fra forskjellige kilder til verter i CVIS-nettverket. Dataene kan for eksempel komme fra sensorer langs veibanen og tilbys tjenestesentre som så kan prosessere dataene og tilby en tjeneste til brukerne.



Figur 3.7: Tegningen viser de tre forskjellige kategoriene verter.



Figur 3.8: Forholdene mellom de forskjellige CVIS-entitetene.

Trafikkstyringssentre

Disse enhetene kontrolleres av ansvarlige veimyndigheter og brukes til å administrere trafikkflyten slik som de ser det som hensiktsmessig. Her i Norge vil det nok være de fem regionale sentralene til Vegtrafikksentralen, i henholdsvis Oslo, Bergen, Porsgrunn, Trondheim og Mosjøen, som vil være ansvarlige for dette.

Vertforvaltningssentre (Host Management Centres)

Vertforvaltningssentrene støtter fjernadministrasjon av mobile- og veistrekningsverter. Dette innebærer bl.a. klient registrering, autentisering, abonering på tjenester, tjenestetilbydning, tjenesteapplikasjons nedlasting/oppgradering pluss alle andre administrasjonsprosedyrer som trengs for klientsystemer. Vertforvaltningssentrene tar vare på flere forskjellige versjoner av programvarepakker for forskjellige typer klienter og tillater klientsystemer å bla igjennom tjenstepakkene og velge de som passer for klienten. Hvis en klient laster ned en ny tjenstepakke blir vertforvaltningssentret ansvarlig for å informere tjenestesenteret om dette, slik at det kan gjøre tjenesten tilgjengelig for klienten.

Home agent

Home agent gir støtte for IPv6 mobilitet i CVIS-nettverket. For mere informasjon om IPv6 mobilitet, se [3].

3.2.3 Veistrekningsverter

Veistrekningsvertene er ansvarlig for en eller flere veistrekningsverter. Den har som oppgave å samle inn data og å styre det som er av veiinstrumenter innenfor sitt ansvarlige veiområde. Dette kan være å lese av data fra diverse sensorer, styre trafikklys, kameraer, variable skilt etc.

3.2.4 Mobileverter

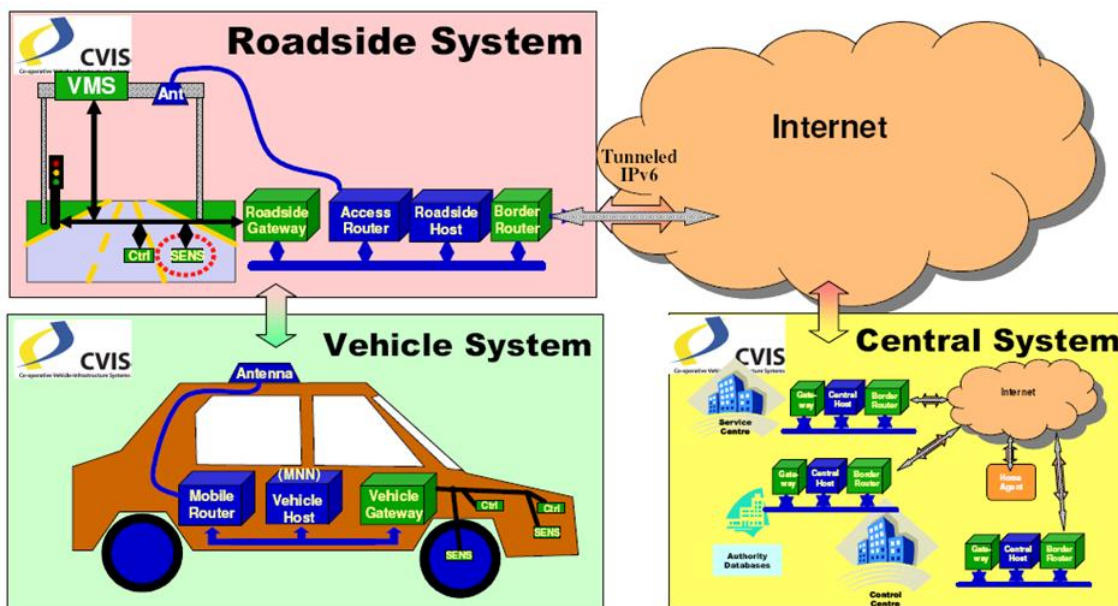
De mobilevertene er av to typer: nomadiskeenheter og kjøretøyenheter. De er begge kontinuerlig tilkoblet CVIS-nettverket, og kan kommunisere med både veistrekningsverter og sentraleverter.

Kjøretøyenheter er monterte i kjøretøyet og har tilgang til sensorer og instrumenter i bilen via en gateway. Gatewayen fungerer som interface mellom CVIS-verdenen og den aktuelle bilprodusentens teknologi i bilen, og gjør allerede utviklet bilteknologi tilgjengelig for bruk i CVIS-tjenester. Dette kan for eksempel være avlesning av temperatur, hastighet eller trykk på bremsepedalen.

De nomadiske enhetene omfatter PDA'er og mobiltelefoner, og fungerer uavhengig av kjøretøyet. Det kan likevel være mulig for en nomadisk enhet å fungere som en kjøretøy enhet dersom den er tilkoblet kjøretøyets internettverk.

3.2.5 CVIS-subsystemene

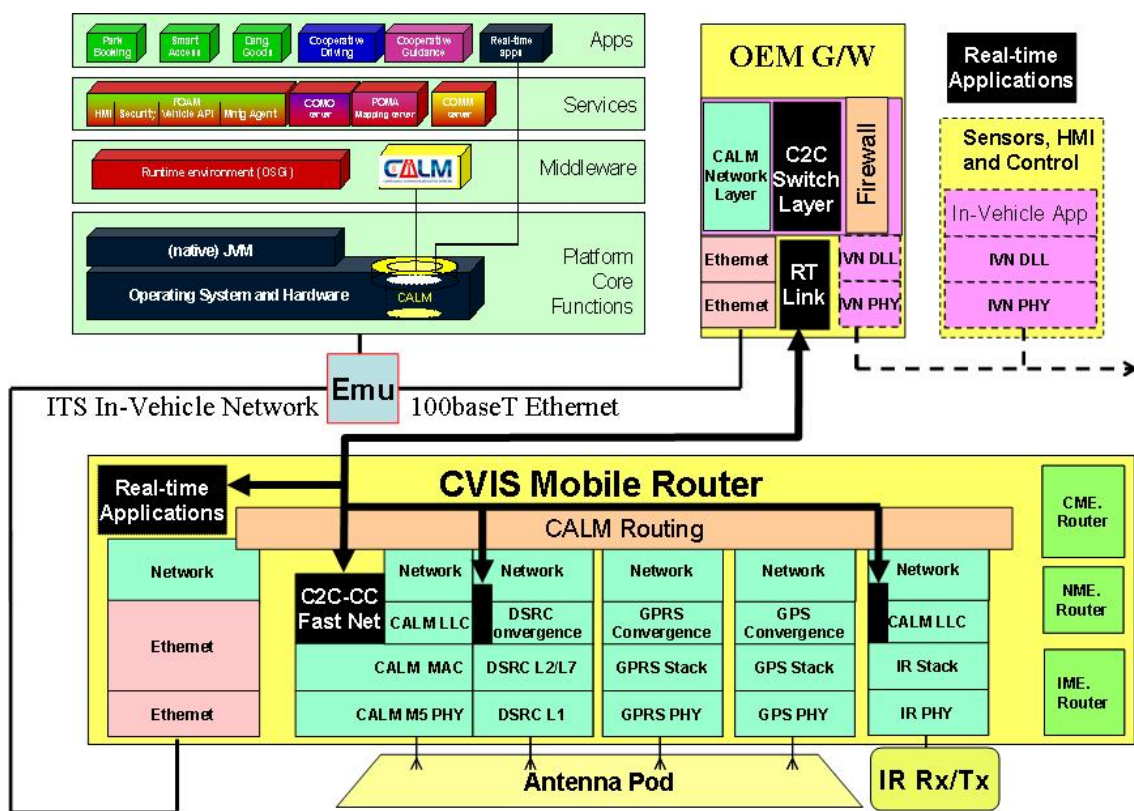
CVIS består av tre subsystemer som er koblet sammen ved hjelp av IPv6 nettverk. [13]



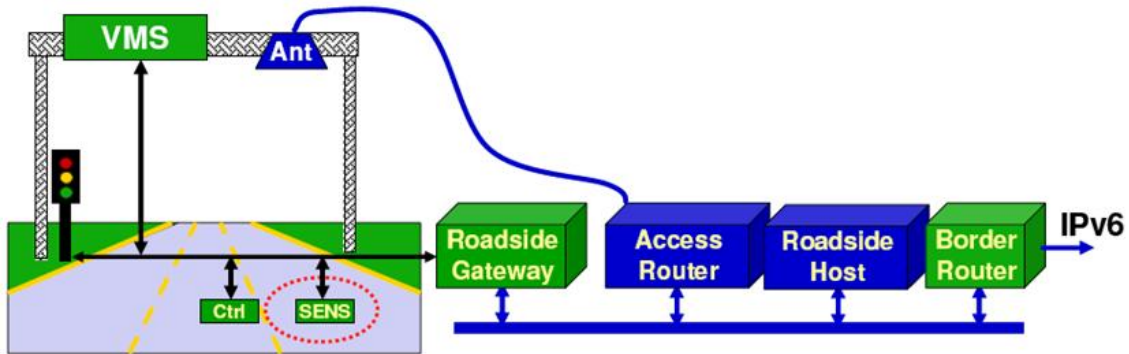
Figur 3.9: CVIS-subsystemer

Kjøretøy-subsystemet, illustrert i 3.10, består av kjøretøyvert, mobilruter, kjøretøy gateway, sensorer/instrumenter, multimodus antenne og både proprietært og åpent nettverk:

- Verten er plattform for alle applikasjoner og tjenester for sluttbrukeren, og fungerer som en mobil node i nettverkssammenheng.



Figur 3.10: Kjøretøy subsystemet



Figur 3.11: Veikant subsystemet

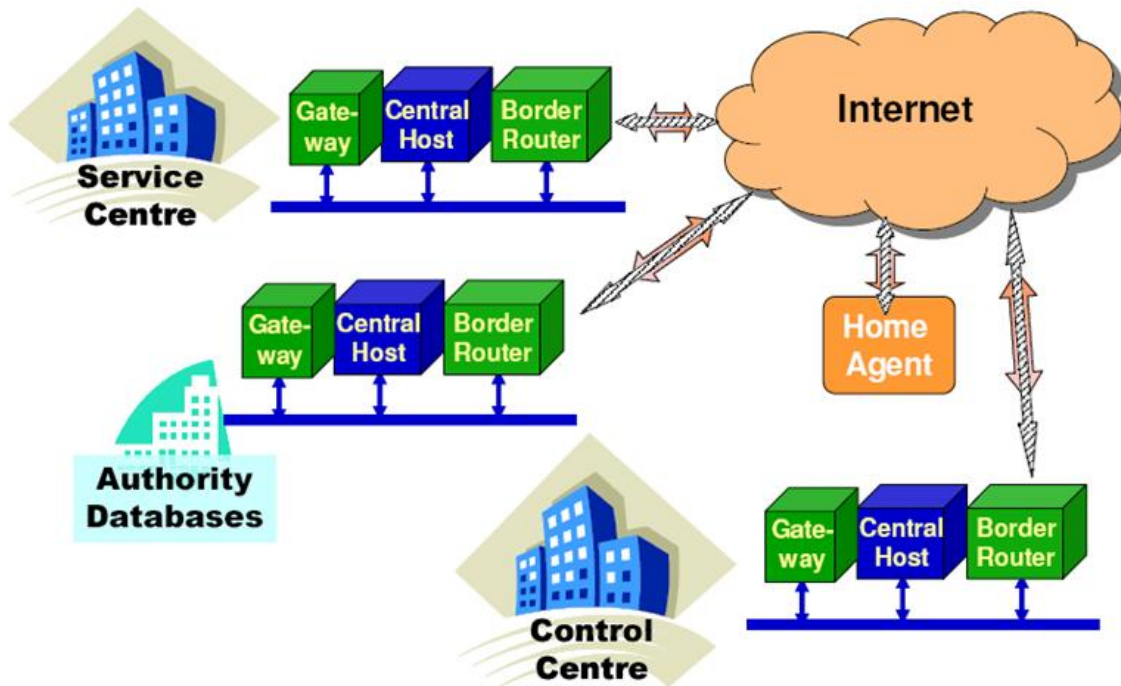
- Den mobileruteren har som oppgave å velge den best egnede tilkoblingsmetoden for den mobilenode, og er basert på standarden ISO TC204 WG16 CALM.
- Kjøretøygatewayen er en interface og brannmur mellom det åpne CVIS-systemet og proprietære kjøretøysnettverk. Den sørger for at CVIS-systemet kan få tilgang til informasjon fra kjøretøyet, men uten å blottlegge kritisk infrastruktur i kjøretøyet.

Veistrekning-subsystemet består av veistrekningsvert, aksessruter, grenseruter og veistrekninggateway:

- Veistrekningsverten er plattform for applikasjoner og tjenester langsmed veien.
- Aksessruter kobler sammen CVIS-veistrekningssystemet med mobileenheter på veien.
- Grenseruter kobler sammen CVIS-veistrekningssystemet med de andre CVIS-subsystemene, ved hjelp av IPv6 kommunikasjon over internett.
- Veistrekninggatewayen er en interface mellom CVIS-systemet og utstyr langsmed veistrekningen.

Det sentrale subsystemet består flere forskjellige sentraleverter, en hjemmeagent og autoritetsdatabaser:

- De sentralevertene har flere forskjellige oppgaver. For en nærmere forklaring på de enkelte henvises det til foregående sider.
- Hjemmeagenten kontrollerer diverse IPv6 mobilitets aspekter,



Figur 3.12: Sentrale subsystemet

- Grenseruteren kobler sammen CVIS-veistrekningssystemet med de andre CVIS-subsystemene, ved hjelp av IPv6 kommunikasjon over internett.
- Veistrekninggatewayen er en interface mellom CVIS-systemet og utstyr langsmed veistrekningen.

3.2.6 CVIS-plattformen

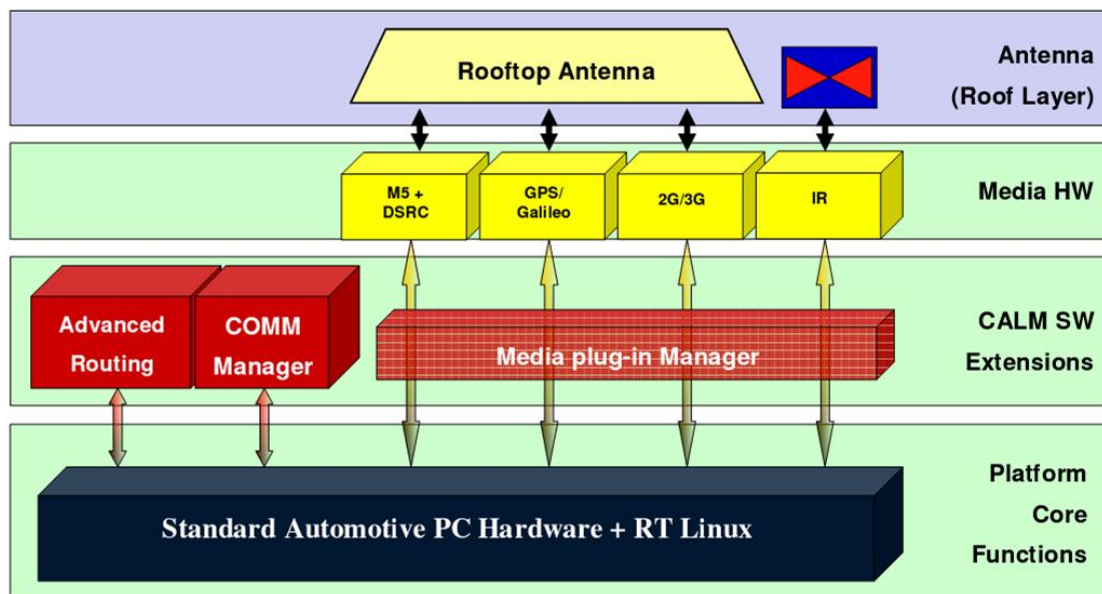
En viktig målsetning med CVIS-systemet er at det skal kunne gi rask og sikker kommunikasjon mellom alle parter, til enhver tid og fra enhver lokasjon. Oppgaver skal også kunne gjøres på et desentralisert nivå, uten å måtte involvere sentraleenheter.

CVIS-plattformen består av to komponenter:

- CVIS-Ruterplattformen
- CVIS-Vertplattformen

CVIS-Ruterplattformen

CVIS-systemet baserer seg i stor grad på CALM-prosjektet når det kommer til ruterplattformen. Standarden CALM - ISO TC204 WG16 ble valgt som den mest lovende standarden for å nå CVIS-målene. Et av delmålene for CVIS-prosjektet er nå å teste ut, forbedre og verifisere standarden for bruk i Europa. CALM standarden er omtalt tidligere i dette kapittelet og vil ikke bli gjennomgått på nytt her.



Figur 3.13: CVIS ruterens

CVIS-ruterens består av fire elementer, illustrert i 3.13:

- Antenner og infrarød sender/mottaker
- Mediamaskinvare
- CALM-programvareutvidelse
- Platformkjernefunksjoner

Antennene som omtales her skal kunne kommunisere med GPS nettverk, 2. og 3. generasjons mobilnettverk, 802.11 nettverk og DSRC. Tilsammen er det forespeilet fem forskjellige antenner, innebygget i en aerodynamisk plastboks som monteres på taket av kjøretøyet. Sintef jobber for tiden med å utvikle en slik enhet. [33]

Mediamaskinvaren er det fysiske utstyret som må til for å styre den enkelte antenne/ir-enhet.

CALM-programvareutvidelsen inneholder avansert rutingfunksjonalitet, COMM/CALM administrering og en mediaplugin-administrator. Med avansert rutingfunksjonalitet menes nødvendige nettverksprotokoller for å kunne gi en mobil IPv6 tilkobling mellom kjøretøy og aksesspunkter langs veien, eksempelvis MIPv6 og NEMO⁴. COMM/CALM og mediaplugin-administratoren gjør også ruterer i stand til å velge det best egnede kommunikasjonsmediet for overføringer mellom CVIS-verter og CVIS-aksessrutere, avhengig av hvilke alternativer som er tilgjengelig og krav til overføringshastighet.

Plattformkjernefunksjonene er implementert som programvare på standard pc-maskinvare med sanntids Linux-operativsystem. Distribusjoner av GNU/LINUX er foreløpig valgt som operativ system med tanke på at det er et velkjent system, med gode API'er som tidligere har blitt brukt i mangfoldige forsknings og utviklingsprosjekter med stort hell. I tillegg til sine gode tekniske kvaliteter er operativsystemet dekket av lisensavtaler som gjør at en fritt kan ta i bruk all kildekode tilgjengelig.

CVIS-vertsplattformen

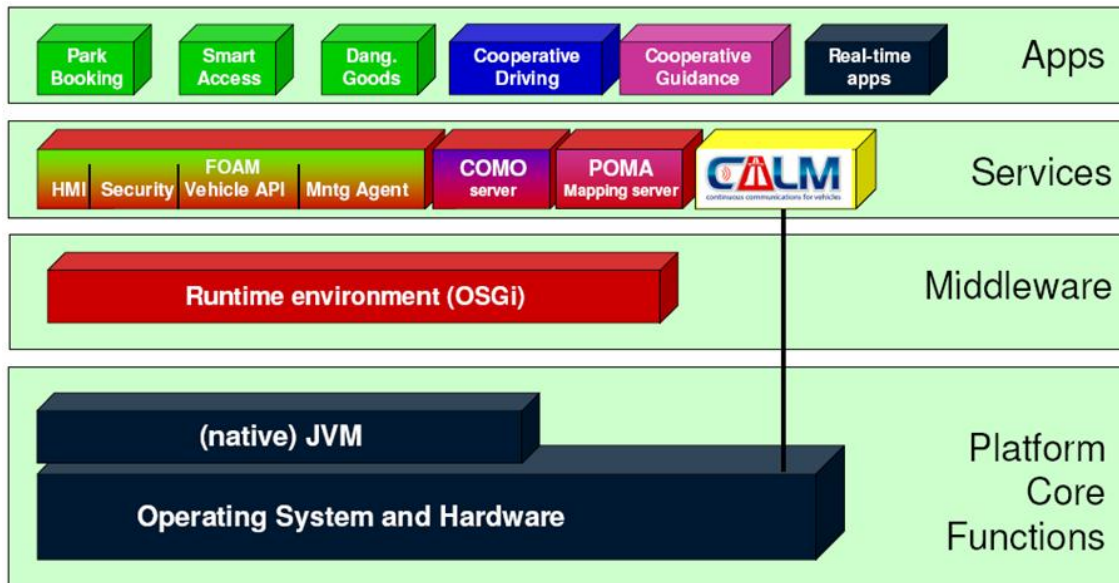
CVIS-vertene kommer i flere forskjellige utgaver hvor hver har sine spesielle oppgaver i CVIS-systemet. I figuren nedenfor vises oppbygningen av den generelle CVIS-vertsplattformen.

Vertsplattformen består av fire forskjellige lag:

- Applikasjoner
- Tjenester
- Mellomvare/middleware
- Plattformkjernefunksjoner

Applikasjonene som kan bli tilgjengelig gjennom CVIS-vertene er flere, men det er særlig oppgaver relatert til trafikkikkerhet, trafikkstyring, parkering, guiding og smart aksess som har vært undersøkt så langt i CVIS-prosjektet. Utviklingen av applikasjoner for å løse andre formål er det også tatt høyde for. CVIS-systemet er derfor på ingen måte begrenset til kun å løse oppgaver innenfor disse områdene.

⁴NEtwork MObility



Figur 3.14: CVIS-vertsplattformen

Tjenestene som vil være tilgjengelig for applikasjonene er for ordensskyld gruppert i fire grupper: FOAM, COMO, POMA og CALM. Hvert akronym er resultatet av forskjellige forskningsprosjekter som hver har hatt sine forskjellige ansvarsområder. FOAM⁵ definerer en åpen arkitektur for hvordan kjøretøy, infrastruktur langs vei og det sentrale subsystemet skal kommunisere, avhengig av formålet med kommunikasjonen. COMO⁶ spesifiserer hvordan sanntidsdata fra både individuelle og grupper av kjøretøy skal samles inn, integreres og sendes ut, for å kunne gi informasjon til CVIS-applikasjoner om trafikkstatus. COMM POMA⁷ skal kunne gi posisjoneringsdata og dynamiske kartløsninger ut ifra data oversendt fra infrastrukturen langs vei. CALM skal gi tilkobling til CVIS-nettverket, uavhengig av medium.

Mellomvare er en type programvare som skiller applikasjonene fra programvare på lavere nivåer, slik at det skal være enkelt å utvikle nye applikasjoner på et senere tidspunkt uten at de må basere seg på et enkelt felles programmeringsspråk. I CVIS benyttes OSGi mellomvare for å kunne gi et rammeverk for støtte av java programvarekomponenter.

Plattformkjernefunksjonene i CVIS-vertene vil også kjøre på et GNU/LINUX system, med Java Virtual Machine implementert for å kunne tilby et kjøringmiljø for OSGi rammeverket.

⁵Framework for Open Application Management

⁶Cooperative Monitoring

⁷Positioning, Mapping and Location Referencing

Kapittel 4

Overføringsmedier

I denne delen av oppgaven vil aktuelle radiobaserte og trådbaserte overføringsmedier bli gjennomgått. Aksessnettverket vil åpenbart måtte realiseres ved hjelp av fysiske medier basert på enten radiobølger eller lys på grunn av kravet til mobilitet. Dette gjelder ikke for distribusjonsnettverket som også kan realiseres ved hjelp av trådbasert teknologi.

De radiobaserte overføringsprotokollene som vil bli gjennomgått er enten teknologier som allerede er tilgjengelig i Norge nå, som er planlagt utrullet i Norge, eller som kan være aktuelle i Norge i framtiden med utgangspunkt i de frekvensressursene som vil være tilgjengelige i nærmeste framtid.

4.1 Radiobaserte overføringsmedier

I seksjonen av radiobaserte overføringsmedier vil det bli forsøkt gitt et visst overblikk over hvilke standarder vi finner tilgjengelige idag, hvilke som er under utvikling og hvordan de forskjellige standardene har blitt til. Standardene har generelt blitt utviklet av organisasjoner fra enten internett- eller telematikk-verdenen. De har derfor hatt forskjellige målsetninger ved utformingen av standardene. Denne seksjonen vil ikke ta for seg detaljert informasjon rundt fullstendig systemarkitektur innen mobilnettverk, men er heller fokusert på selve overføringsmediet med fysisk lag, MAC-lag og overføringskapasitet.

4.1.1 Standarder fra internett-verdenen

IEEE 802.11p

802.11p standarden er en videreføring av tidligere WIFI standarder, spesielt tilpasset bruk mellom kjøretøy i fart og mellom kjøretøy i fart og infrastruktur langs vei. Målsetningen er å utvikle en WIFI standard som støtter en overføringshastighet på minst 6mb/s for kjøretøy som beveger seg hastigheter opptil 200km/t. Rekkevidden i fri sikt er forespeilet å være opptil 1000 meter. Standarden er fremdeles under utvikling og skal i følge planene til IEEE [24] være ferdig til mars 2009.

802.11p standarden tar sikte på å benytte seg av frekvensene 5.85-5.925 GHz, siden disse allerede for lang tid tilbake ble satt av til ITS-bruk i USA og Canada. Situasjonen i Europa er en annen, og det kan derfor bli aktuelt å realisere CALM M5 som er basert på 802.11p på andre frekvenser innenfor 5GHz området. En beslutning om dette vil bli tatt av ECC ¹ i løpet av utgangen av 2007 [26].

IEEE 802.11p baseres som sagt på tidligere 802.11 standarder, og for det fysiske laget er det 802.11a som har vært utgangspunktet[43]. 802.11a og 802.11p benytter seg av en teknikk kalt OFDM² med 64 hjelpebærebølger³. Av de 64 hjelpebærebølgene, brukes 52 til faktiske overføringer. De 52 består av 48 datahjelpebærebølger og 4 pilot-hjelpebærebølger. Pilotsignalene brukes til å spore opp fasestøy og frekvensavvik. Hver datapakke starter med et blokkvarsel bestående av ti korte "training symbols" etterfulgt av to lange "training symbols", som brukes til deteksjon av signal, grovt estimat av frekvensavvik, tidssynkronisering og kanalestimering [59]. For å begrense intersymbolinterferens fra multi-bane propagering, festes en vernetid⁴ til hvert OFDM-datasymbol. For å håndtere falmende kanaler, kodes informasjons bit og veves ⁵ før de moduleres på hjelpebærerene. For mere informasjon om OFDM og 802.11a, se [52].

