

Tekno-økonomisk vurdering av ITS- implementering

Realisering av kontinuerlig nett langs vei

Bård Indredavik

Master i kommunikasjonsteknologi
Oppgaven levert: Mai 2008
Hovedveileder: Steinar Andresen, ITEM

Oppgavetekst

Hvilke muligheter er det for å realisere ITS ved hjelp av kontinuerlig nett langs veien i Norge? Oppgaven skal vurdere hvilke teknologiske løsninger som finnes i dag og som kommer i nærmeste framtid, og sammenligne disse teknologiene i et tekno-økonomisk perspektiv. Det skal utarbeides et case med tanke på realisering av et teststed i Trondheim. Her forutsettes prinsipper fra Cooperativ Vehicle Infrastructure System (CVIS)-prosjektet anvendt.

Oppgaven gitt: 15. januar 2008

Hovedveileder: Steinar Andresen, ITEM

SAMMENDRAG

Intelligente Transport Systemer (ITS) er løsninger som benytter seg av IKT for å bidra til mer sikkerhet og effektivitet i samferdselssektoren. En viktig faktor innen ITS er kommunikasjon mellom kjøretøy og mellom infrastruktur og kjøretøy. CALM er et standardiseringsprosjekt for kommunikasjonsteknologier, og CVIS er et fireårig prosjekt for å realisere en rekke mål innenfor ITS. Denne oppgaven presenterer og vurderer mulige teknologier som eventuelt kan benyttes for å realisere et kontinuerlig nettverk i et veisystem. Disse teknologiene sammenlignes i et tekno-økonomisk perspektiv. En vurdering av viktige utfordringer ved utbygging av kontinuerlig nett langs vei presenteres også.

Basert på den teknologiske gjennomgangen, og utfordringer ved ITS-utbygging, er det gjennomført en case-oppgave som vurderer mulighetene for at Trondheim skal bli et teststed i CVIS-prosjektet. Denne oppgaven tar for seg veistrekningen Trondheim-Værnes. Forslag til ny infrastruktur for å nå noen av målsettingene i CVIS blir gitt, samt kostnadsestimater for Wi-Fi og WiMAX-utbygging.

Resultatene av kostnadsberegningene viser at WiMAX vil være mer kostnadseffektiv som kontinuerlig nett mellom Trondheim og Værnes enn Wi-Fi. Å bygge ut UMTS og CDMA450-nett som gir like stor overføringshastighet som WiMAX og Wi-Fi er ikke kostnadseffektivt. Resultatene fra case-oppgaven, de generelle kostnadsestimatene og den teknologiske oversikten, brukes til å drøfte mulighetene for overføringsteknologiene i et ITS-system. Alle har sine styrker og svakheter. Det er derfor ikke mulig å peke på en overføringsteknologi som bør anbefales generelt, fordi rekkevidde, mobilitet og overføringshastighet har innebygde motsetninger. Eksisterende overføringsteknologier blir også sammenlignet med teknologier som kommer i nærmeste framtid, såkalte 4G-teknologier. I et framtidsperspektiv ser det ut til å gå mot en samling med IP som transportbærer, og de fleste teknologier går mot forskyjellige typer av OFDMA som multippel aksess-teknikk. Likevel ser det ut til at det blir flere og ikke færre nett-teknologier i nærmeste framtid. Alle fire eksisterende teknologier har videreføringer og forbedringer under utvikling. En viktig utfordring framover blir derfor å utvikle sømløs overgang mellom overføringsteknologier. Forbedringer i teknologier vil bidra til å øke nytten og potensialet til ITS.

FORORD

Denne masteroppgaven er avslutningen på mitt sivilingeniørstudium innenfor kommunikasjonsteknologi ved institutt for Telematikk ved Norges Teknisk Naturvitenskaplig Universitet (NTNU). Jeg ønsker å takke min veileder og faglærer, Professor Steinar Andresen, for hjelp til å avgrense oppgaven, og for nyttige innspill om hva som bør vektlegges innenfor et stort og interessant fagfelt. Jeg er også takknemlig for at Daglig Leder ved Trådløse Trondheim, Thomas Jelle, har vært behjelpelig med spørsmål knyttet til erfaringer rundt nettutbygging, noe som har vært viktig for å finne reelle kostnadsoverslag.

Videre vil jeg takke mine medstudenter på kontorene Ræge og Tapas, for et meget godt faglig, og ikke minst sosialt miljø. Avslutningsvis vil jeg takke mine foreldre og venner for støtte og innspill i perioden.