Spesifikt for 802.11p-standard, er effektbruken det er lagt opp til. 802.11p-standard definerer effektklasser som er betraktelig høyere enn det man finner i andre WLAN-standarder, dette for å oppnå en lengre rekkevidde på signalene. Fire klasser av maksimalt effektbruk defineres, hvorav den høyeste tillate EIRP ⁶ er på 44.8dBm (30W). Denne effektklassen er blant annet tenkt brukt til å varsle andre kjøretøy om at ambulanse kjøretøy nærmer seg. Vanlige sikkerhetsmeldinger er tenkt oversendt

¹Electronic Communications Committee

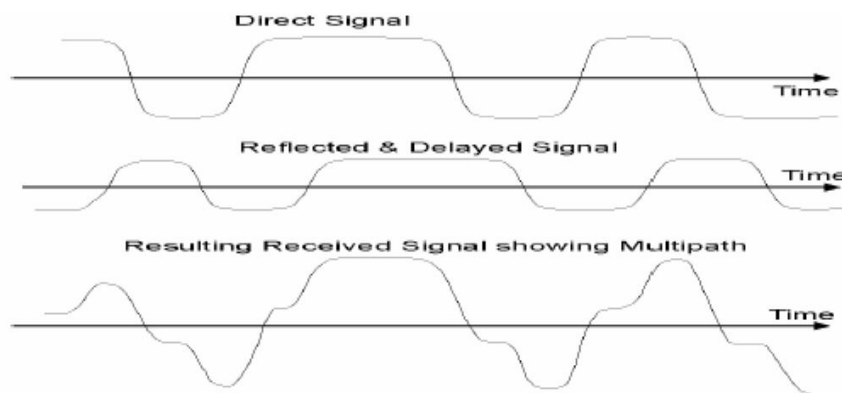
²Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

³eng. sub-carriers

⁴eng. guardtime

⁵eng. interleaving

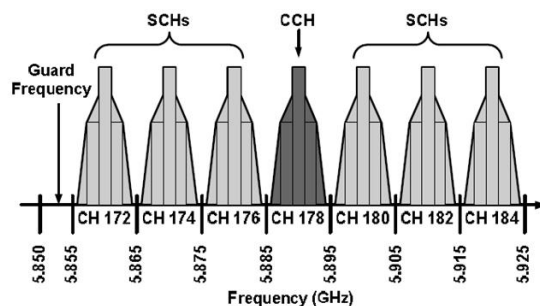
⁶Effective isotropic radiated power



Figur 4.1: Eksempel på intersymbol interferens fra multibane propagering

på 33dBm.

802.11p benytter seg av et frekvensområdet på 75MHz hvor de nederste 5MHz er satt av som sikkerhetsmargin. De resterende 70MHz er delt opp i syv 10MHz kanaler, hvorav den midterste kanalen er en kontrollkanal til bruk til kritiske sikkerhetsmeldinger, administrasjon og systemkontroll. De andre kanalene skal brukes til lavere prioriterte tjenestemeldinger, etter forhandlinger med aksesspunkt over kontrollkanalen.



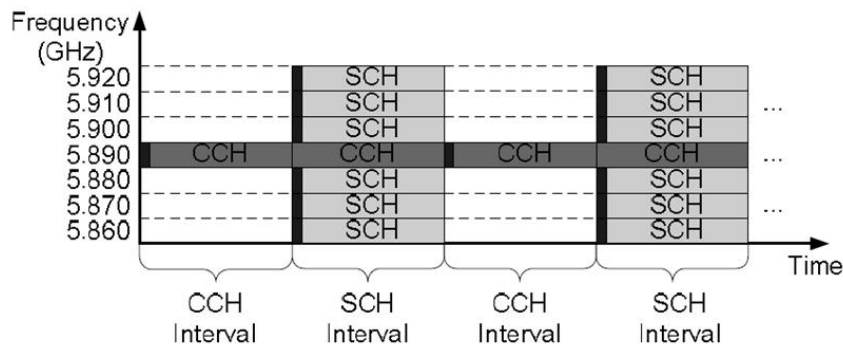
Figur 4.2: Kanal oversikt for 802.11p protokollen på 5.9GHz frekvensbåndet.

Et alternativ er å slå sammen to 10MHz kanaler til en 20MHz kanal, men det vil gi et utslag på feiltoleransen for multi-bane propagering. Halvveringen av kanalstørrelse i 802.11p i forhold til i 802.11a gjør at vi har dobbelt så lang vernetid og av den grunn redusert inter-symbolinterferens fra multi-bane propagering. I tillegg vil Dopplerspredningen av signalet ha mindre effekt, siden frekvensområdet det gjelder er mindre.

802.11p infrastruktur benytter seg av beaconframes for å annonsere sin eksistens på

lik linje som i andre WLAN, men det stilles ingen krav til hvor ofte en slik annonsering skal finne sted. Siden det ikke er spesifisert hvor ofte beaconframes sendes ut, fungerer heller ikke tidssynkroniseringsfunksjonen slik som i vanlig WLAN. Dette betyr at det kreves en ekstern kilde for å synkronisere enhetene slik at tidslukene fra de forskjellige partene ikke glir over i hverandre. Ved å implementere IEEE P1609.4 UTC ⁷ og benytte seg av tidssynkroniseringsfunksjonen tilgjengelig i GPS, vil dette problemet kunne løses [60].

802.11p har som tidligere nevnt to forskjellige kanal typer, det være seg en kanal av type kontroll kanal (CCH) og seks kanaler av typen tjeneste kanaler (SCH). Som vist i figur 4.3 er kanaltiden delt opp i synkroniseringsintervaller med lengde 100ms, bestående av et intervall for kontrollkanalen og et for tjenestekanalerne, hver bestående av 50ms. Denne ordningen gjør at alle enheter må lytte til kontrollkanalen i de intervallene som er reservert for kontrollkanalen, i tilfelle det kan komme kritiske sikkerhetsmeldinger. I de tidsintervallene som er reservert for tjenestekanaler har enhetene mulighet til å ta disse i bruk til ikke-kritiske trafikk tjenester.



Figur 4.3: Fordeling av tidsressurser mellom kontrollkanal og tjenestekanaler i 802.11p

MAC-protokollen i 802.11p er basert på MAC-protokollen i 802.11e-standardens EDCA ⁸ som igjen er bygget på DCF⁹. DCF-protokollen er en fundamental teknikk innenfor 802.11-standardene og innebærer at enheten som vil sende data først må lytte på kanalen i et DIFS¹⁰-intervall for å høre om den er opptatt, før den overfører noe som helst[35]. Er kanalen opptatt i dette intervallet, må enheten vente et tilfeldig antall tidsluker før den kan prøve på nytt. Er kanalen opptatt enda en gang, må enheten vente nok et tilfeldig antall tidsluker. Størrelsen på vinduet¹¹ for tilfeldige

⁷Coordinated Universal Time

⁸Enhanced Distributed Channel Access

⁹Distributed Coordination Function

¹⁰Distributed Interframe Space

¹¹eng. contention window

antall tidsluker øker for hver gang på rad kanalen er opptatt, slik at enheten vil vente lengre og lengre for hver gang kanalen er opptatt før den prøver på nytt.

EDCA løser på sett og vis aksess problematikken på samme måte som i DCF, med lytt før send - vent tilfeldig tid før nytt forsøk prinsippet. Men i tillegg til den vanlige DCF teknikken tilbyr EDCA også en måte å skille mellom forskjellige trafikklasser, og lar hver enkelt klasse vente forskjellig antall tidsluker før de får prøve på nytt. Fire trafikklasser er definert[43]:

- Bakgrunnstrafikk
- Best effort trafikk
- Tale trafikk
- Video trafikk

Ventetiden for hver enkelt klasse er i EDCA gitt av en funksjon satt sammen av et fast antall tidsluker pluss et tilfeldig antall tidsluker. Det faste antall tidsluker gis av faktoren AIFSN, og størrelsen på det tilfeldige tidslukevinduet gis av CW_{min} og CW_{max} .

EDCA PARAMETER SET			
AC	CW_{min}	CW_{max}^a	AIFSN
<i>AC_BK</i>	15	1023	9
<i>AC_BE</i>	7	15^2	6
<i>AC_VO</i>	3	7	3
<i>AC_VI</i>	3	7	2

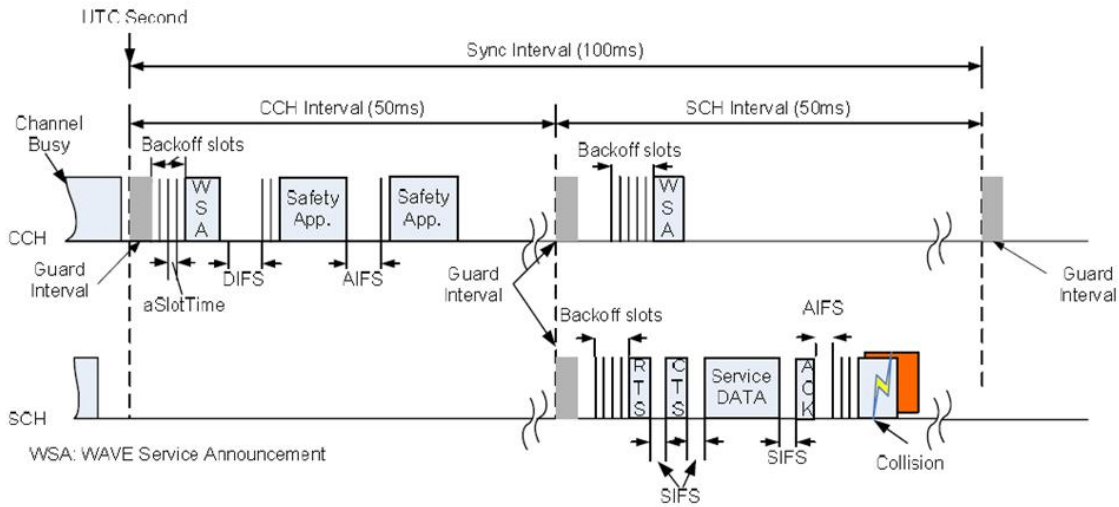
Figur 4.4: Parametre i EDCA for de fire forskjellige trafikklassene: background, best effort, voice, video.

Kanalaksessprosessen med EDCA og de to kanaltype intervallene er illustrert nedenfor, i figur 4.5.

IEEE 802.16d/802.16-2004 - Fixed WiMAX

IEEE 802.16d er en overføringsstandard for stasjonær trådløs aksess, som faller innenfor kategorien WirelessMAN¹² ettersom den har lang rekkevidde og høy overføringskapasitet.

¹²Metropolitan Area Network



Figur 4.5: Prosess for kanal aksess i 802.11p

802.16d har definert flere forskjellige fysiske lag som dekkes av spesifikasjonene til to forskjellige alternative grensesnitt [57]. Det ene grensesnittet går under betegnelsen Wireless MAN-SC air interface, og er basert på enkelt-bærer modulering¹³ i frekvensområdet 10-66 GHz. Det andre grensesnittet kalles Wireless MAN-OFDM interface, og er basert på OFDM-modulering i frekvensområdet 2-11 GHz med 256 punkts FFT¹⁴[36]. Avstanden mellom hjelpebærebølgene er på 22.5 KHz.

802.16d støtter to forskjellige duplexordninger, delt på tid (TDD)¹⁵ og delt på frekvens (FDD)¹⁶ [37]. Avhengig av hva slags kommunikasjon som skal foregå, er det fordeler og ulemper ved de begge. Generelt kan man si at FDD er best egnet hvis trafikken mellom de to enhetene er symmetrisk siden den ikke kaster bort båndbredde på vernetid (guardtime), mens TDD er best egnet hvis trafikken er asymmetrisk.

Dataraten til kanalene avhenger av hvilke moduleringsordninger som velges og koderate [56]. I 802.16d støttes moduleringsformene QPSK¹⁷, 16QAM¹⁸ og 64QAM. QAM moduleringsformene kan gi høyere datarate enn QPSK, men de er også mere følsomme for støy og interferens. I figur 4.6 vises maksimal teoretisk datarate.

MAC laget i 802.16 er uavhengig av hvilket fysisk grensesnitt som brukes. QoS

¹³single-carrier modulation

¹⁴Fast Fourier Transforming

¹⁵Time Division Duplex

¹⁶Frequency Division Duplex

¹⁷Quadrature phase-shift keying

¹⁸Quadrature Amplitude Modulation

Modulation/ Code Rate	QPSK 1/2	QPSK 3/4	16 QAM 1/2	16 QAM 3/4	64 QAM 2/3	64 QAM 3/4
3.5 MHz	2	4.3	5.8	8.7	11.8	13
7 MHz	4.1	8.6	11.6	17.4	23.6	26
10 MHz	8.2	12.3	16.5	24.8	33	37.2
20 MHz	16.4	24.6	33	49.6	66	74.4

Data Rates (Mbps)

Figur 4.6: Effektiviteten til de forskjellige datamoduleringene.

er implementert i MAC laget, og er tilsvarende den du kan finne i ATM¹⁹ med forskjellige tjenesteklasser. I motsetning til hvordan aksessproblematikken er løst i WiFi, trenger ikke enhetene i et WiMAX nettverk å konkurrere om ressurser hver gang de skal oversende data. Første gang en WiMAX enhet kobler seg på nettverket får den tildelt ressurser som den har gjennom resten av tilkoblingen. Selv hvis det er altfor mange brukere i forhold til ressurser lar ikke basestasjonen seg overarbeide på samme måten som WiFi-aksesspunkter, men avviser heller brukerne som det ikke er ressurser tilgjengelig til.

Trafikklassene som støttes i 802.16 standarden er:

- UGS - Unsolicited Grant Service
- rtPS - Real-Time Polling Service
- ErtPS - Extended Real-Time Polling Service
- nrtPS - Non-Real-Time Polling Service
- BE - Best Effort Service

UGS støtter konstant bitrate overføringer og er egnet for VoIP trafikk og E1/T1²⁰ emulering.

rtPS støtter sanntidstjenester som genererer en variabel mengde data regelmessig, eksempelvis MPEG video.

nrtPS støtter ikke-sanntidstjenester som genererer en variabel mengde data regelmessig, eksempelvis FTP²¹.

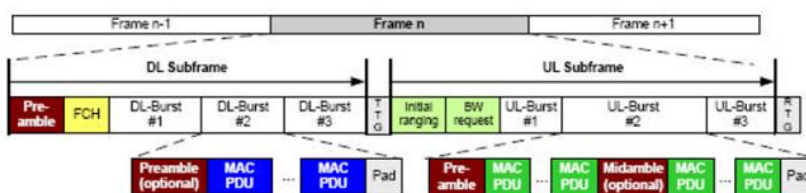
BE støtter tjenester som ikke setter nedre krav for overføringskapasitet, eksempelvis web-surfing.

¹⁹Asynchronous Transfer Mode

²⁰uttrykk for spesifikke signallinjer i telematikk

²¹File Transfer Protocol

En standard 802.16 MAC ramme for TDD er vist i figur 4.7. Både opplink- og nedlinkstrafikk pakkes inn i en ramme i TDD siden de deler samme medie, mens de i FDD blir håndtert hver for seg. Nedlinkssubrammen har en kontrollrammeheader (FCH) helt i starten til å beskrive burstprofil og lengden på burstrammene som følger, mens opplinksrammen starter med et felt for å avklare ressursstrid og båndbreddekontroll for båndbredde-tildelingen fra de forskjellige enhetene.



Figur 4.7: 802.16 MAC ramme

802.16 standardene støtter flere forskjellige krypteringsalgoritmer, eksempelvis 56-bits DES og 128-bits AES krypteringsstandardene samt X.509 sertifikater for identifisering av basestasjoner og brukerstyr.

802.16d kan i teorien støtte hastigheter på over 70Mb/s med en 20MHz kanal og ha en rekkevidde på opptil 50 km, men dette er under helt ideelle forhold og vil derfor ikke være realistisk gjennomførbart. En mer nøktern antagelse er å anslå et ensifret antall Mb/s over et tosfret antall km [53].

IEEE 802.16e - Mobile WiMAX

IEEE 802.16e er en utvidelse av tidligere WiMAX standard IEEE 802.16d for å støtte mobilitet. Utvidelsen har også gjort endringer på det fysiske laget, med det resultat at de to overføringsstandardene ikke er kompatible med hverandre.

Standardspesifikasjonene for 802.16e introduserer et nytt fysisk grensesnitt i 802.16e, som kalles WirelessMAN-sOFDMA²² Interface [58]. Dette grensesnittet er skalerbart, og kan operere med FFT størrelser på 128, 512, 1024 og 2048 punkter, med et frekvensrom mellom hjelpebærbølgene fastsatt til 10.94 kHz. Kanalbåndbredder som støttes er fra 1.25MHz til 20MHz. Siden båndbredden kan skaleres, vil 802.16e kunne implementeres globalt, uten at frekvensressurser setter begrensning for utstrekningen²³. For mere informasjon om grensesnittet WirelessMAN-sOFDMA, se [58].

²²Scalable Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access

²³Som en tilleggsopplysning for leseren kan det nevnes at den koreanske WiBro standarden benytter seg av OFDMA med 1024 punkter, noe gjør at den er kompatibel med 802.16e standarden.

I 802.16e støttes moduleringsformene QPSK, 16QAM, 64QAM og HARQ²⁴. HARQ er en videreføring av ARQ-moduleringsformen, og gir rask re-transmisjon ved feil på sendingen. Hvis det er feil på overføringene sendes en NACK til basestasjonen, som sender dataene på nytt. Dataene fra første feiloverføring blir likevel tatt vare på av den mobile enheten, slik at den ved hjelp av de kombinerte overføringene kan komme fram til riktig budskap. Dette øker sannsynligheten for korrekt dekoding og minsker trafikkbehovet til bruk på feilretting.

FFT Length	128	512	1024	2048
System BW (MHz)	1.25	5	10	20
Subcarrier Separation (kHz)	10.94	10.94	10.94	10.94
Symbol Duration (μ s)	102.86	102.86	102.86	102.86
Number of OFDM Symbols (5ms)	48	48	48	48

Figur 4.8: Båndbreddeskalering i WirelessMAN-sOFDM

En vesentlig del i 802.16 spesifikasjonene er støtten for MIMO²⁵. Kort fortalt er MIMO en teknikk som innebærer bruk av flere antenner på sender og mottaker sidene for å øke ytelsen. I 802.16 benyttes MIMO i hovedsak for å øke oppnådd datarate ved hjelp av tredimensjonale multipleksingsteknikker²⁶. Har vi N antenner hos sender og M antenner hos mottaker, kan vi ha like mange uavhengige datastrømmer som det laveste antall antenner av N og M. Alternativt kan flere antenner brukes til mottak av signalet for å begrense effekten av multibane-fading ved å øke signal-til-støy forholdene hos mottaker.

802.16e støtter tre forskjellige handover teknikker [7]:

- Hard handover
- Macro Diversity handover
- Fast Base Station Switching

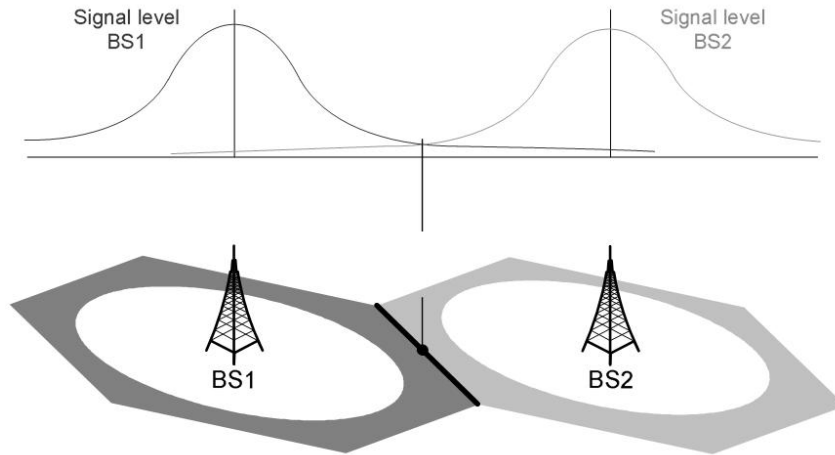
Hard handover er betegnelsen når den mobile enheten bare kan kommunisere med en basestasjon av gangen, og må bryte forbindelsen med den ene basestasjonen for å koble seg opp mot den andre basestasjonen. Skifte av basestasjoner skjer etter at den mobile enheten måler at nabo-basestasjonen har en bedre signalstyrke enn det

²⁴Hybrid Automatic Repeat-reQuest

²⁵Multiple input multiple output

²⁶spatial multiplexing

den eksisterende basestasjonen kan tilby. Optimert²⁷ hard handover skal kunne skje på mindre enn 50 ms.



Figur 4.9: Hard handover

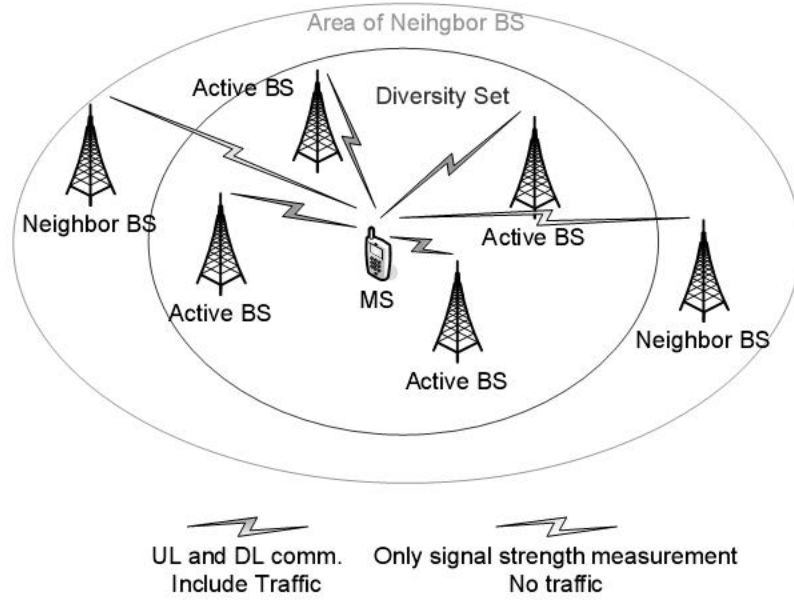
Macro Diversity handover innebærer at både den mobile enheten og basestasjonene tar vare på og oppdaterer en liste over alle basestasjoner i nærheten av den mobile enheten som den kan kommunisere med. Den mobile enheten laster ned data fra to eller flere basestasjoner samtidig, slik at den kan kombinere mangfoldet av signaler til ett signal²⁸. Når den mobile enheten så skal sende ut data, tas signalet imot av flere basestasjoner som sammenligner sine signal-støy forhold seg i mellom, før de kommer frem til hvilket av signalene som skal velges.

Fast Base Station Switching innebærer også at den mobile enheten og basestasjonene vedlikeholder en liste over hvilke basestasjoner som er i nærheten av den mobile enheten, tilsvarende som i Macro Diversity handover-scenariotet. Men kommunikasjonen i dette tilfelle går ikke mellom alle basestasjonene på listen og den mobile enheten, men er begrenset til å gå mellom en basestasjon og den mobile enheten. Den basestasjonen som den mobile enhet måler til å ha best signal-støy forhold blir valgt ut til å være anker-basestasjon, og får ansvaret for registrering, synkronisering, monitorering og avstandsoppmåling av den mobile enheten. Anker-basestasjonen kan forandres mellom hver ramme som sendes. Alle basestasjonene tar imot signalene fra den mobile enheten, men bare den basestasjonen som er anker-basestasjon prosesserer innholdet.

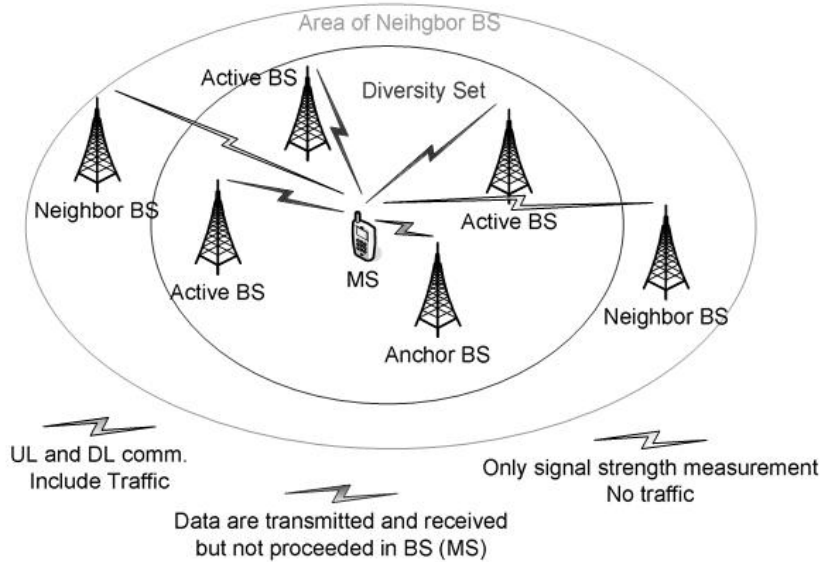
802.16e kan i teorien støtte hastigheter opptil 70 Mb/s med 20MHz kanalstørrelse,

²⁷innebærer informasjonsutveksling fra den ene basestasjonen til den andre

²⁸diversity combining



Figur 4.10: Macro Diversity Handover



Figur 4.11: Fast Base Station Switching

mens handover-mekanismene skal kunne støtte soft handover for kjøretøy i hastigheter opp til 200km/t. [4]

HC-SDMA

HC-SDMA ²⁹ er en trådløs bredbåndsteknologi utviklet av Arraycomm, og som i ettertid har blitt akseptert som en del av den framtidige standarden fra IEEE 802.20 - Mobile Broadband Wireless Access Working Group. Målsetningene for IEEE 802.20 og IEEE 802.16e er så og si identiske. Forskjellene ligger i at 802.16e skulle komme fram til en utvidelse for 802.16 standarden for å støtte mobilitet, mens 802.20-arbeidsgruppen startet med helt blanke ark.

HC-SDMA er definert for frekvensområdet 1.5 - 2.5 GHz, og er allerede realisert i begrenset utstrekning her i Norge på 1.8 GHz frekvensbåndet.[6]

HC-SDMA benytter seg av TDD³⁰ og AA³¹ teknologi, sammen med multi-antenne tredimensjonale multipleksingsteknikker ³² for å oppnå et svært spektrumseffektivt system som kan bygges ut på et 5MHz frekvensområde[31]. HC-SDMA teknikken kan i teorien ha en kanaltransmisjonsrate på 20Mb/s på et 5MHz frekvensområde, og opptil 40Mb/s ved bruk av 10MHz bånd.

AA teknikken innebærer at hver basestasjon er satt sammen av en rekke antenner, hvor hver antenne har ansvaret for en enkelt sektor av basestasjonens dekningsområde. Avhengig av hvor den mobile enheten befinner seg, er det den antennen som har best forhold som brukes til tilkoblingen. På denne måten kan frekvensressursene brukes flere ganger av hver enkelt antenne for å øke den totale dataratene til basestasjonen.

HC-SDMA benytter seg av TDD/TDMA med 5 ms ramme perioder, hvor hver ramme består av 3 opplink og 3 nedlinks-felter [10]. En tredjedel av tiden blir satt av til opplink, mens to tredjedeler går med til nedlinksdata.

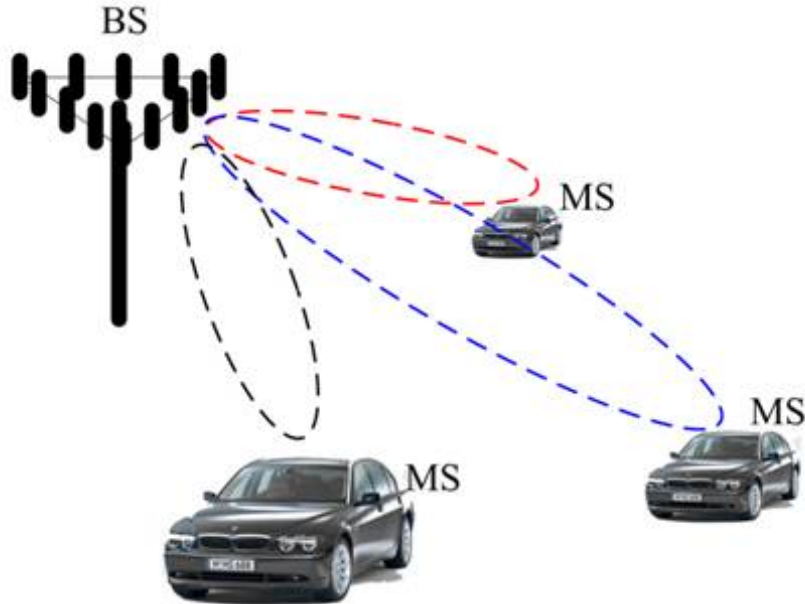
Aksessmetodene som brukes i HC-SDMA er CSMA/CA og sentral scheduling. HC-SDMA støtter videre differensiert tjenestetilgang, rate begrensnig og prioritethåndtering, med flere QoS kategorier. Rask retransmisjon av data støttes ved ARQ implementert i basestasjonene.

²⁹High Capacity Spatial Division Multiple Access

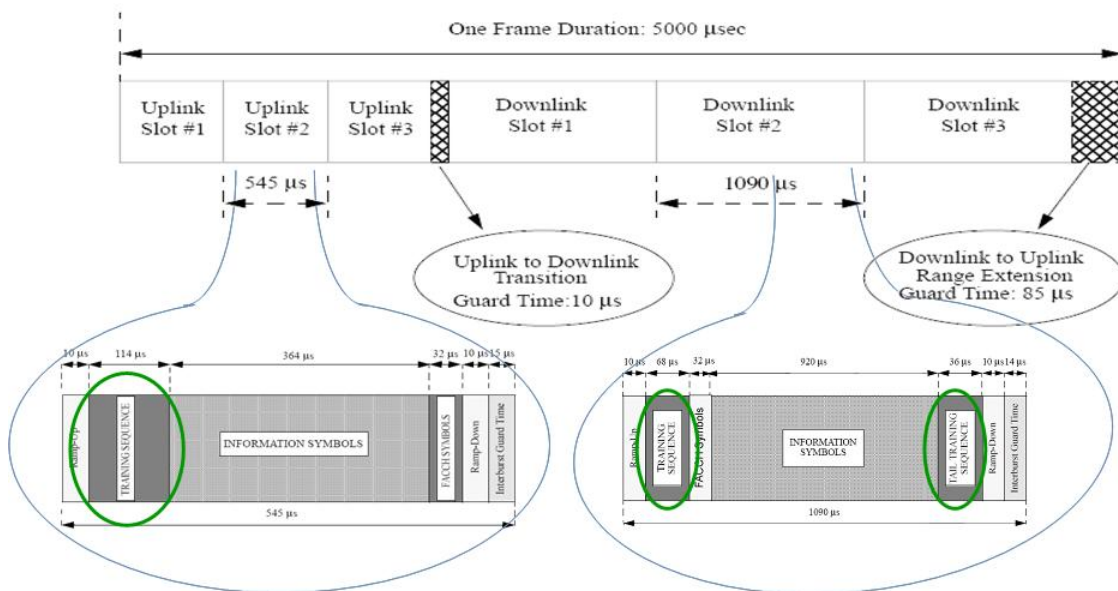
³⁰time division duplex

³¹adaptive antenna

³²spatial multiplexing



Figur 4.12: Adaptiv antenne-teknikk



Figur 4.13: HC-SDMA ramme, med forskjellig størrelse på training sequensfeltene for opp-og nedlink for å bedre kunne utnytte frekvensressursene ved bruk av AA

4.1.2 Standarder fra telematikk-verdenen

En ting det er greit å få med seg allerede nå før den videre lesning er hvordan særlig to rivaliserende mobiltelefonisystemer over tid har produsert en rekke konkurrerende, ikke kompatible standarder. Dette skyldes at det globale standardiseringsarbeidet kom igang for sent til at alle parter kunne bli enige om felles standarder. Resultatet ble at det ble utviklet egne data overføringsstandarder i Europa, USA og Japan, som ikke var kompatible. Europa og Japan har etterhvert samkjørt sine mobilsystemer, og benytter nå i stor grad de samme frekvensområdene og teknologi for å realisere sine kommunikasjonsbehov. USA har holdt fast på og videreutviklet sine egne systemer.

De to konkurrerende grupperingene innenfor mobiltelefoni er idag organisert innenfor to organisasjoner, nemlig 3gpp og 3gpp2. Begge organisasjonene har som mål å utvikle 3. generasjons mobilnettverk som tilfredstiller spesifikasjonskravene til ITU's IMT-2000 prosjekt. Dette målet har begge grupperingene nådd for lenge siden, så nå er arbeidet fokusert på forbedring av eget 3G system og veien fram til 4. generasjons mobilnettverk.

Grupperingen som er organisert innenfor 3gpp er i stor grad satt sammen av de som har interesse av å gjenbruke så mye som mulig av sin gamle GSM infrastruktur i et 3. generasjons mobilnettverk. Aktørene her er standardiseringsorganene[47]: ETSI (Europa), ARIB/TTC (Japan), CCSA (Kina), ATIS (Nord-Amerika) og TTA (Sør-Korea).

I den andre organisasjonen, 3gpp2, finner vi de aktørene som har interesse av å utvikle teknologi kompatibel med cdmaOne. Medlemmer av denne gruppen er[48]: ARIB/TTC (Japan), CCSA (Kina), TTA (Nord-Amerika) og TTA (Sør-Korea).

3GPP Release 99 - WCDMA

Wideband CDMA brukes idag i 3. generasjons mobile nettverk av typen UMTS som det fysiske grensesnittet til mobilsystemet. Teknologien ble opprinnelig laget med den hensikt å være overføringsprotokoll i det japanske mobilsystemet FOMA, men ble i ettertid også tatt i bruk i det europeiske UMTS systemet kun etter noen små endringer.

To forskjellige fysiske grensesnitt er definert for WCDMA release '99, en dedikert kanal for dataoverføring, DPDCH³³, og en dedikert kanal for kontrollinformasjon, DPCCH³⁴. Hver mobile enhet får tildelt en kontroll kanal og null, en eller flere

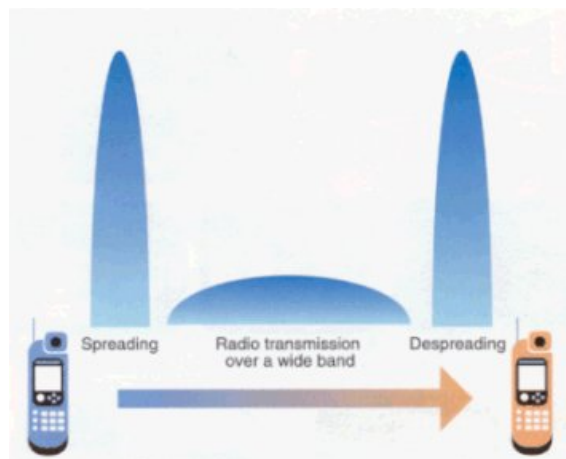
³³Dedicated physical data channel

³⁴Dedicated physical control channel

datakanaler.[15]

Overføringsteknologien benytter seg av par av 5MHz kanaler hvor den ene kanalen brukes som opplink og den andre som nedlink. I den originale standard spesifikasjonen ble frekvensområdet 1885-2025 MHz satt av for opplink og området 2110-2200 MHz for nedlink [32], men i etterkant har spesifikasjonene også utvidet frekvensområdene til å omhandle 806-960 MHz, 1710-2025 MHz og 2500-2690 MHz pga. mangel av frekvensressurs i enkelte land.[30]

Aksessteknologien WCDMA baserer seg på CDMA. CDMA³⁵ tillater flere brukere å overføre data på samme frekvens til samme tid, ved å multiplisere det som skal sendes med pseudo-tilfeldige kodesequenser. Signalet blir spredt utover og vil se ut som ren hvit støy, før det blir overført over det fysiske grensesnittet. Mottakerne bruker så spredningskoden til å regne seg fram til hvilken del av signalet som er tiltenkt den ved mottak. For mere informasjon om CDMA, se [5].



Figur 4.14: Spredning av signalet ved hjelp av CDMA

WCDMA benytter seg ikke av ekstern synkronisering av basestasjonene ved hjelp av GPS, men blir istede synkronisert ved hjelp av informasjon fra de mobileenhetene. Disse kan måle utakten mellom celler og rapportere dette videre til nettverket.[17]

Som i andre CDMA-systemer er det også i WCDMA svært viktig å ha riktig effektinnstilling på overføringene fra både basestasjonen og den mobile enheten. Alle brukerne sender data over samme frekvenser, så overdreven effekt fra enkelt brukere går på bekostning av andres overføringer. I WCDMA oppdateres effektnivået 1500 ganger hvert sekund, både på opp-linken og på ned-linken.[17] Den evige justeringen av effektstyrke fra basestasjonen gjør at rekkevidden på signalene varierer fra tid til

³⁵Code Division Multiple Access

annen, noe som endrer størrelsen på cellen. Har basestasjonen mange brukere, vil effektstyrken måtte gå ned for å ikke forstyrre de mange oppkoblingene den har. Er det derimot få brukere i cellen, kan effektstyrken økes og samme kvalitet på linjen kan nås fra et lengre hold.

Den maksimale teoretiske nedlinken i WCDMA Release '99 er rett over 2 Mb/s, men dette er en hastighet det ikke vil være mulig å oppnå i utplasserte nettverk. Hastigheten i slike nettverk vil være begrenset av cellestørrelse, kanalstørrelse, antall aktive brukere i nettverket og kapasiteten til den enkelte mobile enhet. Potensielle overføringshastigheter vil derfor være enten 768, 384, 128, 64, 32 eller 16 kb/s, men dagens WCDMA nettverk somregel ikke hastigheter over 384 kb/s på grunn av kompleksiteten involvert for å kunne doble hastigheten.

3GPP Release 5 - HSDPA og IMS

3GPP Release 5 ble gitt ut i 2002 og introduserte to nyheter: HSDPA og IMS³⁶

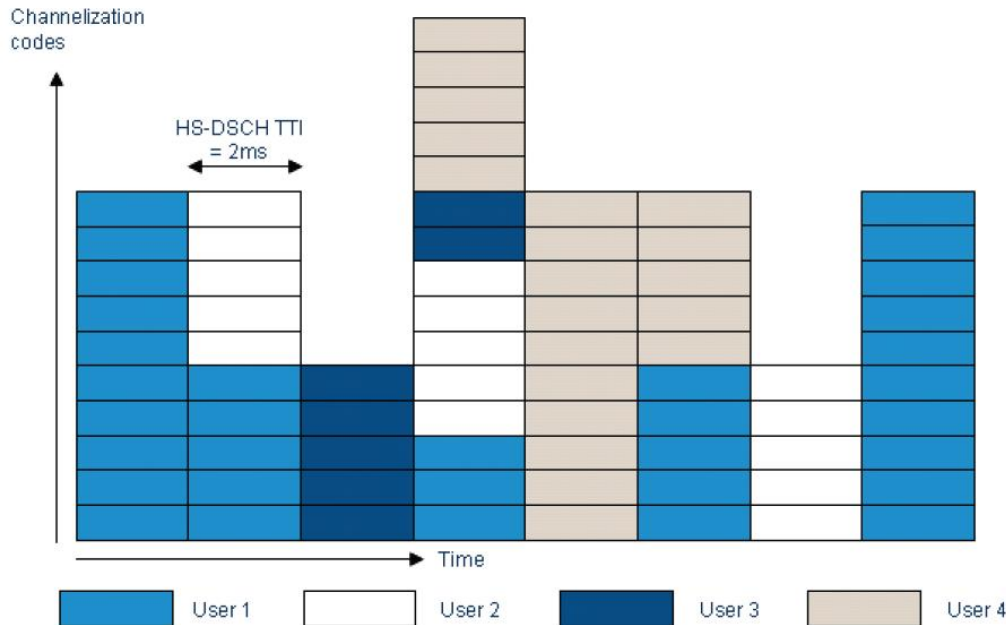
HSDPA står for High Speed Downlink Packet Access og er en forbedring av radioaksessprotokollen i UMTS-systemer som fører til høyere hastighet og bedre utnyttelse av nettverksressursene. Forandringene som er gjort i overføringsprotokollen HSDPA i forhold til WCDMA i Release 99 er flere, og kan oppsummeres til seks punkter[16]:

- Delt kanal og multi-kode overføringer
- Kortere tidsluker for overføring (Transmission Time Intervall - TTI)
- Høyere-ordens modulering
- Rask link-tilpassing
- Rask planlegging
- Støtte for Hybrid Automatic Repeat reQuest (HARQ)

Delt kanal og multi-kode overføringer betyr at man går bort fra prinsippet om dedikerte trafikkanaler for hver bruker som er i Release 99, til felles brede kanaler som deles mellom brukerne. Disse felles brede kanalene kalles High Speed-Physical Downlink Shared Channels (HS-PDSC) og opptil 15 slike kan operere innenfor en 5MHz WCDMA radio kanal.[42] Når brukerne har behov for å overføre data blir de

³⁶IP Multimedia Subsystem er et rammeverk for å kunne støtte multimedia og taletjenester uavhengig av aksessesteknologi. Det baserer seg i stor grad internett protokoller utviklet av IETF, som for eksempel SIP. For mere informasjon se [18]

tildelt tidsluker i en eller flere av disse kanalene. Denne tilordningen kan justeres av nettverket hvert andre millisekund. Dette fører til at nettverksressursene blir delt dynamisk mellom brukerne i både tid og ved hjelp av HS-PDSC koder. Dette fører til mere effektiv bruk av ressursene enn i Release 99.



Figur 4.15: Felles kanalressurs delt mellom brukerne i tidsplanet og vha. HS-PDSC koder.

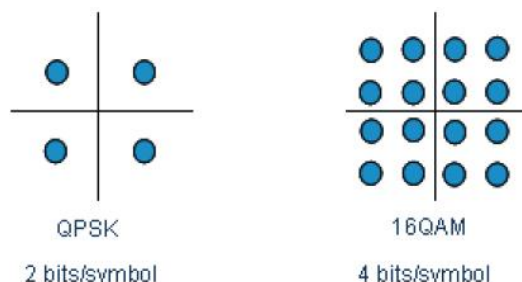
Kortere tidsluker for overføring (TTI) gjør at round-trip tiden blir kortere og at det blir lettere å overvåke variasjoner på kanalen. En større mengde informasjon om kanal-variasjoner gjør at det igjen blir enklere å tilpasse linken etter forholdene.

Høyereordens modulering gjør at HSDPA kan tilby høyere data rate under gode radioforhold enn det som var mulig i Release 99. Moduleringene som støttes er QPSK³⁷ (som også blir brukt i Release 99) og 16QAM³⁸. Sistnevnte utnytter båndbredden bedre enn QPSK under gode forhold, siden den oversender fire bit data i hvert radiosymbol i motsetning til to bit som blir oversendt med QPSK.

Rask linktilpassing innebærer at hver mobile enhet oversender regelmessig data om kvaliteten på radiolinken og ut ifra den informasjonen blir det gjort valg om hvor mye forward-error-koding som skal følge med på overføringen og hvilke moduleringsteknikk som skal brukes. Linktilpassningen blir derfor et spørsmål om hvilke

³⁷Quadratur Phase Shift Keying

³⁸Quadrature Amplitude Modulation



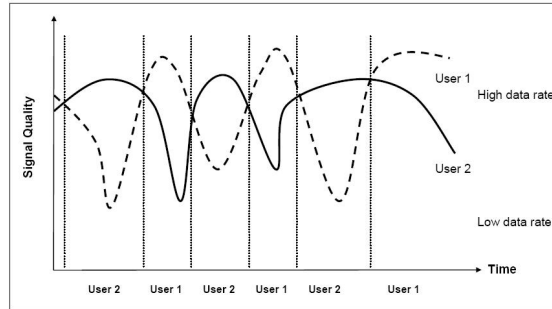
Figur 4.16: QPSK og 16QAM modulering i HSDPA [16]

datarater som skal støttes for hver enkel tilkobling, til forskjell fra WCDMA Release 99 hvor tilpassningen består av streng effektkontroll på overføringene fra base- og mobilenhet for å gi alle brukere den samme kvaliteten på overføringene. Deler av ressursene blir kastet bort ved bruk av effektkontroll, siden de enhetene som har dårlige forhold vil få tildelt en større andel av ressursene for at de skal kunne holde samme hastighet som de enhetene som har gode forhold. Link tilpassningsteknikken som brukes i HSDPA vil derfor føre til at systemene tar mere effektivt bruk av radioressursene tilgjengelig og kaste bort mindre kapasitet på "rettferdig fordeling" av ressursene.

Rask planlegging utnytter det at tidslukene for overføring har blitt mye mindre, og at informasjon om link forholdene kommer mye oftere. Dette gjør at systemet kan se hvilke brukere som har de beste forholdene til enhver tid og tilby de enhetene med god tilkobling kanalkapasitet istede for å følge en Round-Robin alorytme. Med mange brukere innenfor et område vil forholdene forandres konstant og på den måten vil tildeling av ressursene likevel skje på en noenlunde rettferdig måte. En god tildelingsalorytme her vil utnytte de kortsiktige variasjonene i signalforhold, men med en garanti om at alle får kanalkapasitet til å oppnå i hvert fall et minstemål av datarate, slik at ikke brukere under dårlige forhold strupes helt.

Hybrid Automatic Repeat reQuest er en teknikk som er implementert i HSDPA for å raskere kunne retransmittere data som har blitt overført feil til den mobile enheten. Til forskjell fra WCDMA Release '99 har MAC kontrollen i HSDPA blitt flyttet fra Radio Node Controller (RNC) til base stasjonen, for å redusere reaksjonstiden ved henvendelser. HARQ feilkontroll metoden i WCDMA release 5 er tilsvarende som i IEEE 802.16e.

Den teoretiske maks hastigheten for nedlasting man kan oppnå med HSDPA er 14.4 Mb/s med kategori 10 HSDPA utstyr, men det finnes per idag foreløpig ingen kommersielle produkter som støtter denne hastigheten. Kategori 8 HSDPA utstyr med kapasitet på 7.2 Mb/s nedlink ble derimot lansert allerede våren 2006. [39]



Figur 4.17: Figuren viser hvordan systemet kan velge mellom to brukere med varierende link-forhold, og gi den med best forhold kanalkapasitet. [42]

3GPP Release 6 - HSUPA

HSUPA står for High Speed Uplink Packet Access og er en forbedring av opplastingskapasiteten i WCDMA systemer. Økningen i kapasitet kan skje i stor grad takket være de samme teknikkene som benyttes i HSDPA. Teknikkene som benyttes er:

- Multi-kode overføringer
- Kortere tidsluker for overføring
- Rask planlegging
- Støtte for HARQ i opplink

HSUPA introduserer en ny transportkanal for opplink kalt Enhanced Dedicated Channel (E-DCH), som gir lavere latenstid og høyere datarate og kapasitet. Til forskjell fra kanalen HS-DSCH som brukes i HSDPA er ikke E-DCH en delt kanal, men heller dedikert til en bruker. Brukerenheten sender en henvendelse til basestasjonen når den trenger ressurser, og gir beskjed om tilstanden til egen overføringsbuffer, pakke kø i enheten og øvre og nedre grenseverdier for effekt ved opplasting. Base-stasjonen sender som svar hvilke av brukerenhetene som får tillatelse til å overføre data og når de kan gjøre det. I tillegg til den schedulede overføringsmodusen, støttes også bruker-initierte ikke-schedulede overføringsmodus.

Den teoretiske maks hastigheten for opplasting med HSUPA er 5.76 Mb/s. Verdens første mobilnettverk med støtte for HSUPA ble lansert januar 2007 i Italia, og støtter i første omgang opplastingshastigheter på 1.4Mb/s.

3GPP Release 7 - HSPA+

3GPP Release 7 skal etter planen ferdigstilles i løpet av 2007, og kommer blant annet til å spesifisere bruk av MIMO teknikk for å øke overføringshastighetene.

Uttalte mål for standarden er overføringshastigheter på 42 Mb/s i nedlink og 11 Mb/s i opplink, ved bruk av et 5 MHz frekvensområde.

3GPP Release 8 - LTE

LTE står for Long Term Evolution og er det langsiktige målet for 3gpp. Denne standarden har som mål å kunne gi 100Mb/s nedlastingshastighet og 50 Mb/s opplastingshastighet ved bruk av 20 MHz båndbredde.

Måten dette skal oppnås på er ved bruk av MIMO og OFDM.

3gpp2 CDMA2000

CDMA2000 kommer i flere utgaver. Noen av versjonene defineres som 2.5G og andre som 3G. Ingen av versjonene er kompatible med det konkurrerende 3G systemet vi finner i Norge og i store deler av resten av verden, nemlig UMTS. CDMA2000 er derimot kompatibel med tidligere CDMA telefonisystemer, slik som cdmaOne. Systemet er opprinnelig spesifisert til å operere innenfor frekvensområdene 400 MHz, 800 MHz, 900 MHz, 1700 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz og 2100 MHz

3gpp2 CDMA2000 EV-DO Rev.0

CDMA2000 EV-DO Rev.0 er en godt utprøvd overføringsstandard som er i bruk i mange land rundt om i hele verden. Standarden ble utviklet i 1999 av Qualcomm for å imøtekomme kravene til 3. generasjons trådløs kommunikasjon satt av ITU, som bl.a. inneholdt krav om nedlastingshastighet på mer enn 2Mb/s for stasjonære enheter.

Standarden tar utgangspunkt i CDMA2000 1xRTT som var den første CDMA2000 standarden som kom, og benytter seg av kanaler på 1.25MHz som opererer sammen i par[46]. Bokstavene som følger etter CDMA2000, EV-DO, står for Evolution-Data Only og henspiller på det faktum at teknologien ble utviklet med fokus på optimalisering av dataoverføring, og ikke har lagt stor vekt på samtrafikk med telefonsamtaler. For å kunne gi støtte for telefonsamtaler trengs det egne kanaler i tillegg. [49]

CDMA2000 EV-DO Rev.0 benytter seg både av TDMA og CDMA. TDMA passer godt til ip-trafikk siden teknikken tillater systemet til enhver tid å utnytte alle sine ressurser uansett trafikkmengde, mens CDMA gjør det mulig å gjenbruke frekvenser selv om man er innenfor samme område[9]. Tiden deles inn i tidsluker som fordeles mellom brukerne. Hver tidsluke kun kan benyttes av en enkelt bruker. Et sekund deles inn i 600 tidsluker og systemet avgjør så hvilke og hvor mange tidsluker hver enkelt bruker kan benytte seg av. Avhengig av størrelsen på pakken og overføringshastigheten, avgjøres hvor mange tidsluker som må til for å oversende pakken.

CDMA2000 EV-DO Rev.0 støtter tretten forskjellige overføringshastigheter, vist i tabellen nedenfor sammen med moduleringsteknikker. Den mobile enheten sjekker hele tiden hvor gode signaler den mottar fra basestasjonen, og avgjør ut ifra det hvilken moduleringsteknikk, koding og overføringshastighet som oppkoblingen kan støtte. Ved hjelp av en egen 4-bits kontroll kanal kan enheten markere hvilke av de 13 forskjellige datahastighetene som skal benyttes under overføringen.

DRC index	Data rate (kb/s)	Slots needed	Bits per packet	Code rate	Modulation
0	0	0	0	-	-
1	38.4	16	1024	1/5	QPSK
2	76.8	8	1024	1/5	QPSK
3	153.6	4	1024	1/5	QPSK
4	307.2	2	1024	1/5	QPSK
5	307.2L	4	2048	1/5	QPSK
6	614.4	1	1024	1/3	QPSK
7	614.4L	2	2048	1/3	QPSK
8	921.6	2	3072	1/3	QPSK
9	1228.8	1	2048	1/3	8-PSK
10	1228.8L	2	4096	1/3	8-PSK
11	1843.2	1	3072	1/3	16-QAM
12	2457.6	1	4096	1/3	16-QAM

1xEV-DO—First generation evolution—data only
DRC—Data rate control
PSK—Phase shift keying
QAM—Quadrature amplitude modulation
QPSK—Quaternary phase shift keying

Figur 4.18: cdma2000 EV-DO overføringshastigheter.

Her i Norge har firmaet ICE fått tillatelse til å benytte seg av frekvensområdet rundt 450 MHz til å sette opp et CDMA2000 EV-DO rev.0 nettverk for å kunne tilby ”mobilt bredbånd”. Frekvensområdet ble tidligere brukt til det analoge NMT

nettverket for mobiltelefoni, drevet av Telenor. Typiske nedlastingshastigheter ligger i dag på et sted mellom mellom 300-1000 kb/s.

3gpp2 CDMA2000 EV-DO Rev.A

CDMA2000 EV-DO Rev.A er en forbedring av EV-DO Rev.0 standarden. Rev. A innebærer forbedringer på både opplink- og nedlinkshastigheten og systemets støtte for QoS. CDMA2000 EV-DO Rev. 0 har ingen støtte for differensiering av tjenesteklasser, men det introduseres i denne oppdateringen.