Trondheim 27.mai 2008

Bård Indredavik

INNHOLDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG.....	I
FORORD	II
INNHOLDSFORTEGNELSE	III
FIGURLISTE	V
TABELLISTE	VII
FORKORTELSER	VIII
1 INNLEDNING.....	1
1.1 INTRODUKSJON	1
1.2 PROBLEMSTILLING	1
1.3 AVGRENSINGER.....	1
1.4 OPPBYGNING	2
1.5 RELATERT ARBEID.....	2
1.6 METODE	3
1.7 KILDEDRØFTINGER.....	3
2 BAKGRUNN	5
2.1 ITS	5
2.2 MULIGHETER MED ITS	8
2.3 CALM	10
2.4 CVIS	13
2.4.1 CVIS-applikasjoner	15
2.4.2 Konkrete tjenester.....	18
3 OVERFØRINGSTEKNOLOGIER.....	21
3.1 RADIOBASERTE OVERFØRINGSTEKNOLOGIER.....	23
3.1.1 802.11 Wi-Fi.....	23
3.1.2 802.16 WiMAX	25
3.1.4 2g GSM.....	28
3.1.5. 2,5g.....	28
3.1.6. 3g.....	28
3.1.7 UMTS.....	29
3.1.8 CDMA2000 og CDMA 450MHz.....	32
3.1.9 Radiolinker	33
3.1.10 4g og Neste Generasjons Nett.....	33
3.2 TRÅDBASERT OVERFØRING FOR DISTRIBUSJONSNETT	36
3.2.1 Optisk fiber	36
3.2.2 Kobber/DSL.....	37
3.2.3 Kommunikasjon over strømledning	37
4 KOSTNADER VED UTBYGGING AV ITS	39
5 UTFORDRINGER VED UTBYGGING AV ITS.....	43
5.1 GEOGRAFI OG DEMOGRAFI	43

5.2 FREKVENSSRESSURSER	43
5.3 SKALERING AV ITS-NETTVERK	44
5.4 INTEGRERING I UTSTYR	44
5.5 SYNERGIEFFEKTER	45
5.6 ITS TJENESTER SOM SKAL TILBYS	45
5.7 TRAFIKKGRUNNLAG OG ULYKKESSTATISTIKK PÅ STREKNINGEN.....	45
5.8 KOSTNADER	46
6 EKSEMPELUTBYGGING OG KOSTNADSESTIMATER.....	47
6.1 WiFi-UTBYGGING OG KOSTNADSDRIVERE.....	47
6.2 WiMAX-UTBYGGING OG KOSTNADSDRIVERE.....	54
6.3 UMTS-UTBYGGING OG KOSTNADSDRIVERE.....	59
6.4 CDMA450-UTBYGGING OG KOSTNADSDRIVERE	61
6.5 KOSTNADSSAMMENLIGNINGER	62
6.6 FORBEHOLD OM ESTIMATER	64
7 CASE - TRONDHEIM SOM TEST SITE I CVIS-PROSJEKTET	67
7.1 MÅL MED UTBYGGINGEN	68
7.2 BEGRUNNELSE FOR VALG AV STREKNING.....	68
7.2.1 Ulykker	68
7.2.2 Høy trafikk.....	70
7.2.3 Kommersielle muligheter.....	71
7.2.4 Andre momenter	71
7.3 BESKRIVELSE AV STREKNING	72
7.4 INFRASTRUKTUR LANGS VEIEN.....	72
7.5 EKSISTERENDE NETTVERK LANGS VEIEN	73
7.6 FORSLAG TIL NY INFRASTRUKTUR	75
7.6.1 Alternativ 1: Wi-Fi.....	76
7.6.2 Alternativ 2: WiMAX	78
7.7 FORBEHOLD OM ESTIMATER	80
7.8 VURDERING OG OPPSUMMERING.....	80
8 DISKUSJON.....	83
8.1 BEHOV OG KVALITATIVE KRAV TIL DE FIRE CVIS-TJENESTENE	83
8.2 SAMMENLIGNING OVERFØRINGSTEKNOLOGIER	84
8.2.1 Wi-Fi vs WiMAX.....	86
8.2.2 WiMAX vs UMTS.....	88
8.2.3 WiMAX vs CDMA450.....	89
8.2.4 UMTS vs CDMA450.....	90
8.2.5 Oppsummering av overføringsteknologier	91
8.3 Wi-Fi, WiMAX, UMTS, CDMA450 vs 4G OG NGN.....	92
8.4 SAMORDNINGSGEVINSTER.....	94
9 KONKLUSJON.....	97
10 VIDERE ARBEID.....	99
REFERANSER.....	101
APPENDIKS A: AKTØRER INNENFOR ITS I NORGE.....	107
APPENDIKS B: CALM M5 TJENESTER.....	109
APPENDIKS C: KOSTNADER OVERFØRINGSUTSTYR.....	111
APPENDIKS D: NÅVERDIMETODEN	113

FIGURLISTE

FIGUR 1 - HVORDAN STATENS VEGVESEN SER FOR SEG UTVIKLINGEN AV ITS, FRITT ETTER [5].	6
FIGUR 2 - STATENS VEGVESENS TRINNWISE MÅLSETTING FOR ITS-SYSTEMER, FRITT ETTER [5].	7
FIGUR 3 - TOYOTAS SMARTBUS-KONSEPT MED FØRERLØSE BUSSE, FRA [12].	9
FIGUR 4 - SAMMENLIGNING AV DAGENS LØSNING OG CALM-LØSNING, FRITT ETTER [1].	10
FIGUR 5 - CALM-LØSNINGEN SOM VISER SAMSPILL MELLOM FLERE MEDIER, FRA [11].	11
FIGUR 6 - CALM SYSTEM ARKITEKTUR, FRA [9].	13
FIGUR 7 - TIL VENSTRE: DIREKTE KJØRETØY TIL KJØRETØY-KOMMUNIKASJON. TIL HØYRE: KOMMUNIKASJON VIA NETTVERK LANGS VEIEN.	14
FIGUR 8- CURB: HVORDAN KJØRETØYET FÅR INFORMASJON OM TRAFIKKSITUASJONEN I NÆRHETEN, FRA [16].	16
FIGUR 9 - HVORDAN CINT-ARKITEKTUREN ER TENKT, FRITT ETTER [16].	17
FIGUR 10 - HVORDAN CVIS-LØSNINGENE HENGER SAMMEN, FRA [11].	18
FIGUR 11 - SAMMENHENGEN MELLOM MULTIPPEL AKSESS, MULTIPLEXING OG DUPLEX, FRITT ETTER [19].	22
FIGUR 12 - HVORDAN OFDMA DELER OPP DATASTRØMMER BÅDE FREKVENS- OG TIDSDELT, FRA [23].	24
FIGUR 13 - BREDDEN MELLOM SUB-CARRIERS KAN VARIERE AVHENGIG AV KANALBREDD, FRA [23].	26
FIGUR 14 - EN KODE MED RASK CHIP-RATE LEGGES TIL DET OPPRINNELIGE SIGNALET FØR DET SENDES, FRA [31].	29
FIGUR 15 - FORENKLET FRAMSTILLING SOM VISER HVORDAN LANGE BØLGELENGDER HAR LANG REKKEVIDDE. STØRRELSFORHOLD PÅ OBJEKTENE OG BØLGENE ER IKKE REELLE.	32
FIGUR 16 - FIGUR 16 - FORENKLET FRAMSTILLING AV OVERFØRINGSTEKNOLOGIENS UTVIKLING.	35
FIGUR 17 - EKSEMPEL PÅ WI-FI-UTBYGGING DER WiMAX BRUKES SOM MATENETT.	48
FIGUR 18 - TO BASESTASJONER KOBLES TIL FIBER PÅ SAMME PUNKT MED MOTSATT RETTEDE ANTENNER.	48
FIGUR 19 - FORDELING AV KOSTNADER VED WI-FI UTBYGGING, ALTERNATIV 4.	53
FIGUR 20 - EKSEMPEL PÅ WiMAX-UTBYGGING.	55
FIGUR 21 - KOSTNADER KNYTTET TIL WiMAX-UTBYGGING, ALTERNATIV 4.	58
FIGUR 22 - TELENORS UMTS-DEKNING I MIDT- OG SØR-NORGE, FRA [32].	59
FIGUR 23 - TELENORS TURBO 3G-DEKNING I MIDT- OG SØR-NORGE, FRA [16].	60
FIGUR 24 - ICE SIN DEKNING MED CDMA450-NETTET, FRA [23].	61
FIGUR 25 - SAMMENLIGNING OVER HVOR MANGE BASESTASJONER SOM TRENGS, FRA [55].	62
FIGUR 26 - KOSTNADER VED WI-FI OG WiMAX VED ULIKE REKKEVIDDER PÅ BS.	64
FIGUR 27 - NOEN TESTSTEDER I CVIS-PROSJEKTET, OG DERES ARBEIDSRÅDER, FRA [56].	67
FIGUR 28 - TRAFIKKULYKKER PÅ STREKNINGEN TRONDHEIM - VÆRNES FRA 1999 TIL 2006, FRA [57].	69
FIGUR 29 - TRAFIKKMENGDEN PÅ STREKNINGEN RANHEIM - VÆRNES, FRA [57].	70
FIGUR 30 - TRAFIKKMENGDEN PÅ STREKNINGEN TRONDHEIM SENTRUM - RANHEIM OG FORKLARING AV FARGEKODER, FRA [57].	71
FIGUR 31 - STREKNINGEN TRONDHEIM - VÆRNES, FRA [59].	72
FIGUR 32 - OVERSIKT OVER TRÅDLØSE TRONDHEIMS DEKNING MED WI-FI. FRA [61].	73
FIGUR 33 - TELENORS UMTS DEKNING NÅR MAN ER I BIL, FRA [32].	74
FIGUR 34 - TELENORS TURBO3G-DEKNING, FRA [33].	74

FIGUR 35 - ICE SIN CDMA450-DEKNING, FRA [54].....	75
FIGUR 36 - OVERSIKT REKKEVIDDE Wi-Fi, WiMAX, UMTS OG CDMA450.	86
FIGUR 37 - MOTSETNINGER MELLOM KAPASITET, REKKEVIDDE OG MOBILITET	91
FIGUR 38- OVERSIKT OVER NÅVÆRENDE OG FRAMTIDIGE TEKNOLOGIERS REKKEVIDDE.	93