Det som er gjort av forandringer for å forbedre overføringshastighetene er særlig[8]:

- Støtte for HARQ
- Støtte for høyere ordens modulering, QPSK og 8-PSK
- Endrede pakkestørrelser

Disse endringene gjør at maksimal teoretisk nedlinkshastighet øker til 3.1Mb/s og opplinkshastigheten til 1.8 Mb/s.

4.2 Trådbaserte overføringsmedier

4.2.1 Optisk fiber

Optisk fiber har en rekke fordeler sammenlignet med de andre trådbaserte alternativene, først og fremst på grunn av:

- Høy båndbredde
- Lang rekkevidde
- Forbedret sikkerhet

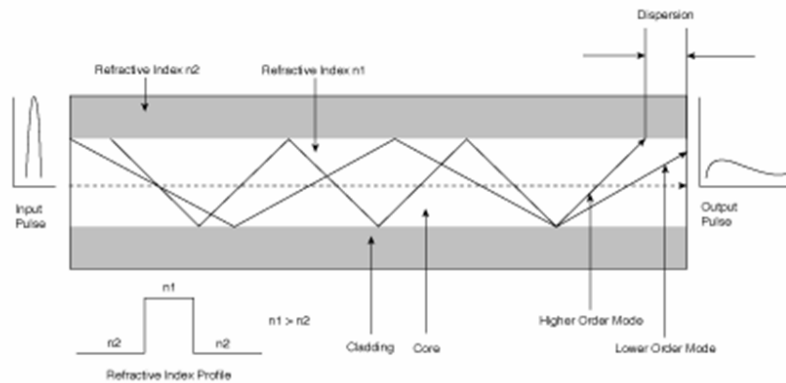
Fiberoptiske kabler kan i hovedsak deles opp i to hovedgrupperinger:

- Multimodus fiber
- Singlemodus fiber

	Maks nedlink	Maks opplink	Frekvenser
IEEE 802.11p	54Mb/s	54Mb/s	5.85-5.925 GHz
IEEE 802.16d / 802.16-2004	70Mb/s	70Mb/s	10-66GHz MAN-SC, 2-11GHz MAN-OFDM
IEEE 802.16e	70Mb/s	70Mb/s	10-66GHz MAN-SC, 2-11GHz MAN-OFDM
HC-SDMA	40Mb/s	40Mb/s	1.5 - 2.5 GHz
WCDMA Rel'99	2.048Mb/s	0.768Mb/s	806-960/1710-2025/2110-2200/2500-2690 MHz
HSDPA	14.4Mb/s	0.768Mb/s	806-960/1710-2025/2110-2200/2500-2690 MHz
HSUPA	14.4Mb/s	5.76Mb/s	806-960/1710-2025/2110-2200/2500-2690 MHz
HSPA+	42Mb/s	11Mb/s	806-960/1710-2025/2110-2200/2500-2690 MHz
LTE	100Mb/s	50Mb/s	2-6 GHz
cdma2000 Ev-Do Rev.0	2.4Mb/s	0.153Mb/s	400/800/900/1700/1800/ 1900/2100 MHz
cdma2000 Ev-Do Rev.A	3.1Mb/s	1.8Mb/s	400/800/900/1700/1800/ 1900/2100 MHz

Tabell 4.1: Teoretisk overføringskapasitet for diverse trådløsestandarder

Forskjellen mellom de to typene fiber er måten hvordan lys propagerer gjennom kabelen. Lyssignalet i multimodus fiber kan ta flere forskjellige retninger gjennom kabelen, mens lyssignalet i singlemodus fiber kun har en vei det kan gå.



Figur 4.19: Multimodus optisk fiber



Figur 4.20: Singlemodus optisk fiber

Multimodus fiber

Multimodus fiber har en kjernediameter på typisk 50-100 mikrometer, og kan gi ca 1 Gb/s overføringskapasitet per kanal over noen hundre meter. Multimodusfibrene er enklere og billigere å skjøte enn singlemodus fiber, og brukes for det meste innendørs for realisere høykapasitets interne nettverk.

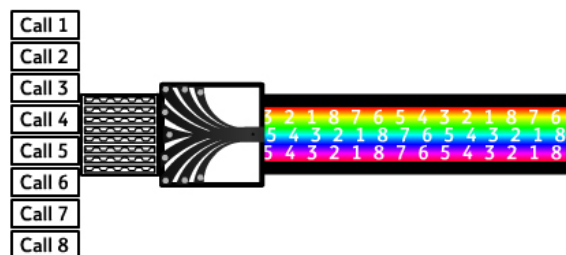
Singlemodus fiber

Singlemodus fiber har en kjernediameter på ca 10 mikrometer, og kan støtte hastigheter på 40 Gb/s per kanal over hundrevis av kilometere. Antall kanaler bestemmes ut ifra hvilke multiplexingsteknikker som brukes, hvorav noen av teknikkene kan være svært kostbare å gjennomføre mens andre er forholdsvis rimelige og enkle å ta i bruk.

De vanligste multiplexingsteknikkene er:

- Optisk frekvensmultipleksing
- Optisk tidsmultipleksing

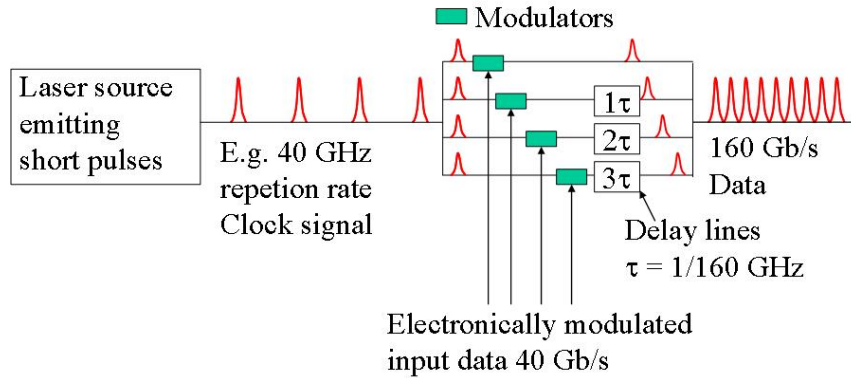
Optisk frekvensmultipleksing er en teknikk hvor hver av de forskjellige frekvensene av lyssignalet brukes som egne transmisjonskanaler, noe som gjør at signalraten vil mangedobles. Den teoretisk maksimumsgrensen for overføringskapasitet på en enkelt fiber kan da bli så mye som ca. 50Tb/s. Dette er dog ikke realiserbart, ettersom det krever mere frekvensomfintlig utstyr enn det som foreløpig har blitt utviklet. Det høyeste antall kanaler man har oppnådd ved bruk av frekvensmultipleksing på en enkelt singlemodus kabel er 273, noe som ga en hastighet på 10.92 Tb/s. Det store antallet kanaler gjør utstyret svært kostbart, og det er derfor i praksis sjelden at antall kanaler på en fiberkabel er så høyt. Rimeligere og mer stabile løsninger med 16 eller 32 forskjellige bølgefrequenser er derfor vanligere, noe som gir overføringsrater på henholdsvis 640 Gb/s og 1.28 Tb/s.



Figur 4.21: Frekvensmultipleksing

Optisk tidsmultipleksing fungerer i stor grad på samme måte som annen tidsmultipleksing med å kombinere flere optiske signaler til et felles signal, ved hjelp av streng synkronisering. Optisk multipleksing har vært brukt i lang tid innenfor

telekom-verdenen i SONET³⁹ og SDH⁴⁰ nettverk. Den høyeste overføringshastigheten som er oppnådd ved hjelp av OTDM er 1.28 Tb/s.



Figur 4.22: 4 x 40 Gb/s TDM til 160 Gb/s optisk tidsmultipleksing

Aktive og passive optiske nettverk

Når det er snakk om siste leddet ut til endenode i et optisk nettverk, skiller vi gjerne mellom det som kalles aktive og passive optiske nettverk. Forskjellen ligger i om nettverket trenger tilførsel av strøm på veien fra den sentrale trafikknoten OLT⁴¹ og til hver enkelt nettverksenhet ONU⁴².

Fordelene med med passive nettverk er at driftskostnadene ved anlegget vil være svært lave og at det bare er en tilkobling til OLT. Ulempene er at all data må broadcastes og at det er vanskelig både å skalere og oppgradere på et senere tidspunkt.

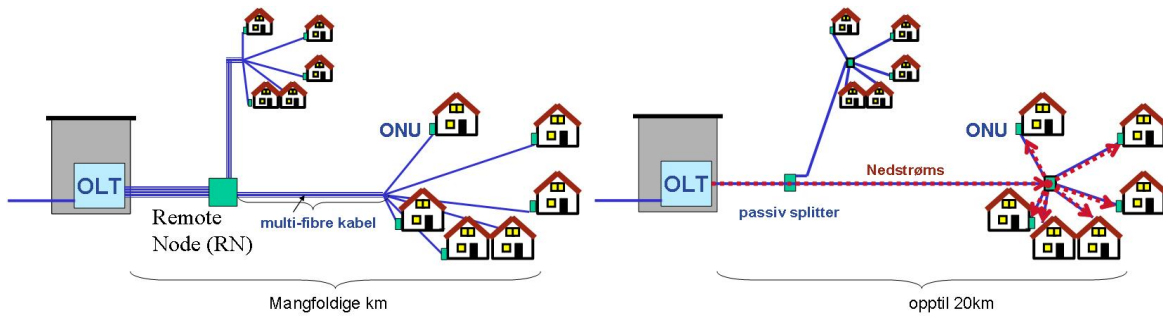
Passive optiske nettverk kan deles på tid og frekvens, på lik linje med andre medier. I de tilfellene der fiberen deles på frekvens, tildeles hver enkelt ONU en bølgelengde som de kan kommunisere over. Fordelene med dette er at alle nettverksenhetene kan kommunisere over fiberen samtidig, noe som resulterer i økt kapasitet[34]. Ulempene er at ikke alle frekvensressursene i fiberkabelen kan tas i bruk og at lyskildene i ONU'ene må være veldig presise, noe som igjen øker kostnadene. Rimlige LED lyskilder er et alternativ men de har en begrenset rekkevidde i forhold til andre lyskilder.

³⁹synchronous optical networking

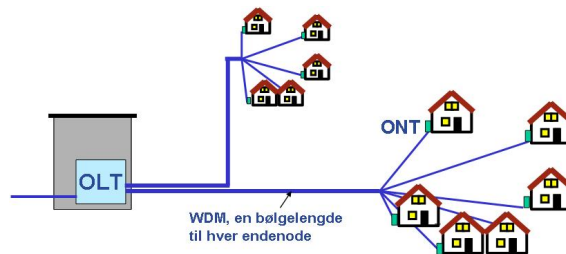
⁴⁰synchronous digital hierarchy

⁴¹optical line terminal

⁴²optical network unit



Figur 4.23: Aktive og passive optiske nettverk.



Figur 4.24: Passivt nettverk delt på frekvensressurser (WDM-PON)

IEEE 802.3ah - EPON

IEEE 802.3ah - EPON⁴³ er en standard som er basert på ethernet standarden og som tillater flere optiske enheter å kommunisere over en enkelt fiber med en felles overføringshastighet på 1Gb/s full-duplex over en avstand på opptil 20km[23]. Standarden bruker rimelige passive splittere til å fordele signalet ut til hver enkelt ONU, og vil således være en godt egnet teknikk for utbygging av "last-mile"-aksess for ITS-nettverk.

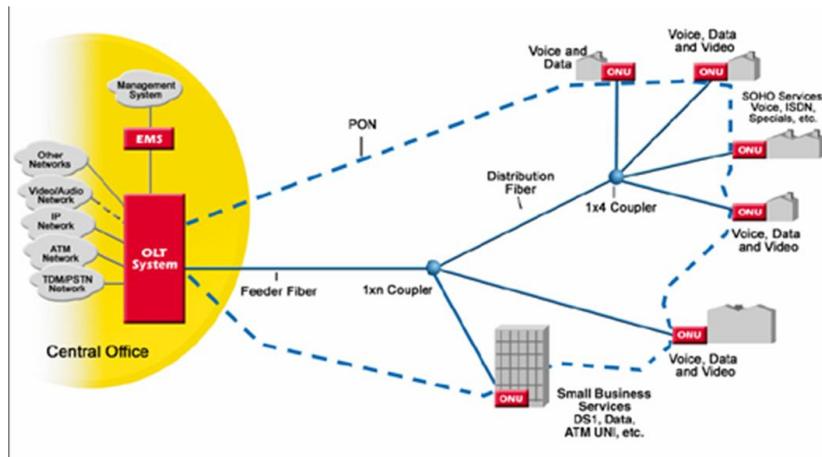
EPON nettverket består av en sentral trafikknode, passive splittere og optiske nettverksenheter, og gir oss en umiskjennelig tre/tre-og-gren topologi. Dette er illustrert i figur 4.25.

Systemet bruker lys med bølglengde på 1490 nm for nedstrømsdata og 1310 nm for oppstrømsdata, og kan på den måten realisere full duplex tilkobling. Tildelingen av nettverksressurser skjer ved hjelp av en vanlig TDMA protokoll.

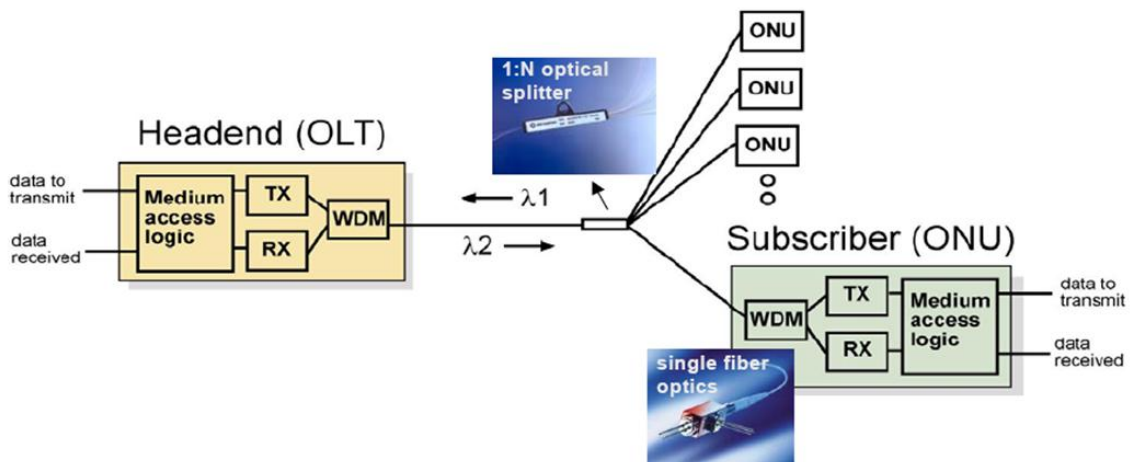
Punkt-til-multipunkt protokollen i EPON går under navnet MPCP⁴⁴ og tar seg av:

⁴³Ethernet Passive Optical Network

⁴⁴Multi-Point Control Protocol



Figur 4.25: EPON topologi



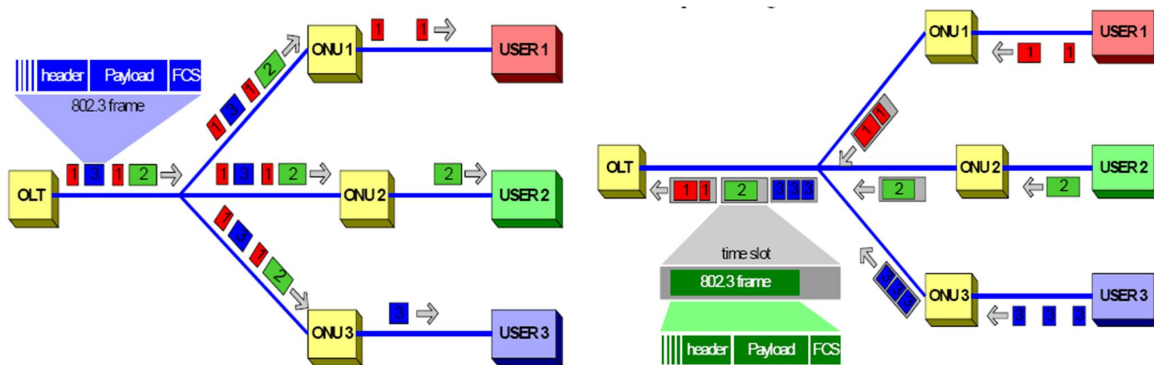
Figur 4.26: EPON systemet med sentral node, passiv splitter og optiske nettverksenheter.

- Båndbredde forespørsler og tildeling
- Automatisk oppdagelse av optiske enheter
- Avstandsoppmåling

I den forbindelse blir tre nye meldinger introdusert på MAC-laget: REPORT, GATE og REGISTER. De to første av meldingene brukes i forbindelse med forespørsel og tildeling av båndbredde, mens REGISTER brukes i den automatiske oppdagelsesprosessen. Etter at en enhet er oppdaget ved hjelp av en REGISTER melding til OLT innenfor OLT's "oppdagelses vindu"⁴⁵, får den tildelt en logisk link id og båndbredde. Synkronisering av ONU enhetene skjer så ved hjelp av nedstrøms tidsstemplede GATE meldinger som aktiviserer lyskilden hos ONU for en begrenset tidsperiode.

Nedstrøms broadcaster OLT all data til alle ONU'er tilkoblet. Hver har i oppgave å filtrere vekk de rammene som ikke er adressert til de ved hjelp av den logiske link id'en. Sammen med data adressert til de optiske enhetene følger GATE meldinger som tillater ONU'ene å sende data tilbake.

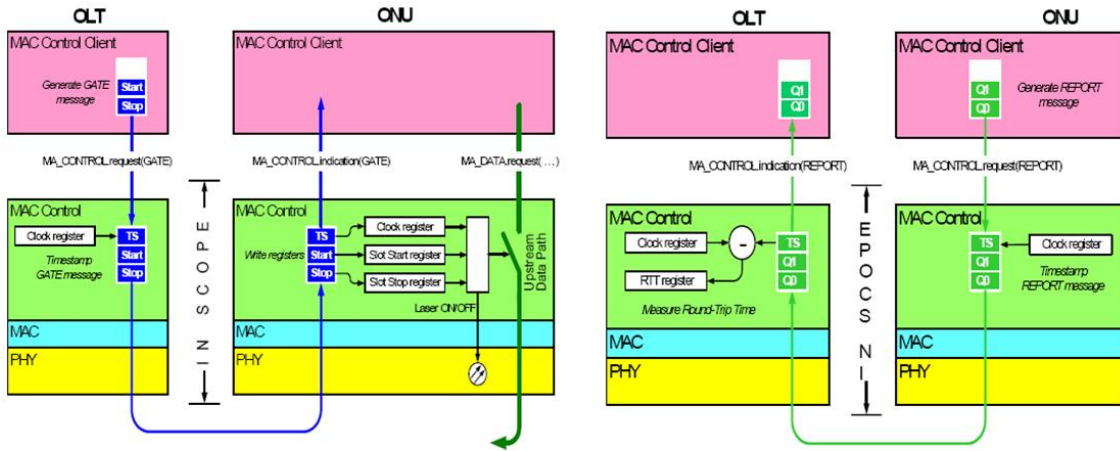
Oppstrøms oversender ONU flere 802.3 rammer i hver tidsluke den får tildelt, hvor hver av rammene inneholder en REPORT melding med tilstandsinformasjon om enheten. OLT kan ut ifra de tidsstemplede REPORT meldingene og kunnskap om når den sendte ut GATE meldingen regne seg fram til tur-retur-tid⁴⁶ for linken, og eventuelt gjøre endringer på de optiske parametrene for å optimalisere overføringen.



Figur 4.27: EPON nedstrøms og oppstrøms.

⁴⁵eng. discovery window

⁴⁶eng. Round-Trip-Time



Figur 4.28: GATE og REPORT meldingsutveksling mellom OLT og ONU.

4.2.2 Twisted pair

Twisted pair kabler er forholdsvis rimlige og driftssikre, og kan støtte høye hastigheter. Den nyeste standarden av Cat-klassen er Cat6, med støtte for et spektrum på 250 MHz. Dette gir Gigabit Ethernet kapasitet over 100 meter i horisontal retning. Et annet alternativ for Gigabit Ethernet kapasitet er Cat5e-kabling, med støtte for et spektrum på 100MHz. De fysiske egenskapene ved Cat6-kabling gir imidlertid forbedringer med hensyn på:

- Insertion loss/attenuation
- Near end crosstalk
- Return loss
- Equal level far end crosstalk

Disse forbedringene gir høyere signal-støy forhold, noe som betyr bedre stabilitet og mulighet for høyere datarater i fremtidige applikasjoner. Prisen ved innkjøp av Cat6-kabler ligger et sted mellom 30 og 50 prosent høyere i forhold til prisen til Cat5e-kabler [1].

En ulempe ved at Cat6 er at kabelen er skjermet, noe som gjør det mye vanskeligere å lage kontakter til den. Marginene er mye mindre, og det er ingen triviell oppgave å sette på en nettverkskontakt på enden av kabelen. Dette medfører at kablene enten må være ferdiglagde med kontakter i endepunktene, eller at man må regne med dyrere og lengre installasjon. Muligheten til å endre på nettverket ved en senere

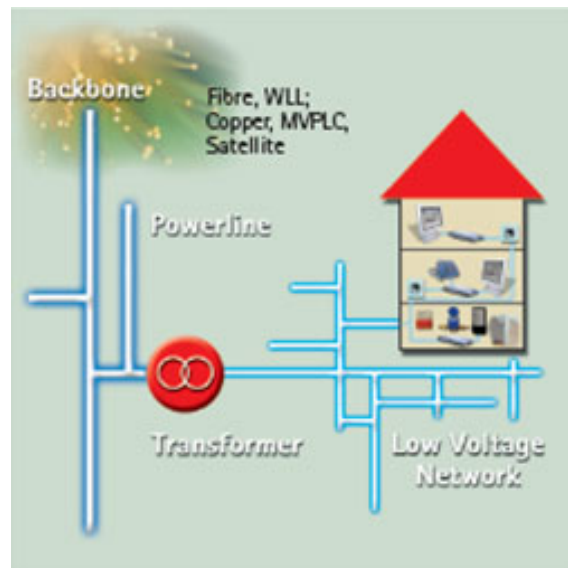
anledning vil være begrenset, da man ikke kan regne med å kunne endre lengden på kablene uten at dette vil medføre et betydelig arbeid.

4.2.3 Kommunikasjon over strømledning

Bredbånd over strømledningen er en forholdsvis ny teknologi med et stort potensial, da det ofte kan spare deg for alt bryderiet med å legge opp et ekstra kabelnettverk. Nye modulasjonsteknologier har ved eksperimenter vist hastigheter på over 1 Gbit/s full-duplex, og med mulighet for å operere innenfor området 100 MHz - 10 GHz[2]. Fordelen med å ha et så stort spektrum å benytte seg av er at det gjør det enklere å unngå problemer med interferens. Interferens er nemlig et av de største problemene med Broadband over Powerline (BPL). Ettersom strømledningene ikke er tvunnet eller tilstrekkelig isolerte fra omverdenen, vil de fungere som en eneste lang antenne og forstyrre eventuelle andre radiosignaler i området. Samtidig gjør mangelen på isolering det mulig å forstyrre signalene på et BPL-system ved hjelp av et utenforstående radiosignal. I områder der BPL er blitt testet, har det blitt dokumentert en rekke problemer med interferens, noe som har dempet begeistringen for teknologien.

Et av problemene som har preget bredbånd over strømledningskonseptet, er mangelen på en felles internasjonal standard. Strømnettverkene har tradisjonelt variert mye fra nasjon til nasjon, noe som har gjort det vasnkeligere å enes om en felles løsning. Resultatet er en rekke forskjellige proprietære standarder, med liten utbredelse.

Konseptet med bredbånd over strømledningen har et veldig stort fortrinn ovenfor andre teknologier ved at kablene i stor grad allerede ligger på plass, men det finnes også problemer involvert med teknologien som gjør at den ikke kan ruller ut i storskala riktig enda. Et prosjekt som kan gjøre noe med dette er The Open PLC European research alliance - Opera, som er et felles europeisk forskningsprosjekt som tar sikte på å harmonisere de forskjellige teknologiene for kommunikasjon over strømledning med felles-europeisk frekvensplan.



Figur 4.29: Konseptet ved kommunikasjon over el-nettverket.

Kapittel 5

Problemstillinger

Dette kapittelet vil ta for seg spesifikke problemstillinger i forbindelse med utbygging av ITS-nettverk i Norge. Noen av problemstillingene er de samme som man kan finne igjen i debatter internasjonalt om ITS utbygging, andre er av mer nasjonal karakter.

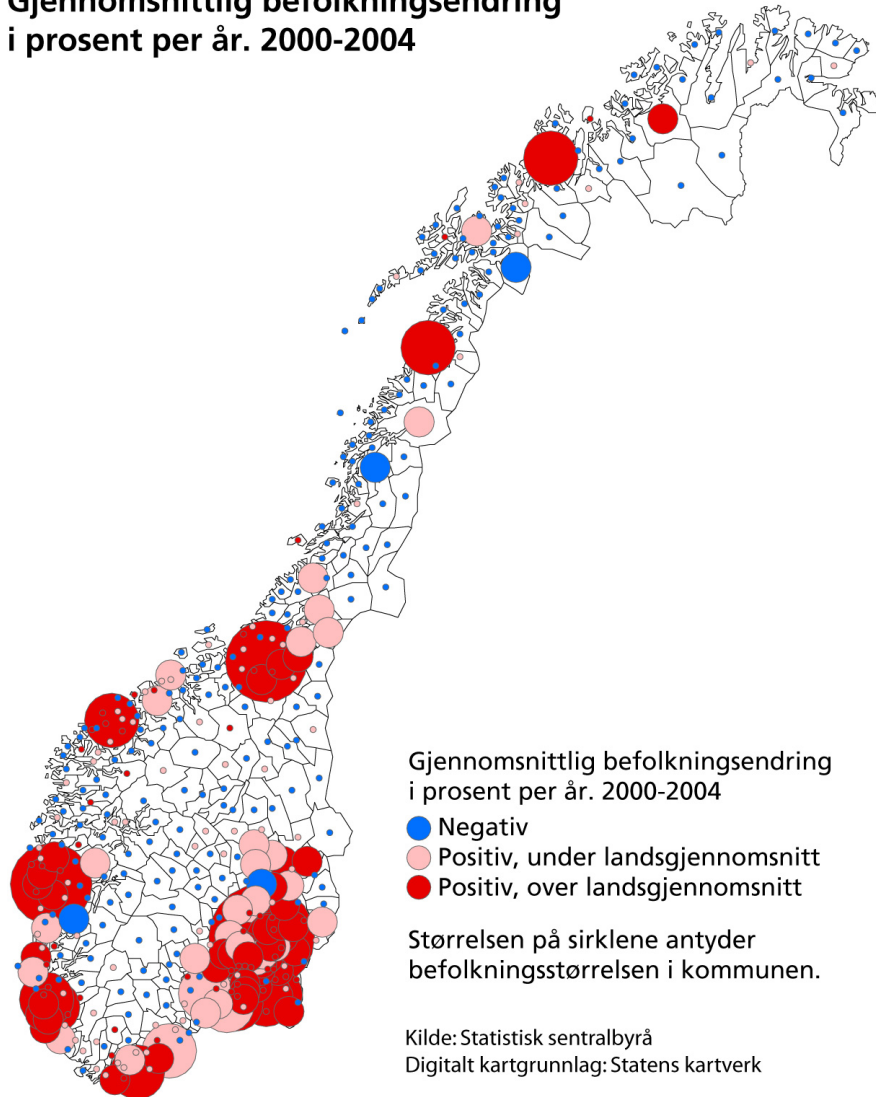
5.1 Geografi og demografi

Norges geografi vil kunne være en utfordring når det kommer til utbygging av ITS-nettverk. Landet har et stort antall fjell og daler som gjør det krevende å distribuere radiosignaler, samt en fauna som også kan virke forringende på signalene. Tester utført i vårt naboland Sverige har avdekket at bartrær demper WiMAX-signaler betraktelig[27], noe som også begrenser våre muligheter til å benytte oss av teknologier på så høye frekvenser i hele Norge. Det vil derfor være nødvendig å ta spesielle hensyn til geografien i det området som skal bygges ut, før vi eventuelt kan komme fram til noen god løsning som gir tilfredstillende nettdekning i området.