TABELLISTE

TABELL 1 – OVERFØRINGSKRAV (NED-LINK) FOR UMTS VED BEVEGELSE, FRA [21].	31
TABELL 2 - KOSTNADSESTIMAT KNYTTET TIL Wi-Fi-UTBYGGING.	52
TABELL 3 - NÅVERDI AV KOSTNADER FOR Wi-Fi OG 10 ÅRS DRIFT.	53
TABELL 4 - REKKEVIDDE WiMAX, FRA [46].	54
TABELL 5 - KOSTNADSESTIMAT FOR WiMAX-UTBYGGING.	57
TABELL 6 - NÅVERDI AV KOSTNADER FOR WiMAX OG 10 ÅRS DRIFT.	58
TABELL 7 - KOSTNADER KNYTTET TIL UMTS-BASESTASJON.	61
TABELL 8 - KOSTNADER KNYTTET TIL CDMA450-BASESTASJON.	62
TABELL 9 - KOSTNADER VED WiMAX-UTBYGGING FOR Å MØTE OVERFØRINGSKRAVENE.	63
TABELL 10 - KOSTNADER VED UMTS- OG CDMA450-UTBYGGING FOR Å MØTE OVERFØRINGSKRAVENE.	63
TABELL 11 - ULYKKESPUNKT PÅ STREKNINGEN TRONDHEIM - VÆRNES, FRA [58].	69
TABELL 12 - ULYKKESSTREKNINGER FRA TRONDHEIM TIL VÆRNES, FRA [58].	70
TABELL 13 - KOSTNADER KNYTTET TIL UTBYGGING AV Wi-Fi NETT TRONDHEIM - VÆRNES.	77
TABELL 14 - KOSTNADER KNYTTET TIL WiMAX-UTBYGGING TRONDHEIM - VÆRNES.	79
TABELL 15 - OPPSUMMERING KOSTNADER VED Wi-Fi OG WiMAX.	80
TABELL 16- KVALITATIVE KRAV TIL FIRE CVIS-TJENESTER.	84
TABELL 17 - SAMMENLIGNING Wi-Fi, WiMAX, UMTS OG CDMA, FRA [21], [29], [25] SAMT ESTIMATER I KAPITTEL 6 OG 7.	85
TABELL 18 - TJENESTENES KRAV OG PASSENDE TEKNOLOGIER	92

FORKORTELSER

3GPP	Third Generation Partnership Project
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
BS	Basestasjon
CALM	Communication Architecture for Land Mobile environment
CAPEX	Capital Expenses
CDMA	Code division Multiple Access
CDMA450	CDMA på 450MHz-båndet
CEPT	Confederation of European Posts and Telecommunications
CF&F	Cooperative Fleet and Freight Applications
CINT	Cooperative Interurban Applications
COMM	Communication and networking
COMO	Cooperative Monitoring
CTA	Cooperative Travellers' Assistance
CURB	Cooperative urban application
CVIS	Cooperative vehicle.infrastructure systems
DSL	Digital Subscriber Line
DSRC	dedicated short range communications
DSSS	Direct Sequense Spread Spectrum
DS-WCDMA	Direct Sequense Wideband Code Division Multiple Access
EDA	Enhanced Driver Awareness
E-DCHs	Enhanced Dedicated Channels
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution
ETSI	European Telecommunications Standardization Institute
FOAM	Framework for open application Management
FSS	Frequency Division Duplex
Gbps	Gigabit per sekund
GPRS	General Packet Radio Service
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
HSDPA	High speed Downlink Packet Data
HSPA	Samlebetegnelse på HSDPA og HSUPA
HSUPA	High speed Uplink Packet Data
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IKT	Informasjon- og Kommunikasjonsteknologi
IMS	IP Multimedia Services
IMT-2000	Internasjonal Mobile Telecommunications 2000

IP	Internet Protokoll
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligente transportsystemer
ITU	Internasjonal Telecommunications Union
Kbps	Kilo-bit per sekund
LAN	Local Area Network
LOS	Line of sight
LTE	Long term evolution
MAC	Media Access Control
MAN	Metropolitan Area Network
Mbps	Megabit per sekund
MBWA	Mobil Broadband Wireless Access
MEMS	micro-electromechanical systems
MIMO	Mutiple in – multiplbe out
NGN	Neste Generasjons Nett
NLOS	Non Line of Sigth
OFDM	ortogonal frekvens-delt multiplexing
OFDMA	Ortogonal Frekvens-Delt Multippel Aksess
OPERA	Open PLC European Research Alliance
OPEX	Operating Expenses
PLC	Power Line Communication
POMA	Positioning, MAPS and Location referencing
PSK	Phase Shift Key
PTM	Punkt til multipunkt
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RTT	Round Trip Time
SIMO	Single In- Multiple out
SLA	Service Level Agreement
SOFDMA	Skalerbar Ortogonal Frekvens-Delt Multippel Aksess
TDD	Time Divisjon Duplex
TETRA	Terrestrial Trunked Radio
UMB	Ultra Mobile Broadband
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VDSL	Very high speed Digital Subscriber Line
VoIP	Voice over IP
WAVE	Wireless Access in the Vehicular Enviroment
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
Wi-Fi	Wireless Fiedlity
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN Wireless Local Area Network
WRAN Wireless Regional Area Network

1 Innledning

1.1 Introduksjon

Intelligente transport systemer (ITS) er en betegnelse på systemer og tjenester som forbedrer trafiksikkerheten og effektiviteten i transportsektoren ved hjelp av teknologiske løsninger [1]. Tradisjonelt sett har svaret på utfordringer i samferdselssektoren vært å bygge ny og bedre vei på strekninger med høy ulykkesrisiko eller trafikkproblemer som høy trafikk og kødannelser. ITS kan i sammenheng med utbygging av bedre vei være et viktig og godt hjelpemiddel for å løse disse problemene.

For å få intelligente systemer til å fungere sammen, er kommunikasjon nødvendig. I dag er de fleste nyere kjøretøy høyteknologiske, men de kommuniserer mest innad i kjøretøyet. For å øke trafiksikkerheten og effektiviteten er det viktig at kjøretøy kommuniserer med hverandre, samt med infrastrukturen rundt veiene. Da er det nødvendig med et eller flere kommunikasjonsnett langs veien.

1.2 Problemstilling

Tema for denne masteroppgave er **Tekno-økonomisk vurdering av ITS-implementering.**

Oppgaven skal besvare følgende problemstilling:

Hvilke muligheter er det for å realisere ITS ved hjelp av kontinuerlig nett langs veien i Norge? Oppgaven skal vurdere hvilke teknologiske løsninger som finnes i dag og som kommer i nærmeste framtid, og sammenligne disse teknologiene i et tekno-økonomisk perspektiv. Det skal utarbeides et case med tanke på realisering av et teststed i Trondheim. Her forutsettes prinsipper fra Cooperativ Vehicle Infrastructure System (CVIS)-prosjektet anvendt.

1.3 Avgrensinger

Oppgaven tar utgangspunkt i CVIS-prosjektet og gjelder derfor veitransport. I CVIS og CALM blir det definert flere medier som kan brukes for kommunikasjon. Disse vil bli oppsummert, og spesielt CALM M5 mediene, som er det som er tenkt som kontinuerlig nett langs veien vil bli drøftet. Detaljert nettarkitektur er utenfor spesifikasjonene for oppgaven. I

Case-oppgaven vil målsettinger for bli et teststed i CVIS defineres, og detaljerte kostnader knyttet til utbygging av kontinuerlig nett vil bli gitt. For å bli med i CVIS er det behov for utvikling av tjenester og testing. Fokuset for denne oppgaven er kontinuerlig nett som gjør det mulig for de aktuelle tjenestene å realiseres, ikke realiseringen av selve tjenestene.

1.4 Oppbygning

Denne oppgaven starter med en introduksjon om ITS, CALM, CVIS og noen konkrete tjenester innefor CVIS-prosjektet. Videre blir overføringsteknologier som er aktuelle for kontinuerlig nett langs veien gjennomgått teoretisk. Det blir lagt vekt på ytelse, mobilitet og forsinkelse i nettet. Det blir så en gjennomgang av momenter som er sentrale ved ITS-utbygging. Videre blir kostnader ved utbygging av fire aktuelle teknologier gjennomgått. Etter dette vil en case-oppgave ta for seg hvordan Trondheim kan bli en test site i CVIS, med mål om å tilby kontinuerlig nett langs veien, samt å realisere tjenester som er presentert tidligere i oppgaven. Basert på dette vil de forskjellige overføringsteknologiene sammenlignes og drøftes mot hverandre, og mot kommende standarder med tanke på bruksområde og kostnadseffektivitet. Avslutningsvis blir det gitt en konklusjon over momenter som er kommet fram i denne oppgaven, og forslag til videre arbeid.

1.5 Relatert arbeid

Både i Norge og utlandet har ITS stor oppmerksomhet, og det er flere store pågående prosjekter på området. CALM som er et standardiseringsprosjekt for overføringsteknologier, og CVIS, som er et stort prosjekt som benytter seg av CALM-standardene, blir detaljert presentert i kapittel 2. Noen andre prosjekter som relaterer seg til området er:

Den instrumenterte vei

Den instrumenterte vei er et pågående prosjekt hvor målet er å etablere og utvikle et fullskala trafiksikkerhets- og ITS-laboratorium for å bidra til en mer trafiksikker, effektiv og miljøvennlig veitrafikk [1]. Det er foreløpig gjort en forstudie av prosjektet som blant annet anbefaler at det blir gjort grovestimater på kostnader ved utbygging av kontinuerlig nett langs veien [1]. Min oppgave tar mål av seg å gi slike grovestimater for utvalgte teknologier.