Det må også nevnes at Norge er stort på areal, men forholdsvis lite på innbyggere og med lav befolkningstetthet. 34 prosent av befolkningen bor i fylkene Akershus, Østfold, Vestfold og Oslo, som tilsammen står for kun 3,63 prosent av landets areal.[50] Statistisk Sentralbyrå har i over 30 år kartlagt befolkningsendringer i norske kommuner, og har påpekt at befolkningen sentraliseres helt siden 1985. I sine prognoser for befolkningsendring i tiden fram til år 2020 antas det at befolkningen fortsatt vil sentraliseres, og at befolkningen i de største byene, regionsentrene og kyststrøkene vil øke på bekostning av befolkningen i usentrale områder innenlands.[28] Noe man derfor bør tenke igjennom er i hvilken grad et eget ITS-nettverk langs veier bør bygges ut i alle kanter av Norge og eventuelt hvilke ITS-tjenester som bør tilbys der

hvor det ikke vil finnes et eget ITS-nettverk.

Gjennomsnittlig befolkningsendring i prosent per år. 2000-2004



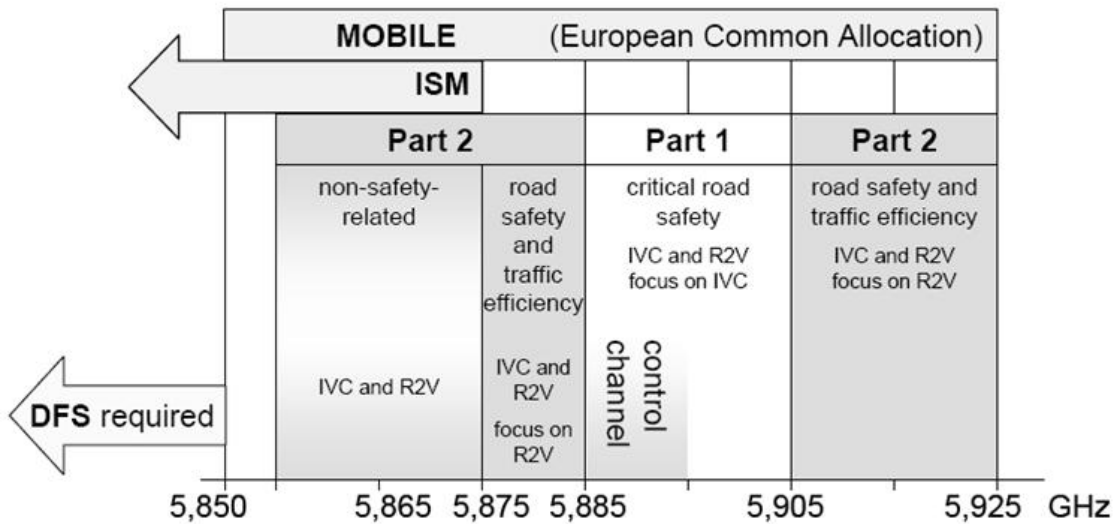
Figur 5.1: Statistikk viser en klar trend for sentralisering rundt de største regionsentrene, samt tilflytting til kystområdene.

5.2 Frekvensressurser

Et annet område som også må belyses er tilgjengeligheten av frekvenser for ITS-formål. Norge har tidligere satt tilside ressurser i de frekvensområdene som er planlagt brukt i CALM prosjektet, men det er slett ikke sikkert dette er tilstrekkelig

hvis det blir snakk om å realisere et ITS-distribusjonsnettverk ved hjelp av trådløs teknologi. Frekvensene som er satt tilside har foreløpig blitt satt av til kjøretøy-til-kjøretøy og kjøretøy-til-infrastruktur kommunikasjon, men det vil selvsagt også være teoretisk mulig å bruke disse frekvensene til å bygge ut et distribusjonsnettverk for ITS-aksesspunkter.

To nye frekvensområdene for radiotrafikk er satt av til ITS-formål i Norge og resten av Europa, 5.9GHz og 63-64GHz. Den ene er antatt som hovedbæreren av datatrafikk for ITS-tjenester, nemlig den kommende wifi standarden for biltrafikk CALM M5 / 802.11p. Den andre er beregnet til rettede radio-overføringer mellom kjøretøy og aksesspunkter, CALM MM.



Figur 5.2: Frekvensområdet 5.9GHz satt av for ITS-bruk i Europa.

CALM MM på 63-64GHz kan også bli interessant med tanke på bruk til høyhastighetsbus mellom aksesspunkter. Den kan gi høy overføringskapasitet og bruker et lisensbelagte frekvensområdet, noe som kan være med på å øke driftsikkerheten rundt distribusjonsnettverket. CALM MM er heller ikke tatt med som aksess teknologi i de foreløpige CVIS utkast, og har en tilsynelatende komplementær teknologi i CALM IR. Begge standardenes viktigste egenskap er retningsbestemt dataoverføring i høy hastighet, og det vil ikke være nødvendig å ta CALM MM i bruk til aksess teknologi hvis CALM IR kan klare å dekke dette behovet.

Potensielle utbyggere av ITS-nettverk i Norge bør også vurdere å kjøpe inn lisensbelagte frekvensområder rundt 2GHz området, for å kunne gi dekning ved hjelp av mobile bredbåndteknologier som IEEE802.16e.

5.3 Skalering av ITS-nettverk

Ved utbygging av ITS-nettverk må det tas hensyn til hvor mange brukere det forventes vil ta ibruk nettverket både på kort og på lang sikt. I denne forbindelsen vil det være nyttig å vite antall biler som trafikkerer strekningen idag, samt om det er planlagt noen form for omlegging av vegnettet i framtiden som vil påvirke trafikkmengden på den aktuelle strekningen. Det kan ofte være svært dyrt å utvide nettverkskapasiteten på et senere tidspunkt hvis det ikke er tatt høyde for dette ved oppføringen av nettverket. Særlig gjelder dette trådbasert kommunikasjon hvor man kan bli nødt til å grave nye grøfter hvis det ikke er mulighet for å legge de nye kablene sammen med de eksisterende, dvs. ikke mere plass i kabelføringene.

Veksten av antall bruker-klienter for ITS-nettverket er forventet å ha form som en S-kurve, med forholdsvis lav vekst den første tiden etterfulgt av sterk vekst så fort ITS-klienter blir standard utstyr i hver eneste ny-bil. Denne veksten vil så flate ut etterhvert som biler med ITS-klienter skrotes til fordel for nyere biler med ITS-klienter. Ettersom det forventes at ITS-klienter blir standardutstyr i biler etterhvert som teknologien blir moden og ITS-nettverk er godt tilgjengelig, må man ta høyde for at nettverket kan støtte trafikk fra så mange kjøretøy.

En annen ting som det heller ikke må ses bort ifra er mulighetene for at nye og foreløpig ukjente tjenester med høye båndbreddekrav kan komme i framtiden. Det må derfor tas høyde for at nettverkstrafikken kan bli betydelig høyere enn den opprinnelig er forespeilet. Tommelfingerregelen må i så måte være å legge tilrette allerede ved utbygging for å kunne øke båndbredden i nettverket.

5.4 Integrering i utstyr

I forbindelse med utbygging av ITS-nettverk vil vi også støte på praktiske og estetiske problemstillinger vedrørende plassering av radioteknisk utstyr langs vegnettet. Det er av den grunn ønskelig å se hvilke muligheter vi har for å integrere det tekniske utstyret i allerede eksisterende infrastruktur langs veien. En god teknisk løsning på disse problemstillingene vil kunne gi oss reduserte kostnader i forbindelse med utbygging og drift av ITS-nettverket.

Et alternativ som bør vurderes er montering i eller på stolpene til vei- og trafikklys. En av fordelene med å integrere nettverksutstyret i en av disse installasjonene er at sjansen er stor for at vi kan spare oss for bryderiet med å legge opp strømtilkobling. Dette gjelder dog ikke alle veglysinstallasjoner, da det store flertallet av gamle installasjoner styres ved at kretser kuttet når lyset skal skrus av. I nyere ”intelligent

vegbelysning” derimot har armaturene strøm hele døgnet, og inneholder elektroniske ballaster som styrer spenningen over lyskilden.

Aksesspunkt inni lyktestolpe/trafikklys - ”The Tube”

Erfaringer fra utbygging av Trådløse Trondheim har vist at det svært tidkrevende og kostbart å bygge ut store trådløse WIFI nettverk uten å ha en form for standardert plassering av utstyret. Å ta hensyn til spesielle monteringsforhold ved hver enkelt utplassering av aksesspunkt, gir et betraktelig merarbeid.

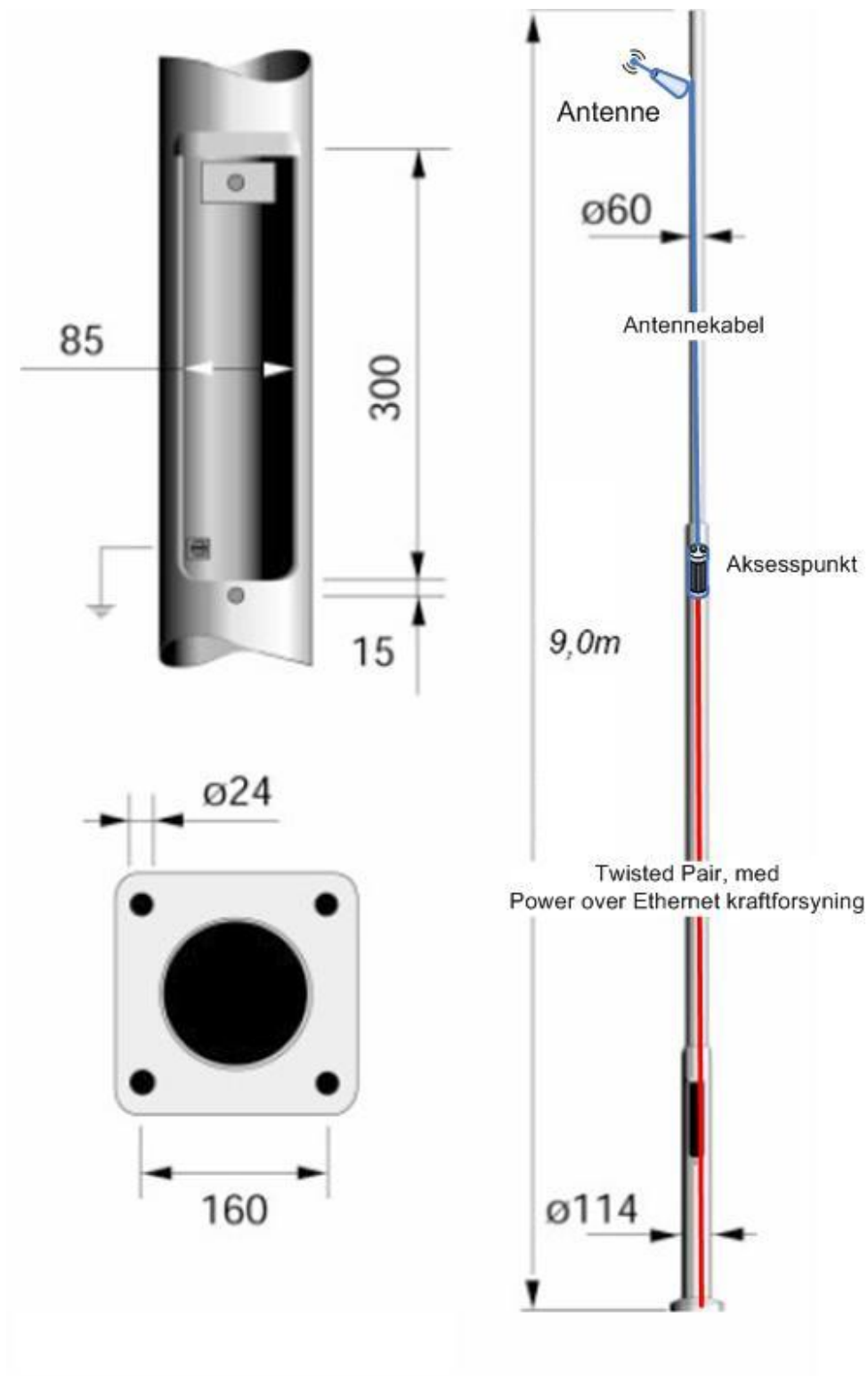
I den forbindelse har Prof. Steinar H. Andresen introdusert idèen om å utvikle et aksesspunkt med form slik at det får plass inni de fleste lyktestolper og trafikklys. I tillegg til å kunne gi en enklere og ryddigere prosess ved utbygging av store WIFI-nettverk i framtiden vil en slik plassering av aksesspunkt være betraktelig mye mindre sjenerende rent estetisk enn en firkantet boks utenpå stolpen. Ved at utstyret er skjult for publikum er sjansene også større for at det får stå i fred, uten å bli tuklet med.

5.5 Synergieffekter

Ved utbygging av ITS-nettverk langs vegnettet i Norge, bør det også undersøkes om det finnes mulige synergieffekter som gjør at en investering raskere vil betale seg. Det kan her være snakk om å bruke de mulighetene vi har for nettverksforbindelser langs veiene til flere formål enn akkurat ITS-og underholdningstjenester for personer i kjøretøy.

Som eksempel i denne sammenheng kan det nevnes styring av veilyss eller avlesning av instrumenter langs veiene. Store deler av veilyset vi har i Norge idag er av gammel og lite energieffektiv karakter, og en utskiftning av denne veglysteknologien til fordel for ny intelligent veglysteknologi vil kunne gi store besparinger i offentlige strømutfgifter. Energibespareningene kan forventes i størrelsesorden 50-70 prosent av dagens forbruk, og vil kunne være med på å tjene inn kostnadene ved utbygging av kombinert intelligent veglyss og ITS-nettverk over tid.

Intelligent veglyss trenger to-veis kommunikasjon helt opp til hver enkelt lysarmatur, og er idag for det meste basert på LonWorks og Dali standardene for lysstyring. Kommunikasjonen foregår over strømledningene til en segmentkontroller som har som oppgave å samle inn data fra sitt ansvarsområde og sende den over til en sentralnode ved hjelp av vanlig ip trafikk.



Figur 5.3: Eksempel på konseptet 'The Tube'. Aksesspunkt plassert inni standard norsk lyktestolpe levert av Ørsta Stål.

I første omgang kan det være aktuelt å tilby nettverkstilgang for segmentkontrollere langs veien ved hjelp av ITS-nettverket, men over lengre tid vil det kanskje også bli aktuelt å ha direkte trådløs kommunikasjon med hver enkelt lysarmatur bortover langs veien. Kommunikasjonen over strømledningen ved hjelp av LonWorks er sterkt begrenset med hensyn på overføringskapasitet og en annen kommunikasjonskanal vil kunne være ettertraktet i forbindelse med videreutvikling av intelligente veglystandarder.

5.6 Distribusjonsnett

Avhengig av om det er snakk om å bygge ut ITS-nettverk i et ny-anlegg av vei eller om det er snakk om å oppgradere eksisterende veianlegg, vil det gjerne være flere forskjellige tekniske løsninger som kan være aktuelle i hvert enkelt tilfelle. Generelt kan det sies at valget står mellom å satse på trådbasert- eller trådløs-datakommunikasjon fram til aksesspunktene.

Dette blir fort et spørsmål om økonomi og driftssikkerhet, da vi snakker om forholdsvis store investeringer i et system som settes opp for bl.a. trafiksikkerhetstjenester for bilister. Trådbasert kommunikasjon har de fordelene at de ofte har svært høy kapasitet, lang levetid og god stabilitet, men tilgjengjeld er baksiden at investeringskostnadene gjerne kan bli svært høye. Arbeidet forbundet med å legge selve kablet ned i bakken er gjerne den største kostnaden i denne sammenheng, noe som betyr at det ikke nødvendigvis er forbundet store investeringskostnader for trådbasertkommunikasjon hvis det likevel skal graves langs strekket.

Fordelene med trådløs-kommunikasjon er at systemet er raskere å sette opp og med lavere investeringskostnader. Det gjør det også enklere å gjøre endringer i etterkant med tanke på plassering av utstyr. Det tekniske utstyret for trådløskommunikasjon kan ofte være dyrere enn det trådbaserte alternativet, men sammenlignes de totale kostnadene fram til nettverket er oppe og går, endres gjerne dette bildet.

Kapittel 6

Betraktninger

Etableringen av et nasjonalt ITS-nettverk vil måtte konstrueres ved hjelp av flere forskjellige nettverksteknologier, og det er ikke slik at en løsning et sted i landet nødvendigvis vil være den optimale løsningen et annet sted i landet. Avhengig av de lokale forholdene vil det stilles forskjellige krav til utformingen av ITS-nettverket fra veistrekke til veistrekke, og det er derfor svært vanskelig å gi gode generelle anbefalinger om teknologivalg som kan passe inn i ethvert miljø i Norge. Leseren må derfor være oppmerksom på at det i tilfeller der det argumenteres for en begrenset ITS-utbygging kan finnes andre sikkerhetshensyn som taler for en mer omfattende utbygging enn foreslått og som må tas med i beregningen.

6.1 Momenter som veier inn ved valg av teknologi

Valget av nettverksteknologi for realisering av ITS-nettverk bør skje ut ifra en helhetsvurdering av strekningen det er snakk om å bygge ut, med et perspektiv som strekker seg over flere år og som tar høyde for endrede trafikkmønstre. Momenter som bør tas med i betrakningen er:

- Trafikkgrunnlag på strekningen
- Ulykkesstatistikk på strekningen
- ITS-tjenestene som skal tilbys
- Avstand fra tilkoblingspunkt og tilgjengelighet av trekkør for fiber
- Prosjekterte oppgraderinger av vei og infrastruktur langs strekning

- Tilgjengelighet på strøm
- Natur i området

6.1.1 Trafikkgrunnlag på strekningen

Trafikkgrunnlaget på strekningen vil ha mye å si for både valget av teknologi og lønnsomheten av ITS-nettverket. Er det her snakk om et strekke med stor trafikk, må dette tas hensyn til ved utformingen av anlegget slik at alle kjøretøyene vil få nettverksressurser tilgjengelig. Stor trafikk betyr også at aksesspunktene må plasseres tettere for at opp- og ned-hastigheten på nettverket kan være den samme som ved anlegg med liten trafikk.

6.1.2 Ulykkesstatistikk på strekningen

Den største motivasjonen for å bygge ut ITS-nettverk i Norge er ganske klart et ønske om å senke antall skadede og drepte i trafikken. I 2006 døde 242 personer som følge av trafikkulykker og sammen med antall skadede i trafikken utgjør ikke dette bare en kilde for lidelse for de involverte og etterlatte, men samtidig også en stor kostnad for samfunnet. [45] Kostnadene ved død eller skade som følge av trafikkulykker er anslått til å være i størrelsesorden 25 milliarder kroner i året for staten [44], og det vil derfor være av stor økonomisk interesse for samfunnet å gjennomføre trafikksikringstiltak som er med på å senke denne utgiften.

Strekninger som er spesielt ofte rammet av ulykker er også strekninger som tidlig bør prioriteres ved utbygging av ITS-nettverk. Det er ofte slik at de spesielt utsatte strekningene har en egenskap som gjør at de legger til rette for at akkurat en spesiell form for trafikkulykke kan inntreffe. Dette kan være for eksempel at strekningen inneholder en brå sving, en smal broovergang, høy elgfare, svingete tunnel eller en uoversiktlig fotgjengerovergang. I slike tilfeller bør utformingen av ITS-nettverket ta høyde for oppgaven med å forebygge akkurat den typen ulykke som har forkommet spesielt hyppig i tidligere tider.

6.1.3 ITS-tjenester som skal tilbys

Det er ikke vanskelig å se for seg et scenarie der vi har et sett med mer generelle sikkerhetstjenester som er tilgjengelig nesten overalt og et sett med mer spesialtilpassede sikkerhetstjenester som skal forhindre ulykker på spesielt utsatte områder. Avhengig av hvilke type trafikkulykker som skal forebygges, vil det være nødvendig

å vurdere forskjellige aksessteknologier for å kunne realisere tjenesten. Noen steder vil det være slik at det holder å sende ut varslingsmeldinger til alle kjøretøy innenfor et geografisk område, mens i andre tilfeller vil det være slik at meldingene ikke har noen verdi hvis de ikke kun blir mottatt av et mere avgrenset antall kjøretøy, for eksempel kun kjøretøy i kjørefelt X. Valget av aksessteknologi for ITS-nettverket må derfor ta hensyn til ulykkesstatistikker og dermed hvilke sikkerhetstjenester som skal støttes på strekningen.

6.1.4 Avstand fra tilkoblingspunkt og tilgjengelighet av trekkør for fiber

Avstand fra tilkoblingspunkt og tilgjengelighet av trekkør for fiber vil helt klart spille inn på hvilke valgmuligheter vi har for nettverksteknologi. Det er åpenbart enklere å sørge for en høykapasitets nettverkstilkobling der hvor vi er kort avstand fra et fibernettsverk enn der hvor det er snakk om flere mil fram til nærmeste bredbåndsforbindelse. Norge er et stort land og det kan ikke argumenteres for en identisk nettverksutbygging på enhver strekning. Noen områder vil ha behov for høyere nettverkskapasitet enn andre, og i tillegg vil det være slik at kostnadene ved utbygging av trådbaserte distribusjonsnettverk vil variere stort avhengig av lokasjonen. I de områdene der hvor kostnadene kan bli svært store vil det være mere fornuftig å satse på et radiodistribuert nettverk, som kan settes opp raskere og rimligere.

I de fleste nye veianlegg idag legges det ned trekkør i tilfelle det kan bli aktuelt i framtiden å legge fiberkabel langs med veien. Finnes trekkør tilgjengelig er kostnadene ved å bygge ut et fibernettsverk betydelig mye lavere, siden alle kostnadene ved graving kan ses bort ifra. Gravingen av grøfter er ellers den desidert største utgiften ved utbygging av fibernettsverk.

6.1.5 Prosjekterte oppgraderinger av vei og infrastruktur langs strekning

En utbygging av ITS-nettverk kan med fordel skje i sammenheng med andre oppgraderinger på det eksisterende gatelys- og vei-anlegget. Kostnadene forbundet med utbygging av fiber-distribusjonsnettverk vil kunne være betydelig lavere hvis arbeidet blir gjort i sammenheng med andre inngrep langs veien.

6.1.6 Tilgjengelighet på strøm

Et absolutt krav for å kunne sette opp et ITS-nettverk, er tilgjengeligheten på strøm. Dette kan løses ved å koble seg på et eksisterende gatelys-anlegg/annen infrastruktur langs vei. En ting det må tas høyde for med gatelysanleggene er det faktum at det ikke nødvendigvis er strøm på kretsen til enhver tid, men bare når det er behov for lys på kveldstid. Den eldre generasjon gatebelysning styres sentralt ved å kutte strømmen på hele anlegget når det ikke er behov for gatelys. Nyere ”intelligent gatebelysning” har derimot strømmen på til enhver tid, og egne brytere i hver enkelt lysarmatur som skrur lyset av og på ettersom hva de får beskjed om å gjøre.

Alternativene til å få strøm direkte fra infrastrukturen kan være å få strøm fra nettverkskabelen eller gjennom bruk av solcellepanel og batteri.

Power-over-ethernet har etterhvert blitt en godt utprøvd teknikk, og er standardert gjennom IEEE 802.3af. Standarden kan støtte effektleveranse på ca 13W over en strekning på 100m, over en CAT3/CAT5 kabel[41]. Dette er nok til å drive en hel del forskjellig nettverksutstyr, men dessverre ikke nok til å drive 802.11p aksesspunkter. En ny power-over-ethernet standard er under arbeid, IEEE 802.3at, og den har som mål å kunne levere opptil 56W over en CAT5 kabel, noe som vil være nok til å drive et aksesspunkt[51].

En løsning med solcelle drevne ITS-anlegg vil også være et alternativ som bør undersøkes. Det finnes allerede løsninger for solcelle-drevne WiMAX basestasjoner tilgjengelig på markedet idag[29], og tilsvarende løsninger vil også kunne være aktuelle ved utbygging av ITS-nettverk. En slik løsning krever grundigere undersøkelser i forhold til årstider her i Norge, før den kan anbefales brukt i en større skala.

6.1.7 Natur i området

Norge har en variert natur med tilhørende variert fauna, og den kan også spille inn når det blir aktuelt å velge nettverksteknologi for et område. Tidligere tester har vist at vegetasjon i området kan påvirke hvordan mottaksforholdene er for radiosignaler. Tett barskog til eksempel kan dempe gjennomtrengingskraften til radiosignaler betraktelig, og dette fører til at aksesspunkter/basestasjoner må stå tettere enn de ville ha kunnet gjøre i et flatt, åpent område. Valget av teknologi for aksess og distribusjonsnettverk må av den grunn ta hensyn til naturen i området, for å ikke ende opp med en løsning som ikke gir tilfredsstillende resultat.

6.2 Utbyggingsscenarier

I denne delen av oppgaven vil det bli gjennomgått en del mulige scenarier for utbygging av ITS-nettverk med alternative løsninger skissert opp.

Scenarier som vil bli gjennomgått fremkommer av figur 6.1.

De tekniske løsningene som er foreslått for de forskjellige scenarioene vil i flere tilfeller være aktuelle for multiple-scenarier. De tekniske løsningene vil derimot ikke bli gjennomgått mer enn en gang, så det henvises derfor tilbake på tidligere scenarier der hvor løsningen allerede har blitt skissert opp.

MERK: Alle anbefalinger i denne delen av oppgaven baserer seg på forenklete scenarier, og av den grunn kan løsningene som skisseres opp her ikke nødvendigvis overføres til alle scenarier som faller innenfor deres beskrivelse.

6.2.1 Nytt veianlegg

For alle scenarioene som omhandler nye veianlegg legges det til grunn at anleggene bygges med intelligent veibelysning med konstant strømtilførsel og at trekkør for fiberkabler legges langs med veien.

1. Nytt veianlegg, lavt trafikkgrunnlag, lav befolkningstetthet.

Veistrekker med lite trafikk i områder med lav befolkningstetthet bør ikke bygges ut med ITS-nettverk, hvis det ikke er et sterkt behov for det av sikkerhetsmessige årsaker. Hvis det ikke finnes spesielle forhold å ta hensyn til, bør det ikke derfor ikke investeres ressurser i ITS-utbygging på disse strekningene.

Anbefaling: Ingen tiltak. Benytt heller eksisterende mobilnettverk/mobil bredbåndsnettverk for å sende ut ITS-informasjon, om nødvendig.

2. Nytt veianlegg, lavt trafikkgrunnlag, høy befolkningstetthet.

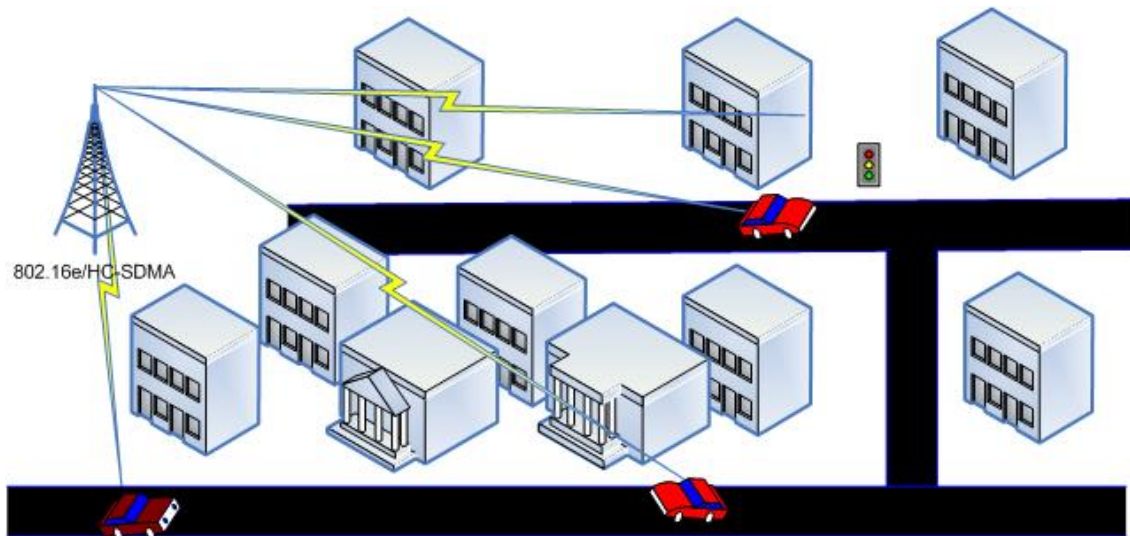
Ved oppføring av nye veianlegg med lavt trafikkgrunnlag må det vurderes om det er verdt å bygge ut et omfattende ITS-nettverk. Inntil det er klart at det finnes et grunnlag for å sette opp et ITS-nettverk også der, bør det heller avventes. Det bør likevel legges ned trekkør langs veien og gjøres klart for en rask og enkel opprettelse av ITS-nettverk.

Scenario nr.	Nytt anlegg	Trafikkgrunnlag	Befolkningstetthet	Ulykkesstatistikk	Strøm	Trekrør	Nettverkstilkobling
1	Ja	Lavt	Lav	-	-	-	-
2	Ja	Lavt	Høy	-	-	-	-
3	Ja	Høyt	-	-	-	-	Nei
4	Ja	Høyt	-	-	-	-	Ja
5	Nei	Lavt	-	Lav	-	-	-
6	Nei	Lavt	-	Høy	Nei	-	-
7	Nei	Lavt	-	Høy	Ja	Nei	Nei
8	Nei	Lavt	-	Høy	Ja	Nei	Ja
9	Nei	Lavt	-	Høy	Ja	Ja	Nei
10	Nei	Lavt	-	Høy	Ja	Ja	Ja
11	Nei	Høyt	-	Lav	Nei	-	-
12	Nei	Høyt	-	Lav	Ja	Nei	Nei
13	Nei	Høyt	-	Lav	Ja	Nei	Ja
14	Nei	Høyt	-	Lav	Ja	Ja	Nei
15	Nei	Høyt	-	Lav	Ja	Ja	Ja
16	Nei	Høyt	-	Høy	Nei	-	-
17	Nei	Høyt	-	Høy	Ja	Nei	Nei
18	Nei	Høyt	-	Høy	Ja	Nei	Ja
19	Nei	Høyt	-	Høy	Ja	Ja	Nei
20	Nei	Høyt	-	Høy	Ja	Ja	Ja

Figur 6.1: Oversikt over forskjellige vei-scenariene som vil bli gjennomgått

Siden dette er et område med høy befolkningstetthet, kan man derimot heller se på muligheten for å gi ITS-dekning ved hjelp av en sentral radiodistribusjon. Radiodistribusjonen kan realiseres ved hjelp av mobilbredbåndsteknologi, som for eksempel 802.16e. Dette gjør at man kan tilby et visst sett av sikkerhetstjenester, uten å bygge ut ITS-nettverk langsmed hvert eneste veistrekke.

Anbefaling: 802.16e/HC-SDMA distribusjon for hele området.

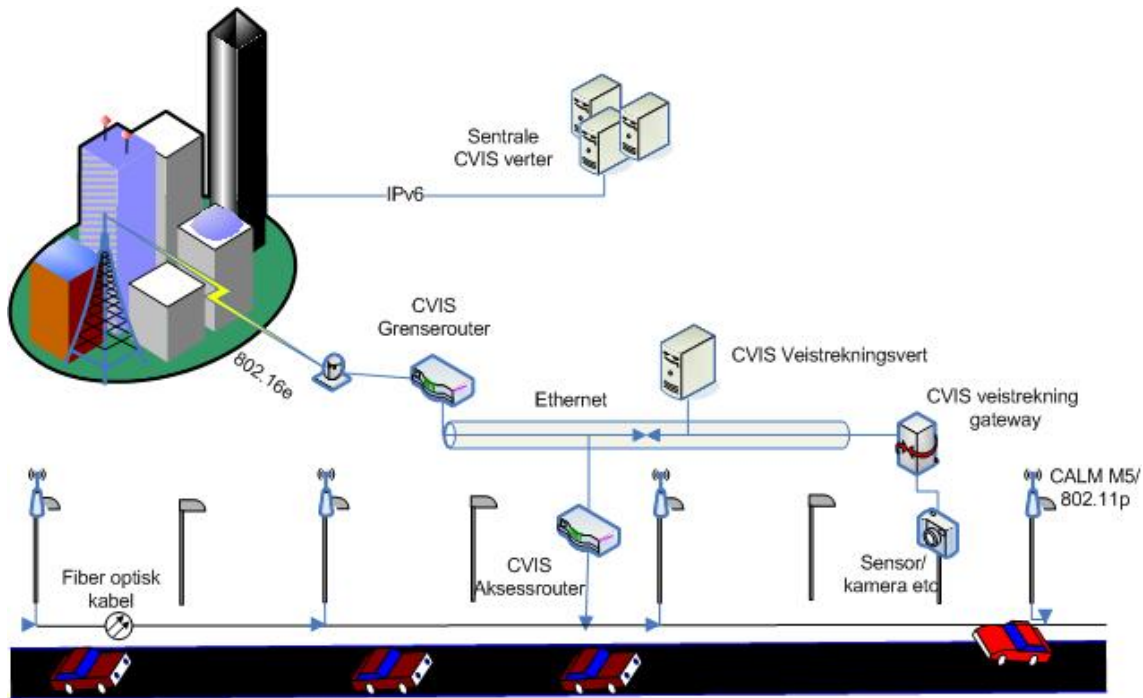


Figur 6.2: Scenarie 2: Nytt veianlegg, lavt trafikkgrunnlag, høy befolkningstetthet.

3. Nytt veianlegg, høyt trafikkgrunnlag, ingen nettverkstilkobling.

Uten trådbasert nettverkstilkobling tilgjengelig må ITS-nettverket kobles opp sentralt ved hjelp av radiolink. Slike radiolinker kan strekke seg over flere kilometer og fremdeles gi god hastighet. Radiolinken bør settes opp fra det nærmeste stedet som har god nettverkstilgang og som er i direkte luftlinje fram til veianlegget. Avhengig av hvor langt veistrekket er vil også anbefalt antall matningspunkter variere. Det kan ofte være lurt å ha flere matningspunkter for veistrekkningen, slik at ITS-nettverket kan være i normal drift hvis det ene punktet mot formodning skulle falle ut. IEEE 802.16e kan med fordel brukes til å sette opp radiolinken, standarden støtter både mobile og statiske linker.

Anbefaling: WiMAX 802.16e radiolink, fiber distribusjonsnettverk, CALM M5 aksesspunkter.



Figur 6.3: Scenarie 3: Nytt veianlegg, høyt trafikkgrunnlag, ingen nettverkstilkobling.

4. Høyt trafikkgrunnlag, nettverkstilkobling.

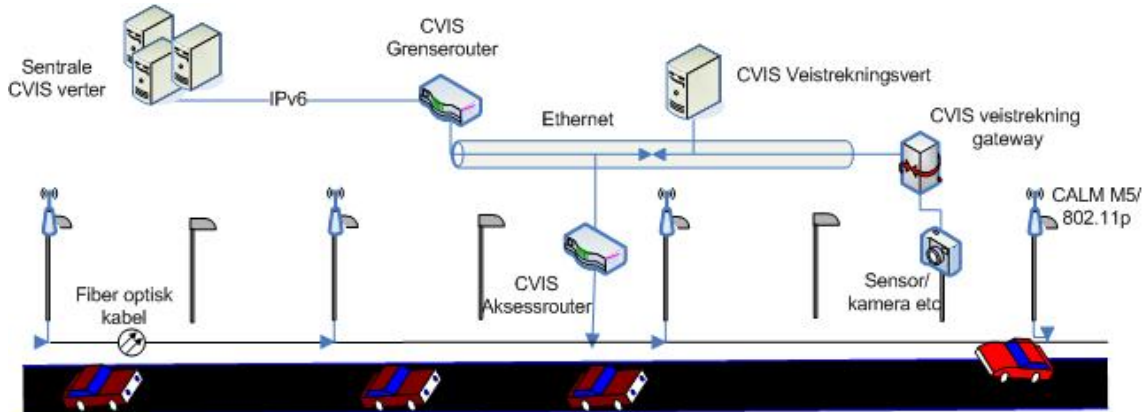
Med høyt trafikkgrunnlag og nettverkstilkobling tilgjengelig vil det være fornuftig å utforme ITS-nettverket på den måten at det ikke vil bli behov for å gjøre store oppgraderinger av nettverket i framtiden selvom trafikken på veien skulle overstige alle forventninger. Fiber optisk kabel bør derfor trekkes langs med veien, og skjøte bokser for å ta ut enkeltfiber bør plasseres både der hvor det er planlagt aksesspunkter samt der hvor det kan bli aktuelt å sette opp målere/sensorer/vei-instrumenter. Det er knyttet store kostnader ved det å skille ut enkeltfiber på et senere tidspunkt, så det bør tas med i betrakningen.

Avstanden mellom aksesspunktene vil avhenge av antall brukere og natur i området. Et stort antall brukere fører til at aksesspunktene må plasseres tettere. En mulig løsning nå i perioden før ITS-utstyr er standard i nye biler kan være å plassere aksesspunktene med stor avstand mellom seg, men med muligheten for å sette inn ekstra aksesspunkter langs veien etterhvert som antall brukere stiger. Skjøtebokser bør derfor plasseres der hvor det senere kan bli aktuelt å sette opp flere aksesspunkter, nemlig midt mellom to eksisterende aksesspunkter.

Naturen i området har også mye å si for hvordan den trådløse teknologien fungerer.

Generelt kan det sies at fjell, daler og tett vegetasjon kan gjøre det vanskeligere å kunne tilby god nettdækning. Hvis strekningen er preget av dette, må dette også tas hensyn til av radioplanleggeren.

Anbefaling: Fiber distribusjonsnettverk med CALM M5 aksesspunkter.



Figur 6.4: Scenarie 4: Høyt trafikkgrunnlag, nettverkstilkobling.

6.2.2 Eksisterende veianlegg

5. Lavt trafikkgrunnlag, lav ulykkesstatistikk.

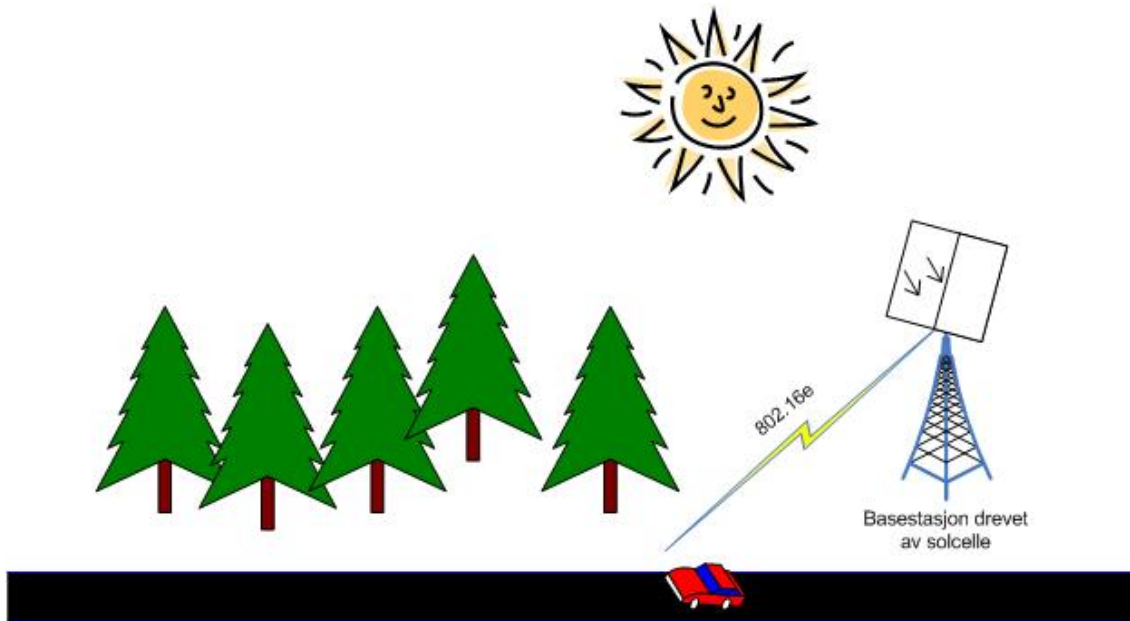
Lavt trafikkgrunnlag og lav ulykkesstatistikk gjør at det ikke finnes grunnlag for å bygge ut ITS-nettverk langs med veien.

Anbefaling: Ingen tiltak. Benytt heller eksisterende mobilnettverk/mobil bredbåndsnettverk for å sende ut ITS-informasjon, om nødvendig.

6. Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, ikke strøm tilgjengelig.

Høy ulykkesstatistikk på strekningen gjør at det her kan være nyttig å bygge ut ITS-nettverk for å forhindre ulykker. Avhengig av hva som er årsaken til den høye ulykkesstatistikken, er det forskjellige nettverkløsninger som vil være best egnede til å løse problemet. Det kan derimot bli vanskelig å kunne tilby den tjenesten som er ønskelig, hvis det ikke finnes noe strøm tilgjengelig i området. Alternativene blir da enten å kjøre tjenestene over et mobildatanettverk eller å produsere strøm til eget forbruk ved hjelp av solcellepanel.

Anbefaling: Alternativ 1. Eksisterende mobilnettverk/mobil bredbåndsnettverk.
Alternativ 2. Solcelleanlegg for nettverksutstyr som kan forhindre ulykker.



Figur 6.5: Scenario 6: Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, ikke strøm tilgjengelig.

7. Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, ikke nettverkstilkobling.

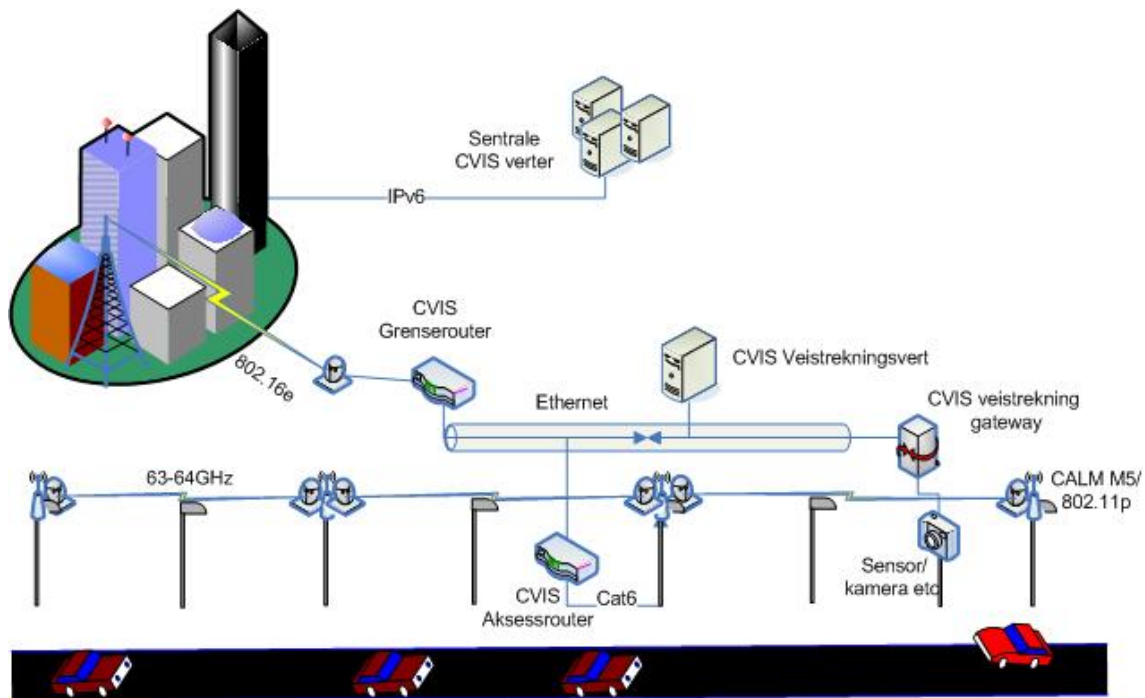
Også i dette tilfellet må man vurdere hvilke tiltak som kan være med å senke ulykkesstatistikken på veistrekket før man kan komme til en konklusjon om hva slags nettverkstilkobling som vil være gunstig. Etersom man her har strøm tilgjengelig gjør det arbeidet litt enklere, men en eventuell oppkobling til andre nettverk må i dette tilfellet skje ved hjelp av radiolinker.

Er det snakk om å bygge ut med full CALM M5 dekning langs strekningen, må det også sørges for at hvert enkelt aksesspunkt er koblet til nettverket. Alternativene er da enten trådbaserte, radiobaserte eller lysbaserte. Etersom det her ikke finnes trekkør til kabler, må kabler isåfall enten graves ned eller henges mellom lysstolper langs med veien. Hengende kabler er noe man de senere år har prøvd å begrense i antall, og det å grave ned kablene vil fort bli svært kostbart og tidskrevende. Alternativt kan man benytte seg av radio- eller lysbaserte-linker mellom stolpene bortover, uten at det vil være til særlig sjenanse. Lysbaserte linker har derimot den

ulempen at de kan bli noe ustabile ved sterkt regn-eller snøfall, noe som kan gjøre de uaktuelle for en så kritisk oppgave.

Frekvensområdet 63-64GHz er allerede satt av til bruk i ITS-nettverk, og kan muligens brukes til dette formålet. En del av radioressursene bør da settes av til tidskritiske sikkerhetsmeldinger, mens resten av ressursene kan brukes til mindre kritiske oppgaver. Radiolinken bortover bør også ha en form for cache innebygd for å begrense radiobruken.

Anbefaling: IEEE 802.16e radiolink til anlegg, mesh nettverk 63-64 GHz, CALM M5

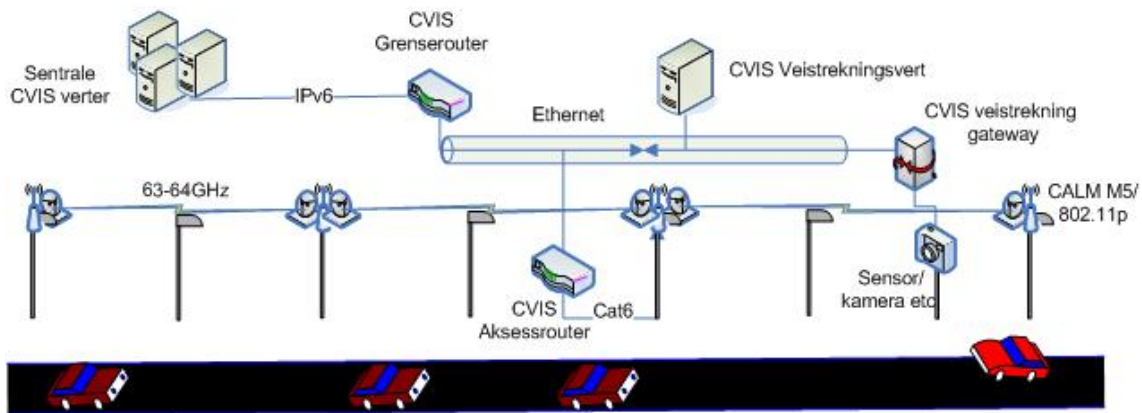


Figur 6.6: Scenario 7: Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, ikke nettverkstilkobling.

8. Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, nettverkstilkobling.

Dette scenariet er tilsvarende scenariet ovenfor, bare uten behovet for å sette opp WiMAX radiolinker til anlegget.

Anbefaling: Mesh nettverk 63-64 GHz, CALM M5



Figur 6.7: Scenario 8: Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, nettverkstilkobling.

9. Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, trekkør, ikke nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 3.

Anbefaling: WiMAX radiolink, optisk fiber, CALM M5

10. Lavt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, trekkør, nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 4.

Anbefaling: Fiber distribusjonsnettverk med CALM M5 aksesspunkter.

11. Høyt trafikkgrunnlag, lav ulykkesstatistikk, ikke strøm tilgjengelig.

Med et høyt trafikkgrunnlag vil det ofte være lurt å kunne tilby en viss ITS-dekning, selvom strekningen ikke tidligere har vært plaget med mange ulykker.

Anbefaling: Alternativ 1. Eksisterende mobilnettverk/mobil bredbåndsnettverk. Alternativ 2. 802.16e/HC-SDMA distribusjon for området, ved hjelp av solcelleanlegg.

12. Høyt trafikkgrunnlag, lav ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, ikke nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 2.

Anbefaling: 802.16e/HC-SDMA distribusjon for hele området.

13. Høyt trafikkgrunnlag, lav ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 8.

Anbefaling: Mesh nettverk 63-64 GHZ, CALM M5

14. Høyt trafikkgrunnlag, lav ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, trekkør, ikke nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 3.

Anbefaling: WiMAX 802.16e radiolink, fiber distribusjonsnettverk, CALM M5 aksesspunkter.

15. Høyt trafikkgrunnlag, lav ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, trekkør, nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 4.

Anbefaling: Fiber distribusjonsnettverk med CALM M5 aksesspunkter.

16. Høyt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, ikke strøm tilgjengelig.

Her blir løsningen som skissert i scenario 6.

Anbefaling: Alternativ 1. Eksisterende mobilnettverk/mobil bredbåndsnettverk. Alternativ 2. Solcelleanlegg for nettverksutstyr som kan forhindre ulykker.

17. Høyt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, ikke nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 7.

Anbefaling: WiMAX radiolink til anlegg, mesh nettverk 63-64 GHZ, CALM M5

18. Høyt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, ikke trekkør, nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 8.

Anbefaling: Mesh nettverk 63-64 GHZ, CALM M5

19. Høyt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, trekkør, ikke nettverkstilkobling.

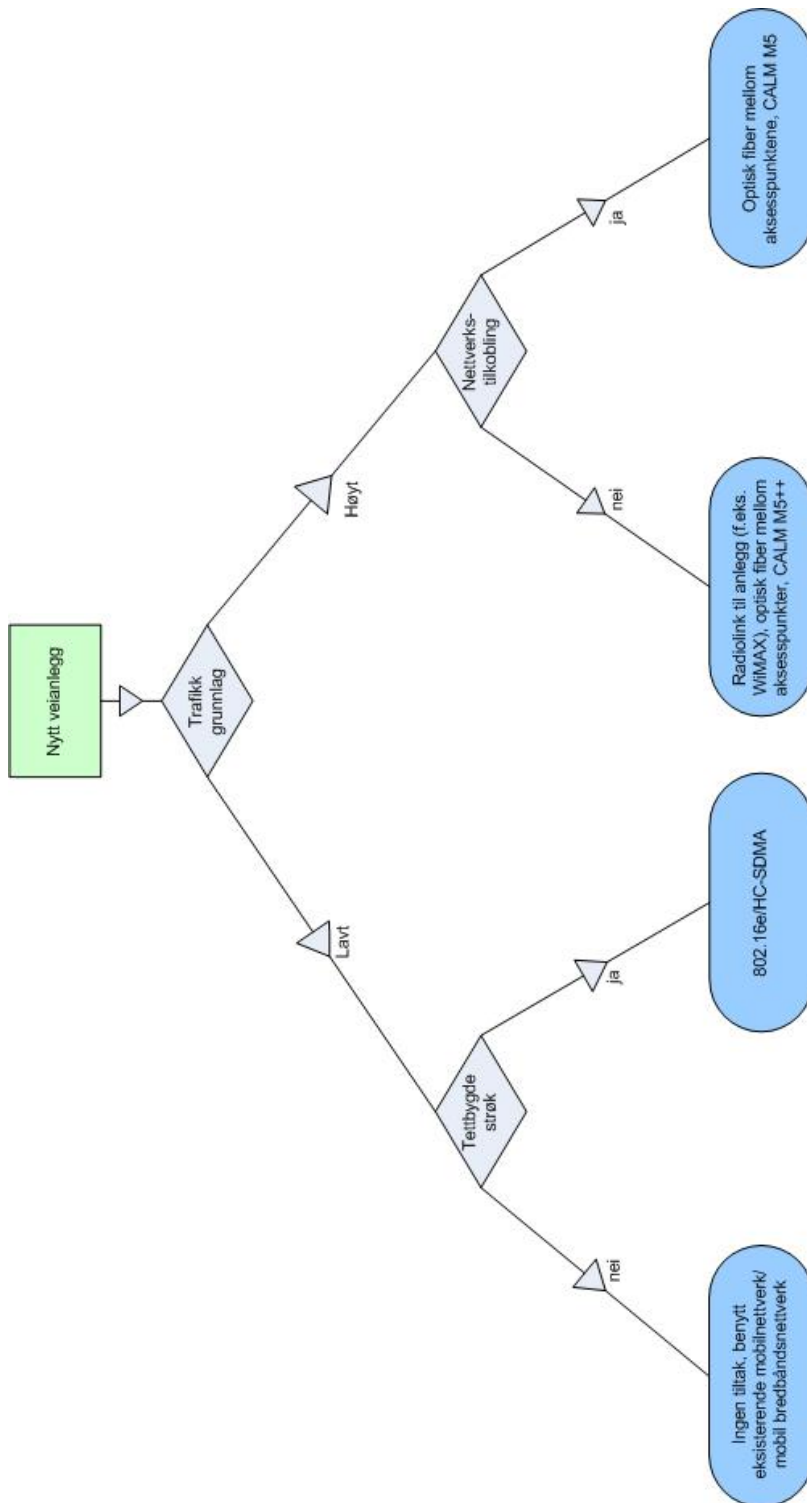
Her blir løsningen som skissert i scenario 3.