WiseCar

Wisecar er et fireårig prosjekt som løper fra 2007 til 2011, og er et samarbeid mellom blant annet Statens Vegvesen, Qfree og Sintef [2]. Hovedmålet er å utvikle IKT-løsninger som er mobile for alle trafikanter. Prosjektet legger vekt på kommunikasjonsløsninger og utveksling av trafikkdata, og løsningene skal være relatert til CALM-standardene [3]. Prosjektet har et budsjett på 11,3 millioner kroner [3].

Masteroppgaver ved NTNU

Våren 2007 ble det gjennomført to masteroppgaver ved institutt for telematikk ved NTNU innenfor ITS. Den ene tok for seg teknologivalg ved ITS-utbygging, mens den andre så på foretningsmodeller for ITS. Denne oppgaven viderefører noe av dette arbeidet og kommer med nye elementer i form av kostnadsskisser og mer detaljert diskusjon rundt overføringsteknologier.

Mer detaljer om aktuelle aktører innenfor ITS i Norge blir gitt i Appendiks A.

1.6 Metode

Arbeidsmetoden for å besvare problemstillingen følger en trinnvis prosess. Første del består i å planlegge arbeidet og skaffe nødvendig innsikt over et bredt tema gjennom omfattende litteratursøk. Så følger en vurdering av aktuelle teknologier. Verdier som er brukt i kostnadsestimater er innhentet fra Daglig leder ved Trådløse Trondheim, Thomas Jelle, og vurdert opp mot kostnader funnet i fagrapporter. Selve budsjettoppsettet er basert på en fagbok innen emnet, Olexa [4]. Diskusjonen omfatter informasjon som er presentert i oppgaven, inkludert case-oppgaven.

1.7 Kildedrøftinger

Publikasjoner på de respektive teknologiers hjemmesider gir ofte ikke et nøkternt bilde av konkurrerende teknologier. Det er forsøkt å finne nøytrale kilder for å sammenligne teknologiene med hverandre. Verdiene brukt i kostnadsestimatene er hentet fra en rekke ulike kilder, med hovedvekt på informasjon fra Daglig leder i Trådløse Trondheim, Thomas Jelle. Slike verdier er ofte sensitive, så reelle tall er vanskelig og finne. Dette framgår også av den store variasjonen i kostnadene som er innhentet, som er vedlagt i Appendiks C. Ut fra de

innhentede kostnadene er det gjort antagelser for å finne så realistiske estimater av kostnaden ved en utbygging som det er mulig i en slik oppgave.

2 Bakgrunn

I dette kapittelet vil ITS bli definert, og mulighetene ved et slikt system blir presentert. Videre vil to store prosjekt innenfor ITS og kommunikasjon bli beskrevet, CALM og CVIS.

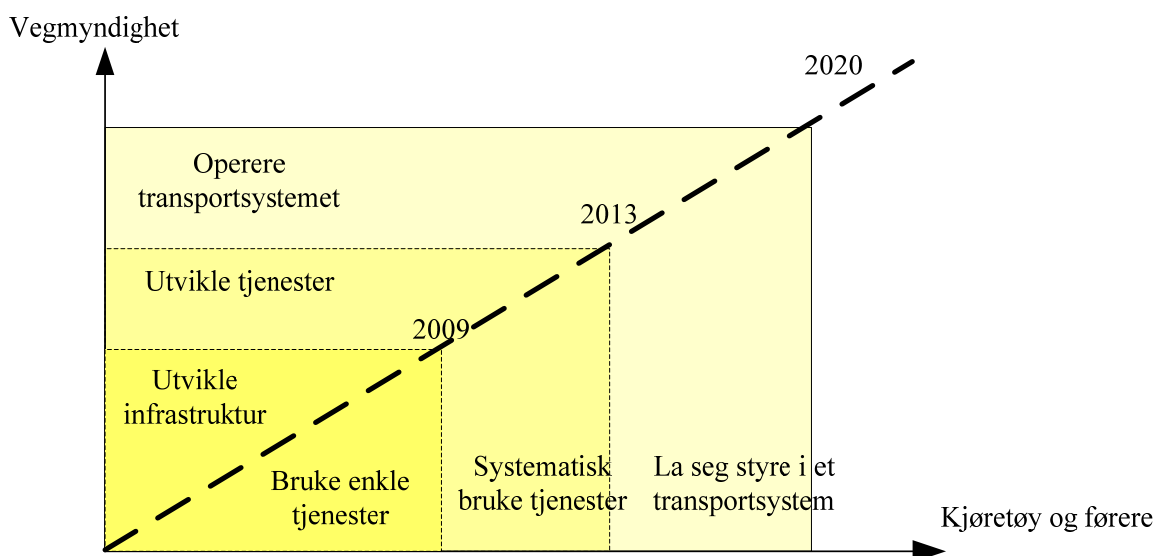
2.1 ITS

Intelligente transport systemer (ITS) er bruk av informasjon- og kommunikasjonsteknologi (IKT) i transportsektoren [5]. Målet med ITS er å øke effektiviteten, sikkerheten, brukervennligheten samt bedre miljøet i transportsystemer. ITS er en fellesbetegnelse for alle systemer som tar sikte på å gjøre dette [5]. Motivasjoner for å bygge ut ITS er mange:

- Transportutfordringene i Norge og verden generelt er store [6]. Både person- og varetransport langs vei øker i stort tempo. Til nå har ikke samfunnet klart å bygge ut infrastrukturen i samme tempo. Bilbruken øker, rushtrafikken øker, og dette fører til kø, forsinkelser, irritasjon, og vågale manøvrer fra førere for å komme fortere fram [6].
- Kjøretøy står for en stor miljøbelastning gjennom utslipp av forurensende avgasser, samt svevestøv fra asfalt [6]. Dette har i dag ført til dårlig luft i flere av de største norske byene. Store byer internasjonalt som Tokyo og New York sliter også med luftforurensingen som transportsektoren står for. Dette har innvirkning på helsen til befolkningen, og mer effektiv transportavvikling vil kunne hjelpe på dette [6].
- Trafikkulykker er en stor påkjenning både menneskelig for de involverte, og økonomisk for staten. Selv om antallet skadde og drepte i trafikken gradvis er på vei ned, døde 230 personer i 2007 [7]. Foruten de mange persontragediene, er kostnadene på grunn av ulykker i trafikken beregnet til 25 milliarder kroner per år [8]. Disse er fordelt på 5 milliarder i rene forsikringsutbetalinger, og 20 milliarder i sosiale kostnader. Sosiale kostnader er basert på en kompleks utregning som gjøres av Statistisk sentralbyrå [8]. Å redusere både dødsulykker og andre ulykker er en sentral motivasjon bak ITS.

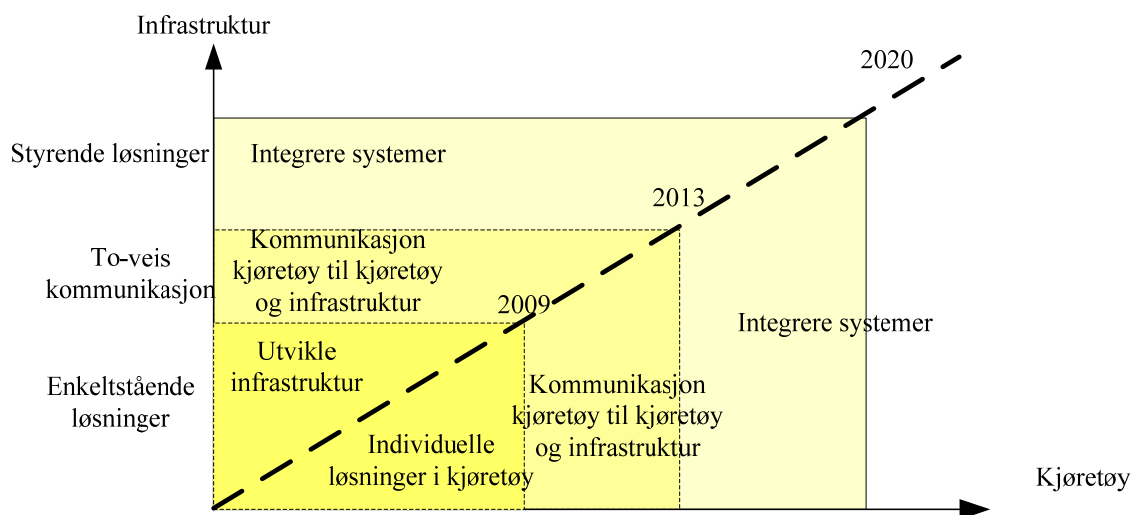
- I mange områder av landet er ikke kollektivtransport effektiv nok til å bli attraktiv [6]. Med smartere trafikkavvikling og økt kapasitet på veien til kollektivtilbud, samt eventuelt muligheten for å arbeide eller bruke internett under reisen, vil etterspørselen etter kollektivtrafikk kunne øke.
- Næringslivet taper på rushtrafikk og dårlig veistandard. Det er blitt beregnet at transportbransjen i Norge har kostnader opp mot 100 000 NOK per år per kjøretøy på grunn av tidstap i kø [6].
- Transportsystemer er også sårbare, og ulykker eller naturfenomener kan lamme systemene. Å ha bedre oversikt og kontroll over veinettet er derfor en oppgave som vil kunne gi raskere avvikling under spesielle hendelser [6].