Anbefaling: WiMAX 802.16e radiolink, fiber distribusjonsnettverk, CALM M5 aksesspunkter.

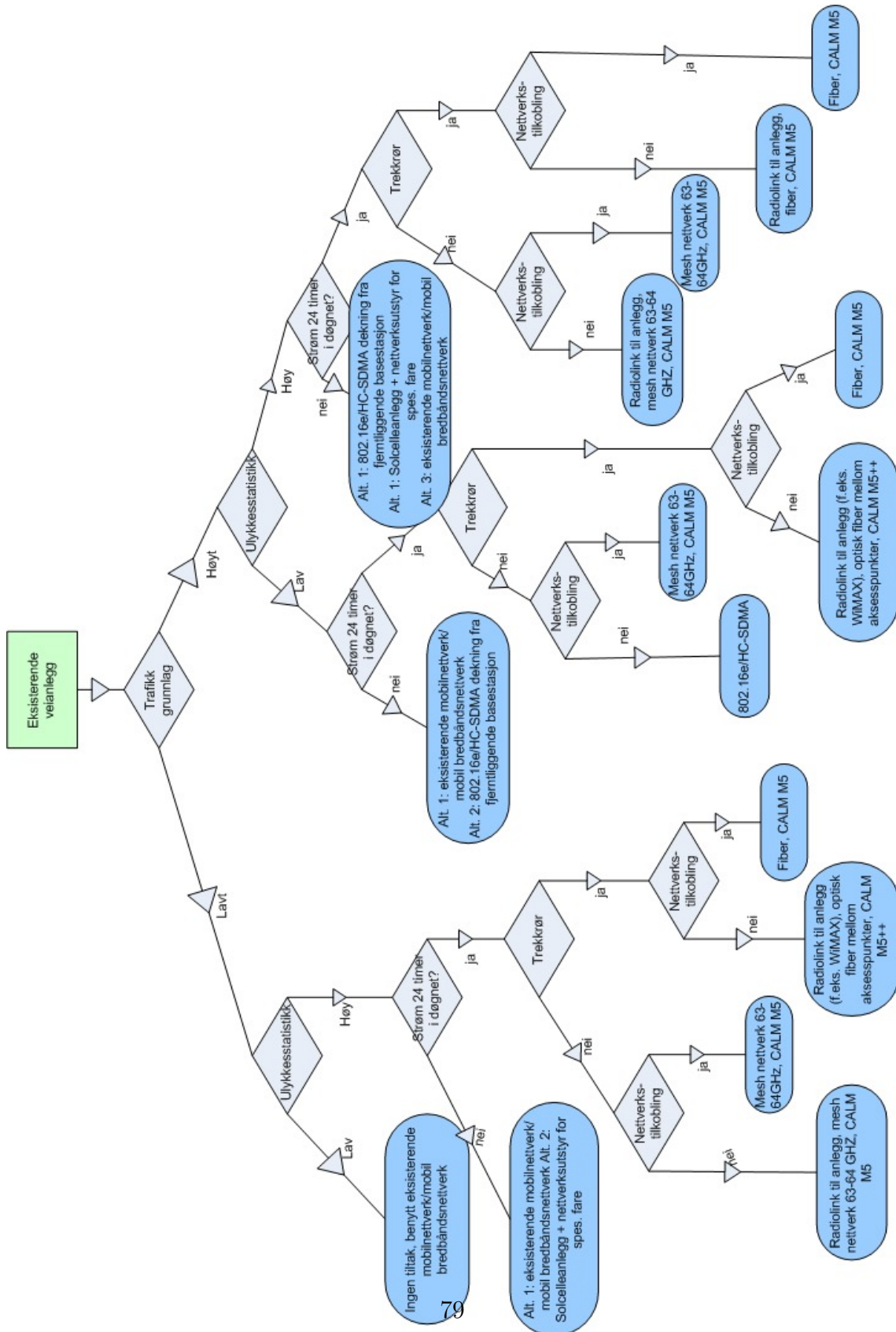
20. Høyt trafikkgrunnlag, høy ulykkesstatistikk, strøm tilgjengelig, trekkør, nettverkstilkobling.

Her blir løsningen som skissert i scenario 4.

Anbefaling: Fiber distribusjonsnettverk med CALM M5 aksesspunkter.



Figur 6.8: Valg av nettverksløsning - Nytt veianlegg



Figur 6.9: Valg av nettsløyse - Eksisterende veianlegg

Kapittel 7

Case

I denne delen av oppgaven vil det bli skissert opp flere alternative tekniske løsninger for realisering av ITS-nettverk langs en høyt trafikkert veistrekning i nærheten av Trondheim by.

En av motivasjonene for utbygging av ITS-nettverk på dette strekket er å gjøre Trondheim til et "Field Operational Test Site" i det felles-europeiske forskningsprosjektet CVIS. For øyeblikket er det satt opp seks slike test-anlegg rundt om i Europa, i henholdsvis Frankrike, Tyskland, Italia, Nederland/Belgia, Sverige og Storbritannia. Hver av disse testanleggene har hatt fokus på forskjellige funksjonalitet i et fullstendig ITS-system.

Testanlegget som det foreslås realisert i denne oppgaven kommer til å ha forskning og utvikling av ITS-nettverksteknologi som sitt hovedfokus. Deler av teknologiene det foreslås å ta i bruk er teknologier som foreløpig ikke er ferdig utviklet, og som vil kreve omfattende testing og evaluering før de kan benyttes i stor skala. Generelt kan det også sies at de løsningene som skisseres opp i dette kapitlet kun har som mål å tilfredstille krav stilt til et test anlegg for utvikling av ny teknologi, og ikke nødvendigvis å antyde endelige løsninger for et framtidig ITS-nettverk. Dette har med å gjøre at det foreløpig er vanskelig å vite med sikkerhet hvilke tjenester det kan bli aktuelt å realisere og hva de tilhørende tjenestekrav vil komme til å bli.

En realisering av et slikt testanlegg vil kreve et tett samarbeid mellom flere aktører, i første rekke Statens Vegvesen, NTNU, Q-Free og Sintef. Statens Vegvesen eier idag alt av infrastruktur langs strekningen og vil måtte gi sitt samtykke før et eventuelt samarbeid kan ta form. NTNU utvikler for tiden en stor nettlab i Trondheim by som det kan bli aktuelt å koble seg opp mot i framtiden, og vil kunne bidra med både kunnskap og erfaringer til et slikt testprosjekt. Q-Free har i lang tid vært dypt involvert i forskningsprosjektene CALM og CVIS, og sitter på nyttig kjernekompe-

tanse i denne sammenheng. Sintef har i flere år jobbet med prosjekter innenfor ”Den instrumenterte veg” og utvikling av antennteknologi for ITS-systemer, og vil også kunne være en nyttig samarbeidspartner i denne sammenheng.

7.1 Beskrivelse av strekning

Strekningen det vil være snakk om å bygge ut med ITS-testanlegg er ca. 26.5 km og går fra Grillstadkrysset og ut til Værnes lufthavn. Veistrekket omfatter blant annet fire tunneller, tre broer, to bompengeanlegg, et hotell som ligger strukket over veien samt flere kryssende broer. Geografien i området er delvis dyrket mark, skog, daler, bakketopper og sjølinje.

For ordensskyld vil de forskjellige delstrekningene bli omtalt ved nummerering fra vest til øst, med unntak av tunnelene langs strekningen som vil bli omtalt med egne navn. Nummereringen av strekningen blir da som følger:

1. Strekningen fra Grillstadkrysset og til Grillstadtunnelen
2. Strekningen fra Grillstadtunnelen og til Væretunnelen
3. Strekningen fra Væretunnelen og til Hommelviktunnelen
4. Strekningen fra Hommelviktunnelen og til Værnes lufthavn

7.2 Infrastruktur langs strekningen

7.2.1 Generelle installasjoner langs veien

Infrastruktur som eies av Statens Vegvesen langs strekningen omfatter blant annet lyktestolper, transformatoranlegg, små hus, skap, fotoboks, variable skilt, nødtelefoner, varsellys, fjernstyrte tunnellbommer og diverse sensorer. I tillegg ligger det to vektstasjoner driftet av Statens Vegvesen på hver side av veien like ved Leistad.

7.2.2 Nettverksressurser

Statens Vegvesen har seks singlemodus fiberoptiske kabler, syv tavlerom for fiberkabler, tyve par kobberkabler og trekkør langs strekningen. Kablene går for det

meste langsmed veien, bortsett fra i Hommelvik hvor de fiberoptiske kablene følger høyspentledninger over viken. Statens Vegvesen bruker per idag fire par kobberkabler til styring av automatikk langs strekningen, men har planer om å gå over til kommunikasjon over fiberkabler en gang i framtiden.

De syv tavlerommene for fiberkabler er plassert ved inngangene til Grillstadtunnelen, Væretunnelen, Hommelviktunnelen og Helлтunnelen. Figur 7.1 viser den aktuelle strekningen det er snakk om, med tunneller markert i grått og tavlerom i gult.

Tavlerommene nummereres på tilsvarende måte som delstrekningene fra vest til øst:

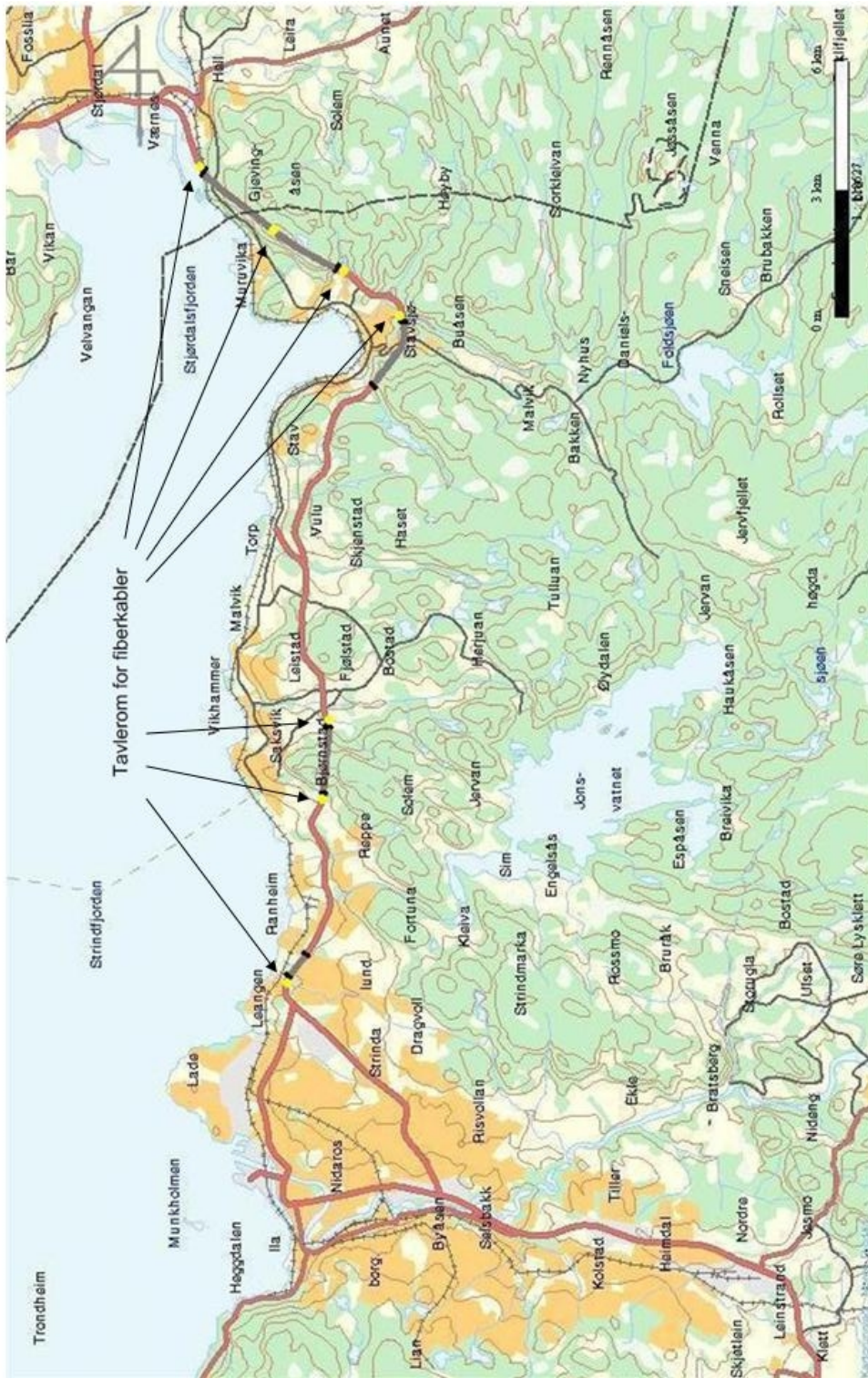
1. Tavlerom på vestsiden av Grillstadtunnelen
2. Tavlerom på vestsiden av Væretunnelen
3. Tavlerom på østsiden av Væretunnelen
4. Tavlerom på østsiden av Hommelviktunnelen
5. Tavlerom på vestsiden av Helлтunnelen
6. Tavlerom halvveis gjennom Helлтunnelen
7. Tavlerom på østsiden av Væretunnelen

7.2.3 Antagelser

Fire antagelser er lagt til grunn for utformingen av test-anlegge, og disse går på:

- Rekkevidde 802.11p aksesspunkter
- Radioforplanting gjennom tunneller
- Tilgjengelighet på strøm
- Tilgjengelighet på gatebelysning

Rekkevidden for 802.11p aksesspunkter har blitt antydnet til å til å være helt opptil 1000m, men dette er sannsynligvis en rekkevidde man kun kan oppnå under svært gunstige forhold og med en enkelt rettet antenne. Case oppgaven vil anta at aksesspunktene som settes opp langs veien vil benytte seg av fler-sektors antenner, noe som vil begrense rekkevidden betraktelig. Gjennomsnittlig rekkevidde i hver retning



Figur 7.1: Kart over aktuell strekning for utbygging av testanlegg.

av kjøreretningen antas da til ca. 275 m, og med en 50 meters overlappende dekningszone blir gjennomsnittlig avstand mellom to aksesspunkter anslått til 450 m. Denne avstanden kan variere kraftig, ettersom hvor mange fysiske hinderer det er mellom aksesspunktene. Antall aksesspunkt nødvendig anslås ut ifra disse tallene til å være ca. 60 stk. ($26.5\text{km}/0.45\text{km} = 58.9$).

I casen vil de delene av strekningen som er tunnell bli utstyrt med identisk radio-utstyr som resten av strekningen. I virkeligheten er forholdene inne i en tunnell vesentlig forskjellig fra forhold utendørs med hensyn på refleksjon av signaler.

For enkelhetsskyld antas det å være strøm tilgjengelig på strekningen til bruk til nettverksutstyr. Statens Vegvesen har en rekke installasjoner langs strekningen som krever strøm, og det vil være nærliggende å tro at det kan være mulig å hente ut strøm fra noen av disse.

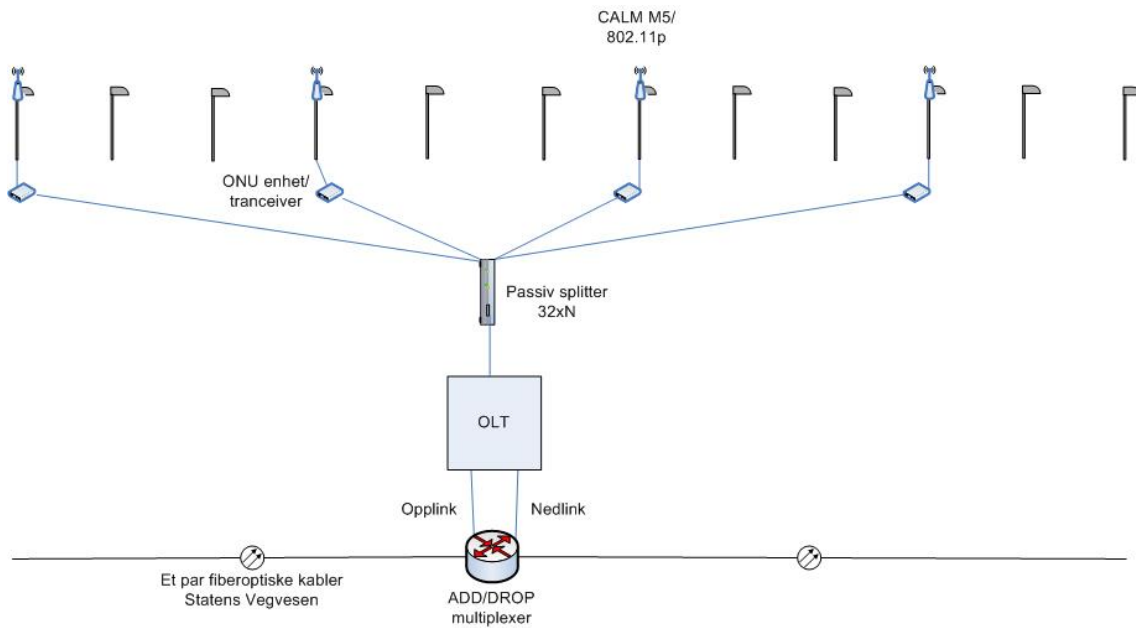
Det antas videre at det vil finnes gatebelysning langs hele strekningen innen det kan bli aktuelt å realisere et slikt test-anlegg. Deler av vegbelysningen er for tiden fjernet grunnet utskiftelser av utstyr.

7.3 Alternativ 1 - EPON nettverk

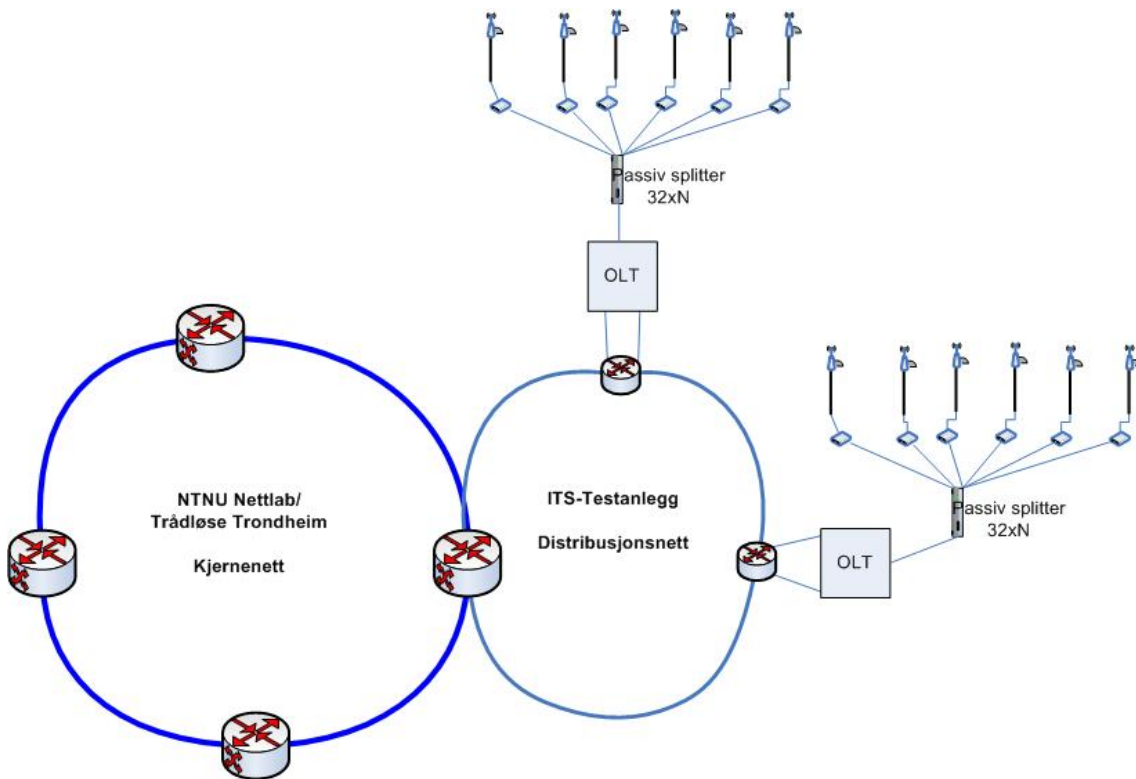
Dette alternativet innebærer bruk av passiv fiberoptisk kabel til hvert enkelt aksesspunkt på strekningen, og utnyttelse av et par fiberoptiske kabler tilhørende Statens Vegvesen. Veistrekningen har trekkør for fiber langs veien, og plass til ytterligere kabler. Kostnadene for å oppnå fiber til hvert enkelt aksesspunkt blir på den måten ikke avskrekkende høye.

Aksesspunktene på strekningen er for det meste forespillet plassert på lyktestolper og i tunneltak, men det kan også være aktuelt å sette opp aksesspunkter på kryssende broer, Stav Motell og bompengeanlegg.

Tar utgangspunkt i passive splittere på 32xN, slik at hvert enkelt aksesspunkt får litt over 30 Mb/s full-duplex overføringshastighet. På den måten kan strekningen dekkes inn ved hjelp av to OLT enheter plassert i Statens Vegvesens hus ved henholdsvis tavlerom 3 og 4. Delstrekning 1, Grillstadtunnellen, delstrekning 2, Bjørnstadtunnellen og deler av delstrekning 3 vil da kunne dekkes inn av OLT plassert ved tavlerom 3, mens resten av delstrekning 3, Hommelviktunnellen, delstrekning 4, Helltunnellen og delstrekning 5 vil kunne dekkes inn gjennom OLT plassert ved tavlerom 4.



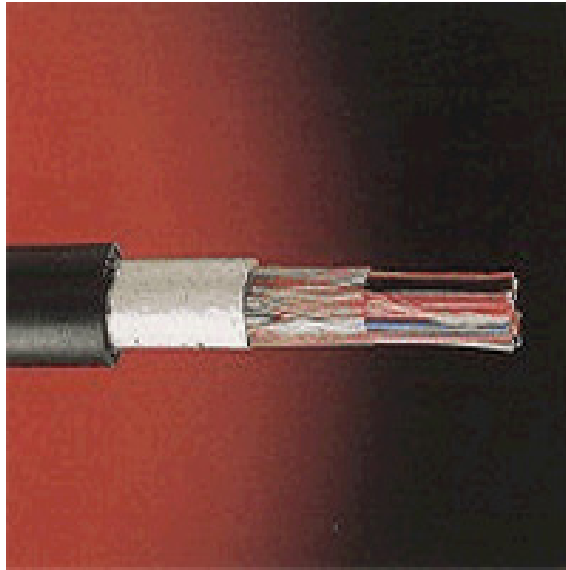
Figur 7.2: Alternativ 1 - passiv fiber til hvert enkelt aksesspunkt



Figur 7.3: Forholdet mellom NTNU Nettlab og testanlegg for ITS-teknologi

7.4 Alternativ 2 - xDSL teknologi

Kobberkabelen som ligger på strekket er av typen M 0,6 skjermet kabel, med tyve par tvinnede kabler. Gjennomsnittlig effektstap er på ca. 16,4 db/km^[40], noe som gjør at den kan legges tilrette for bruk av diverse xDSL¹ teknologier.



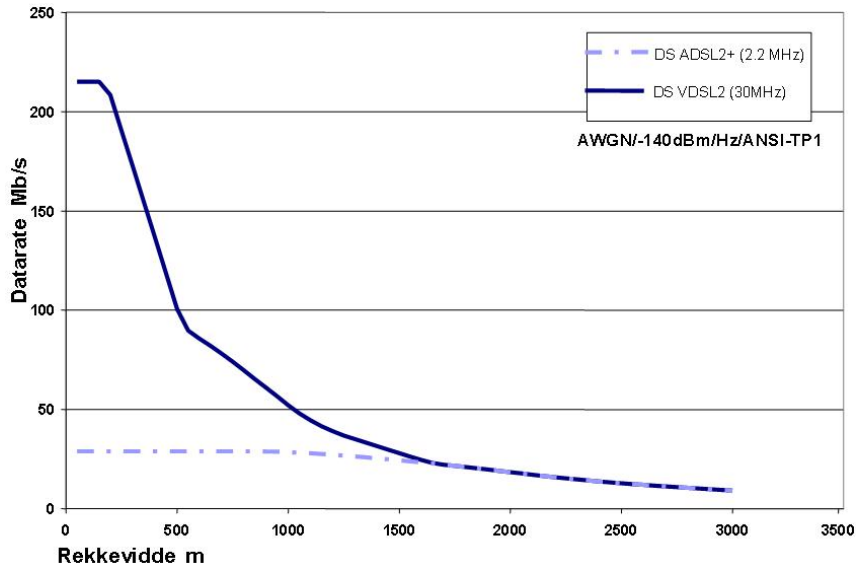
Figur 7.4: M 0,6 kabel. Tyve par tvinnede kabler belagt med skjerming.

Den nyeste standarden av denne typen er ITU-T G.993.2 - VDSL2 som kan gi datarater opptil 100Mb/s i nedlink over ca. 100 meter ved hjelp av et par tvinnede kabler. Dataraten faller dessverre forholdsvis kjapt jo lengre unna man kommer fra DSLAM'en², og etter 1.6 km er hastigheten tilsvarende ITU G.992.5 - ADSL2+. Delstrekningene som skal dekket ved hjelp av xDSL teknologi er tildels lengre enn 1.6km, så det er stilles spørsmål om det er verdt å investere i VDSL2 utstyr, da dette er en forholdsvis ny teknologi med høyere utsalgspris enn ADSL2+.

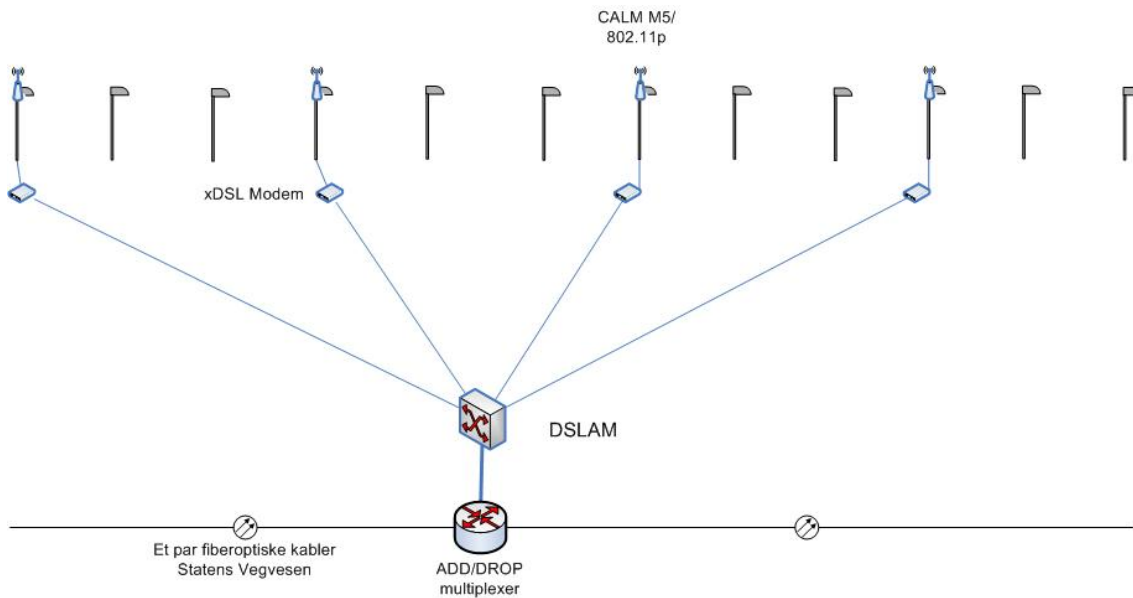
Avstanden mellom DSLAM og endenoder skal helst være så kort som mulig, for å gi høye overføringsrater. I dette tilfellet vil det bety at vi bruker syv DSLAM'er plassert i nærheten av hvert av tavlerommene på strekningen. 16 par tvinnede kabler vil være tilgjengelig for DSLAM'en i hver retning, da 4 allerede er i bruk av Statens Vegvesen til styringselektronikk. Ved hvert av aksesspunktene blir man nødt til å hente ut riktig kobberpar av de tyve som ligger i kabelen og koble det til et xDSL modem. Aksesspunktet kobles så på modemet ved hjelp av en standard nettverksledning, eksempelvis cat 5.

¹Digital Subscriber Line

²Digital subscriber line access multiplexer



Figur 7.5: Oppnåbar datarate på et par tvinne kabler i forhold til rekkevidde, ved hjelp av ADSL2+ og VDSL2



Figur 7.6: Alternativ 2: xDSL teknologi

Fordelen ved å bruke xDSL istede for fiberoptikk på denne strekningen er at det allerede ligger en kabel langs strekningen man kan koble seg på. Ulempene er at den støtter betraktelig lavere rekkevidde og overføringskapasitet. Motstanden i kobberkabelen er så stor at rekkevidden ikke er lengre enn ca. 3-4km, avhengig av hvilke overføringshastighet som skal støttes.

Avstanden mellom tavlerom 3 og 4 i dette tilfellet er på hele 10 km, noe som betyr at denne strekningen ikke vil kunne dekkes ved hjelp av xDSL teknologi alene. Alternativene er da:

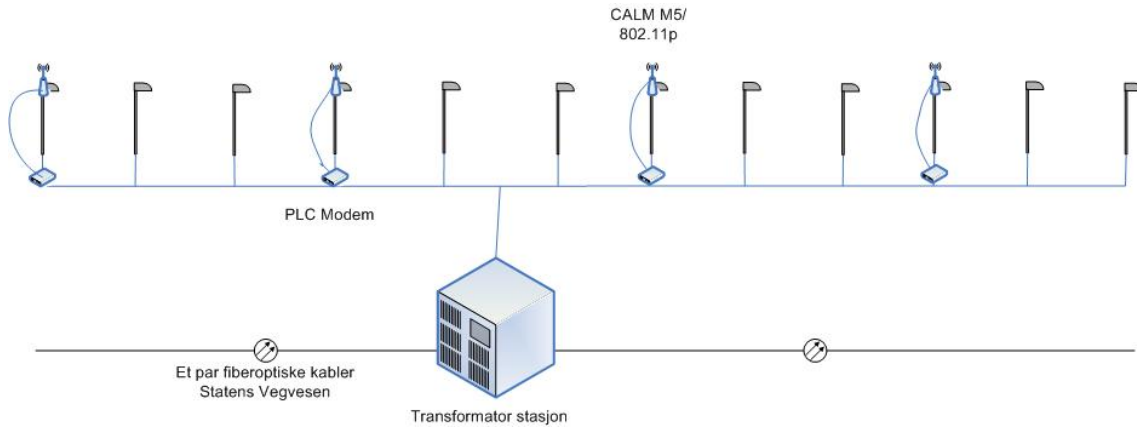
- Legge fiber på delstrekket, eksempelvis EPON
- Radiodistribusjon over delstrekket ved hjelp av WiMAX/HC-SDMA
- Høyhastighetsbus mellom lyktestolpene på 63-64GHz
- Ingen tiltak, 4 km av delstrekningen uten dekning.

Kommersielle produkter for høyhastighetsbus på 63-64GHz er foreløpig under uttesting. For mere informasjon se [11].

7.5 Alternativ 3 - Kommunikasjon over strømledning

Et siste alternativ for å kunne gi tilkobling til aksesspunkter langs veistrekningen er å benytte ny teknologi for kommunikasjon over strømmettet. Ved eventuelt utbygging må isåfall strømmettverket for den aktuelle strekningen kartlegges grundig, særlig med hensyn til hvor transformator stasjonene er plassert. Nettverkssignalene må påtrykkes etter at strømmen har gått fra høyspent til lavspent, ellers vil signalene bli ødelagt.

Strømtilførselen til gatebelysningen kommer fra flere forskjellige transformatorbokser, og hver enkelt av disse må utstyres med kommunikasjonsutstyr for strømledninger og tilkobles et distribusjonsnettverk ved hjelp av fiber. Det vites ikke hvor lange strekninger det kan være mulig å nå med teknologien eller overføringskapasitet, men det hadde vært en interessant teknologi å prøve ut på en delstrekning for å kunne vurdere teknologiens nytteverdi ved utbygging av ITS-nettverk.



Figur 7.7: Alternativ 3: Kommunikasjon over strømledning



Figur 7.8: Eksempel på installasjon av PLC anlegg fra OPERA testprosjektet i Madrid, Spania.

Kapittel 8

Konklusjon

Ved valg av teknologi for utbygging av ITS-anlegg er det flere momenter som vil komme til å påvirke avgjørelsen. Dette betyr at det trolig ikke finnes en enkelt teknologisk løsning for alle strekninger her i dette landet. Oppgaven har foreslått en tankeprosess for hvordan valgene av nettverksteknologi kan foregå, under det forbeholdet at det er snakk om helt generelle veistrekninger. Spesielle hensyn vil av og til kunne spille inn og være et sterkt argument for en mer omfattende ITS-utbygging (eksempelvis skolevei for barneskoleelever). Rekkefølgen for utbygging av ITS-anlegg i Norge bør avhenge av om det er veier med høy eller lav trafikk, eller høy eller lav ulykkesstatistikk. Det vil være naturlig å anta at de strekningene som bør bygges ut aller først er de strekningene med de enkleste nettverksforholdene og høyest trafikk og ulykkesstatistikk. Dette kan være enten oppgradering av eksisterende veistrekke eller ny-anlegging av et veistrekk. På den måten kan Statens Vegvesen raskt opparbeide seg kunnskap om praktiske hensyn som bør tas i framtidige veianlegg.

Oppgaven argumenterer for at det allerede fra nå av bør finnes klare retningslinjer for utbygging av vei med hensyn på framtidig utbygging av ITS-nettverk. Der hvor det er snakk om trafikkstrekninger med høyt trafikkgrunnlag bør det legges til rette for fiber direkte til hvert enkelt aksesspunkt, mens der hvor det er usikkert om det kan komme til å bli aktuelt med ITS-anlegg uansett bør legges trekkør for å enklere kunne bygge ut strekningen en gang i framtiden.

En realisering av et ITS-testanlegg tilknyttet NTNU nettlab vil kunne være en verdifull kilde for erfaringer om ITS-utbygging i framtiden. Det vil gjøre Trondheim til en "Field operational Test-Site" i CVIS prosjektet, og kan legge grunn for et nytt fagmiljø tilknyttet NTNU/Sintef med spesialisering innen ITS-teknologi. De erfaringene man kan få ved testing og utvikling av test-anlegget vil muligens kunne legge til rette for industrielle løsninger som kan eksporteres en gang i framtiden.

Kapittel 9

Videre arbeid

Gjenstående arbeid kan oppsummeres ved:

- Testing og utvikling av overføringsteknologier
- Utforming av 802.11p antennteknologi for bruk inni tunneller
- Testing og utvikling av CVIS-verter og CALM-ruter
- Design, testing og utvikling av ”The Tube”
- Kjøp av frekvensressurser til bruk for til WiMAX/HC-SDMA nettverk.
- Testing og utvikling av solcelledrevet ITS-utstyr

Oppgaven har nevnt to overføringsteknologier som kan virke interessante til bruk i et ITS-anlegg, men som foreløpig ikke finnes kommersielt tilgjengelig. Disse teknologiene er: høyhastighetsbus ved hjelp av radiobølgekommunikasjon på 63-64 GHz og kommunikasjon over strømledninger ved lysanlegg. Begge teknologiene bør testes grundig og videreutvikles hvis de etter testene fremdeles kan virke aktuelle.

802.11p antennteknologi for bruk inni tunneller vil det være et klart behov for i et ITS-nettverk. Det er lite trolig at det allerede finnes WIFI antenner spesiallaget for tunneller på markedet, da det sjelden settes opp vanlige WIFI-anlegg i tunneller ellers. Grundigere undersøkelser på dette feltet anbefales.

Implementering og testing av de forskjellige CVIS-vertene må gjøres før et fullstendig ITS-anlegg kan realiseres. Det samme gjelder utviklingen av CALM-ruter.

Design, testing og utvikling av et aksesspunkt som får plass inni en lysmast er ønskelig. Det vil kunne forenkle en storskala utbygging av ITS-nettverk betraktelig.

Ansvarlige myndigheter må vurdere om de er interessert i å kjøpe frekvensressurser til bruk til WiMAX/HC-SDMA nettverk. Det kan bli aktuelt å bruke disse teknologiene til både aksess- og distribusjonsnett i et ITS-nettverk.

Solcelledrevet ITS-utstyr er det også behov for å utvikle, hvis det er snakk om å bygge ut ITS-nettverk på strekninger der det ikke finnes strøm tilgjengelig.

Bibliografi

- [1] computercablestore.com, <http://www.computercablestore.com/SearchResult.aspx?CategoryID=1174>.
- [2] www.corridor.biz, <http://www.corridor.biz/technology.htm>.
- [3] 6diss.org. *IPv6 Mobility*. 6diss.org, <http://www.6diss.org/workshops/saf/mobility.pdf>.
- [4] M. Aguado. *Railway Signaling Systems and New Trends in Wireless Data Communication*. University of the Basque Country, Bilbao, <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10422/33097/01558143.pdf?isnumber=33097&arnumber=1558143>.
- [5] J. B. Bakken. *cdma principle*. 3g-generation.com, http://www.3g-generation.com/cdma_principle.htm.
- [6] J. B. Bakken. *Norge først med nytt trådløst nett*. Dagens IT, <http://www.dagensit.no/bedrifts-it/article883090.ece>.
- [7] Z. Becvar. *Handovers in the Mobile WiMAX*. Czech Technical University, http://fireworks.intranet.gr/fireworks_docspublic/Fireworks_6CTUPB008a.pdf.
- [8] N. Bhushan. *CDMA2000 1xEV-DO Revision A: A Physical Layer and MAC Layer Overview*. IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/35/33538/01593549.pdf>.
- [9] Q. Bi. *A Forward Link Performance Study of the 1xEV-DO Rev. 0 System Using Field Measurements and Simulations*. Lucent Technologies, Bell Labs Innovations, http://www.cdg.org/resources/white_papers/files/Lucent1xEV-DORev0Mar04.pdf.

- [10] R. Canchi. *BEST-WINE - A Complete and Fully Compliant TDD Technology Proposal For IEEE 802.20: MBWA*. IEEE 802.20, <http://www.ieee802.org/20/Contribs/C802.20-05-78.ppt>.
- [11] L. Communications. *LastMile Communications Announces New 60 GHz Millimeter Wave Wireless Broadband Trials*.
- [12] CVIS. *CVIS - Making the connection*. [cvisproject.org, http://cvis.odeum.com/download/cvis__first_brochure.pdf](http://cvis.odeum.com/download/cvis__first_brochure.pdf).
- [13] CVIS. *D.CVIS.3.1 Reference Architecture*. [cvisproject.org, http://www.cvisproject.org/download/Deliverables/DEL_CVIS_3.1_Reference_architecture_v1.2.pdf](http://www.cvisproject.org/download/Deliverables/DEL_CVIS_3.1_Reference_architecture_v1.2.pdf).
- [14] CVIS. *D.CVIS.3.2 High Level Architecture*. [cvisproject.org, http://www.cvisproject.org/download/Deliverables/DEL_CVIS_3.2_High_Level_Architecture_v1.0.pdf](http://www.cvisproject.org/download/Deliverables/DEL_CVIS_3.2_High_Level_Architecture_v1.0.pdf).
- [15] E. Dahlman. *WCDMA - The Radio Interface for Future Mobile Multimedia Communications*. IEEE, <http://ieeexplore.ieee.org/iel4/25/15705/00728481.pdf?arnumber=728481>.
- [16] Ericsson. *BASIC CONCEPTS OF HSPA*. Ericsson, http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/3087_basic_conc_hspa_a.pdf.
- [17] Ericsson. *Basic Concepts of WCDMA Radio Access Network*.
- [18] Ericsson. *Introduction to IMS*. Ericsson, http://www.ericsson.com/technology/whitepapers/8123_Intro_to_ims_a.pdf.
- [19] K. Evensen. *CALM M5 Status and European Activities*.
- [20] K. Evensen. *ITS communications - CALM*.
- [21] K. Evensen. *SeVeCOM Workshop Lausanne 1-2 February 2006*.
- [22] D. H.-J. Fischer. *ITS Technical Challenges Road Transport - Technical developments in standardisation*.
- [23] M. E. Forum. *Ethernet Passive Optical Network (EPON) A Tutorial*.
- [24] I. . W. GROUP. *Official IEEE 802.11 working group project timelines - 06/20/07*. [ieee.org, http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm](http://grouper.ieee.org/groups/802/11/Reports/802.11_Timelines.htm).

- [25] D. Gunton. *MILTRANS - Millimetric Transceivers for Transport Applications*. www.ieee.org, <http://www.iee.org/oncomms/pn/auto/VHC4-DavidGunton.pdf>.
- [26] S. Hess. *Spectrum policy for ITS in Europe*. comesafety.org, http://www.comesafety.org/uploads/media/Spectrum_Policy.pdf.
- [27] idg. *Wimax takler ikke trær*. idg.no, <http://www.idg.no/bransje/bransjenyheter/article5082.ece>.
- [28] H. B. og Inger Texmon. Fortsatt sentralisering - regionale befolkningsframskrivinger 2002-2020, <http://ssb.no/emner/08/05/10/oa/200304/brunborg.pdf>.
- [29] Intel. *A Solar-Powered WiMAX Base Station Solution*.
- [30] ITU. *Frequency arrangements for implementation of the terrestrial component of International Mobile Telecommunications-2000(IMT-2000) in the bands 806-960 MHz, 1 710-2 025 MHz, 2 110-2 200 MHz and 2 500-2 690 MHz*. ITU, <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1036-2-200306-I/en>.
- [31] ITU. *Radio interface standards for broadband wireless access systems, including mobile and nomadic applications, in the mobile service operating below 6 GHz*. International telecommunication union, <https://datatracker.ietf.org/documents/LIAISON/file307.doc>.
- [32] ITU. *Spectrum considerations for implementation of International Mobile Telecommunication-2000 (IMT-2000) in the bands 1 885-2 025 MHz and 2 110-2 200 MHz*. ITU, <http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1036-0-199403-S/en>.
- [33] I. Jensen. *Cooperative Vehicle-Infrastructure System (CVIS)*. sintef.no, http://www.sintef.no/content/page1___12211.aspx.
- [34] C.-H. Lee. *Fiber to the Home Using a PON Infrastructure*.
- [35] Y. Lin. *Saturation Throughput of IEEE 802.11e EDCA Based on Mean Value Analysis*. University of British Columbia, <http://www.ece.ubc.ca/~vincentw/C/LWcWCNC06.pdf>.
- [36] H. Lintermans. *WiMAX: An overview of the technology*. Sasase Laboratory, http://www.sasase.ics.keio.ac.jp/jugyo/2006/print/HansLintermansWiMAXfinal_p.pdf.
- [37] Motorola. *WiMAX: E vs. D - The Advantages of 802.16e over 802.16d*. Motorola, http://www.motorola.com/networkoperators/pdfs/new/WIMAX_E_vs_D.pdf.

- [38] E. Mulka. *Using IR to Enhance Cost, Performance and Schedule for 5.9GHz Development*. Jafa Technologies, http://www.ibtta.org/files/FileDownloads/06132004_Mulka.ppt.
- [39] P. Newswire.
- [40] Nexans. *Electrical data*.
- [41] PowerOverEthernet.com. *IEEE802.3af POWER OVER ETHERNET: A RADICAL NEW TECHNOLOGY*.
- [42] P. Rysavy. *Mobile Broadband: EDGA, HSPA, LTE*. Rysavy Research, http://www.itu.int/ITU-D/imt-2000/TechnicalArticles/2006_Rysavy_Data_Paper_FINAL_09.15.06.pdf.
- [43] L. Stibor. *Neighborhood evaluation of vehicular ad-hoc network using IEEE 802.11p*. ComNets RWTH-Aachen University/Philips Research Aachen, <http://www.ew2007.org/papers/1569014956.pdf>.
- [44] T. Trafikk.
- [45] T. Trafikk. *242 mistet livet på veiene i 2006*. Trygg Trafikk, http://www.tryggtrafikk.no/Norsk/Presse/Pressemeldinger_2007/?module=Articles;action=Article.publicShow;ID=2557.
- [46] Unknown. *en.wikipedia.org*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Cdma2000>.
- [47] Unknown. *3gpp*. *en.wikipedia.org*, <http://en.wikipedia.org/wiki/3gpp>.
- [48] Unknown. *3gpp2*. *en.wikipedia.org*, http://en.wikipedia.org/wiki/3rd_Generation_Partnership_Project_2.
- [49] Unknown. *EV-DO*. *en.wikipedia.org*, <http://en.wikipedia.org/wiki/Evdo>.
- [50] Unknown. *Norge*. *no.wikipedia.org*, <http://no.wikipedia.org/wiki/Norge>.
- [51] Unknown. *Power over Ethernet*.
- [52] Unknown. *White Paper - 802.11a: A Very High-Speed, Highly Scalable Wireless LAN Standard*. Proxim Corporation, <http://www.proxim.com/learn/library/whitepapers/80211a.pdf>.
- [53] Unknown. *WiMAX*. Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Wimax>.
- [54] Volvo. *On Call*. Volvo, <http://www.wirelesscar.com/file/Downloads/VolvoOnCallbrochure.pdf>.

- [55] B. Williams. *CALM handbook*.
- [56] C. Wu. *The Next Wireless Wave: Exploring WiMax Technology*. COMMUNICATIONS and STRATEGIES, http://www.csc.com/aboutus/lef/mds67_off/uploads/2006WiMAXC.pdf.
- [57] J.-P. Xu. *An Efficient Timing Synchronization Scheme for OFDM Systems in IEEE 802.16d*. Hangzhou Dianzi University, <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10688/33744/01606206.pdf?arnumber=1606206>.
- [58] H. Yaghoobi. *Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16*. Intel Communications Group, <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10688/33744/01606206.pdf?arnumber=1606206>.
- [59] J. Yang. *Improved Symbol Timing Synchronization for IEEE 802.11a/g Wireless LAN Systems in Multipath Channels*. [ieeexplore.ieee.org, http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10651/33618/01598425.pdf?arnumber=1598425](http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10651/33618/01598425.pdf?arnumber=1598425).
- [60] Y. Zang. *A Novel MAC Protocol for Throughput Sensitive Applications in Vehicular Environments*. RWTH Aachen University/Philips Research Aachen, http://www.comnets.rwth-aachen.de/typo3conf/ext/cn_download/pi1/passdownload.php?downloaddata=991%7C1.

Vedlegg 1: Tjenester beregnet for CALM M5

CVO -Tractor-Trailer Interface	VSC -OBU-to-OBU -Curve Speed Warning
CVO -Rollover Warning	VSC -OBU-to-OBU -Visibility Enhancer
CVO -Electronic Border Clearance	VSC -OBU-to-OBU -Electronic Brake Lights
CVO -Weigh Station Bypass Clearance	VSC -OBU-to-OBU -Hybrid Intersection Collision Warning
CVO -CVO Fleet Management	VSC -OBU-to-OBU -Instant (Problem) Messaging
CVO -Onboard Safety Data Transfer	VSC -OBU-to-OBU -Blind Merge Warning
CVO -Tractor-Trailer Matching	VSC -OBU-to-OBU -Post-Crash Warning
CVO -Transit Vehicle Data Transfer	VSC -OBU-to-OBU -Merge Assistant
CVO -Vehicle Safety Inspection	VSC -OBU-to-OBU -Lane Change Assistant
CVO -Drivers Daily Log	VSC -OBU-to-OBU -Left Turn Assistant
OTHER SERVICES -Probe Data Collection	VSC -OBU-to-OBU -Stop Sign Movement Assistant
OTHER SERVICES -Access Control	VSC -OBU-to-OBU -Cooperative Glare Reduction
OTHER SERVICES -Vehicle Manufacturer Info	VSC -OBU-to-OBU -Blind Spot Warning
PAYMENTS -Toll Collection	VSC -OBU-to-OBU -Platooning
PAYMENTS -ITS Service Payment	VSC -OBU-to-OBU -Cooperative Adaptive Cruise Control
PAYMENTS -Other ePayments	VSC -OBU-to-RSU -Infrastructure-based Traffic Probes
PAYMENTS -Rental Car Processing	VSC -OBU-to-RSU -SOS Services
PAYMENTS -Parking Payment	VSC -OBU-to-RSU -Post-Crash Warning
PAYMENTS -Food Payment	VSC -OBU-to-RSU -Just-in-Time Repair Notification
PAYMENTS -Fuel Payment	VSC -OBU-to-RSU -Intelligent On-ramp Metering
SAFETY -Vehicle-to-vehicle Data Transfer	VSC -OBU-to-RSU -Intelligent Traffic Lights
SAFETY -Highway-Rail Intersection Warning	VSC -OBU-to-RSU -Blind Merge Warning
Traffic Information -Audio Transfer -Streaming	VSC -RSU to OBU -Map Downloads and Updates
Traffic Information -Map Updates	VSC -RSU to OBU -Enhanced Route Guidance and Navigation
Traffic Information -Mobile Internet	VSC -RSU to OBU -GPS Corrections
Traffic Information -Traffic Data	VSC -RSU to OBU -Adaptive Headlight Aiming
Traffic Information -Traveller Information	VSC -RSU to OBU -Adaptive Drivetrain Management
Traffic Information -Vehicle Registration (EVI)	VSC -RSU to OBU -Merge Assistant
Traffic Information -Transit Vehicle Priority	VSC -RSU to OBU -Sign Information (warning assistance)
Traffic Information -Diagnostic Data Transfer	VSC -RSU to OBU -Point-of-Interest Notification
Traffic Information -Video Transfer -Block	VSC -RSU to OBU -Curve Speed Warning
Traffic Information -Audio Transfer -Block	VSC -RSU to OBU -Highway/Rail Collision Warning
Traffic Information -Video Transfer -Streaming	VSC -RSU to OBU -Animal Crossing Zone Information
Traffic Information -Repair Service Record	VSC -RSU to OBU -Low Bridge Warning
Traffic Information -Vehicle Software Updates	VSC -RSU to OBU -Work Zone Warning
VSC -OBU-to-OBU -Approaching Emergency Vehicle Warning	VSC -RSU to OBU -Stop Sign Warning
VSC -OBU-to-RSU -Emergency Vehicle Signal Pre-emption	VSC -RSU to OBU -Keep Clear' Warning
VSC -OBU-to-RSU -Intersection Emergency Vehicle Approaching	VSC -RSU to OBU -Wrong-way Driver Warning
VSC -RSU to OBU -Emergency Scene Data Networking	VSC -RSU to OBU -Left Turn Assistant
VSC -OBU-to-OBU -Emergency Scene Data Networking	VSC -RSU to OBU -Infrastructure Intersection Collision Warning
VSC -OBU-to-OBU -Cooperative Collision Warning	VSC -RSU to OBU -Pedestrian Crossing Information
VSC -OBU-to-OBU -Pre-crash Sensing	VSC -RSU to OBU -Pedestrian/Children Warning
VSC -OBU-to-OBU -Intersection Collision Warning	VSC -RSU to OBU -School Zone Warning
VSC -OBU-to-OBU -Enhanced Differential GPS Corrections	VSC -RSU to OBU -Stop Sign Movement Assistance
VSC -OBU-to-OBU -Highway/Rail Collision Warning	VSC -RSU to OBU -Traffic Signal Warning
VSC -OBU-to-OBU -Vehicle-based Road Condition Warning	VSC -RSU to OBU -Low Parking Structure Warning}
VSC -OBU-to-OBU -Road Feature Notification	

Figur .1: Calm M5 tjenester