ITS vil kreve samarbeid fra flere store fagmiljø innen transportsektoren, samt kommunikasjon og IT. Prosjektet Continuous Air Interface for Long and Medium range (CALM) ble startet av blant annet European Telecommunications Standardization Institute (ETSI) for å finne en felles standard for kommunikasjon [9]. I Norge er ITS et av regjeringens satsningsområder [10]. I nasjonal målestokk er målsettingen å etablere et multimodalt ITS-system som fungerer både på vei, sjø og i luften [5]. Statens vegvesen ser for seg et utviklingsscenario som figuren viser:



Figur 1 - Hvordan Statens Vegvesen ser for seg utviklingen av ITS, fritt etter [5].

Figur 1 viser hvordan Statens Vegvesen ser for seg oppgaver for Vegmyndighet og kjøretøy og førere. Figur 2 viser trinnvise løsninger for infrastruktur og kjøretøy. Handlingsplanen strekker seg til 2019, og innen den tid skal et operativt ITS-system være implementert [5]. I første omgang ser man for seg enkeltstående deløsninger som bidrar til å bedre trafikksikkerheten. Dette vil typisk være å regulere fartsgrenser, sikre beltebruk, redusere rustrafikk og mulighetene for møteulykker. Videre skal infrastruktur utvikles og testes, som grunnlag for å utvikle tjenester. Etter hvert ønsker de å gå over til mer teknologiske løsninger og bruk av IT for å gi informasjon til førere, samt styre infrastruktur som skilter og opplysningstavler på en enklere måte. Neste steg vil være å kunne tilby tjenester til bilførere og underholding til passasjerer.



Figur 2 - Statens Vegvesens trinnvise målsetting for ITS-systemer, fritt etter [5].

For å nå disse målsettingene er flere prosjekter som omhandler trafikksikring og ITS i startfasen og til dels gjennomført. Eksempler på dette er den instrumenterte vei og WiseCar. Disse blir gjort i samarbeid med Statens Vegvesen, som drifter de statlige veiene i Norge [5].

2.2 Muligheter med ITS

Kommunikasjon er et nøkkelord i ITS. Kommunikasjon mellom sensorer, kommunikasjon med kontrollsenter og kommunikasjon med kjøretøyene er viktig. Veimyndigheter kan ved hjelp av ITS tilby varierte typer trafikkregulering og informasjon som kan hjelpe eller avlaste føreren [8].

Foruten å oppnå målsettingene presentert i kapittel 2.1 er det flere andre bruksområder for ITS. Betalingssystemer i form av avgifter for kjøring på veistrekninger og for parkering er politiske virkemiddel for å styre trafikkavviklingen. Tanken bak er at brukere av nye veier, bruer eller tunneler skal bidra til å dekke kostnadene i forbindelse med utbyggingen. Et annet motiv er at eiere av området skal få betalt. Et tredje motiv er å minske trafikken inn og ut av de store byene for å hjelpe på luftforurensningen som kan være et stort problem. Slike systemer krever telekommunikasjon [8].

Det er økende etterspørsel etter informasjon til føreren av kjøretøy og underholdningstjenester for passasjerene. Ved et kontinuerlig nett langs veien vil man kunne tilby internettaksess i bil og til passasjerer [8].

I de siste tiårene har kjøretøy forandret seg fra stort sett å være mekanisk, til at flere og flere oppgaver skjer ved hjelp av datamaskiner. I det siste har sensorer blitt vanlig i nye biler. Dette kalles micro-electromechanical systems (MEMS) [8]. MEMS er sensorer som kan måle avgasser, temperaturtrykk og andre data på kjøretøyet. På grunn av dette inneholder kjøretøyene mye informasjon om seg selv. Det neste steget vil være å nyttiggjøre dette videre ved at kjøretøy kan kommunisere med infrastrukturen og andre kjøretøy. I prinsippet vil det være mulig å lage førerløse kjøretøy [11]. Kort oppsummert kan dette blant annet gjøres ved å legge sensorer langs veikanten, slik at kjøretøy kan navigere etter disse og holde seg på riktig side av veien. Som ekstra sikkerhet kan anti-kollisjonssystemer installeres i kjøretøyene, disse vil også unngå sammenstøt med andre hindringer som kan være i veibanen som fotgjengere, syklist og dyr. Systemet må også inneholde programmer og algoritmer som styrer veikryss, stopp, trafikkork og andre hendelser som kan inntreffe. Dette er hver for seg komplekse men mulige scenarioer [8]. Databaserte systemer kan lages sikrere enn systemer som styres av mennesker [8]. Likevel føler fleste mennesker føler seg tryggere når de vet at en pilot lander flyet enn om en autopilot gjør det [8]. I praksis kan det være en fordel at mennesket kan

overstyre systemet slik at man kan kjøre av ved avkjørsel, forandre retning eller parkere selv. Dette kan gjøres ved at det er mulig manuelt å overstyre systemet i disse tilfellene. Da blir det heller ikke så komplekse algoritmer å passe på i veikryss, avkjøringer og andre uforutsette hendelser som kan oppstå i et trafikkbilde [8].

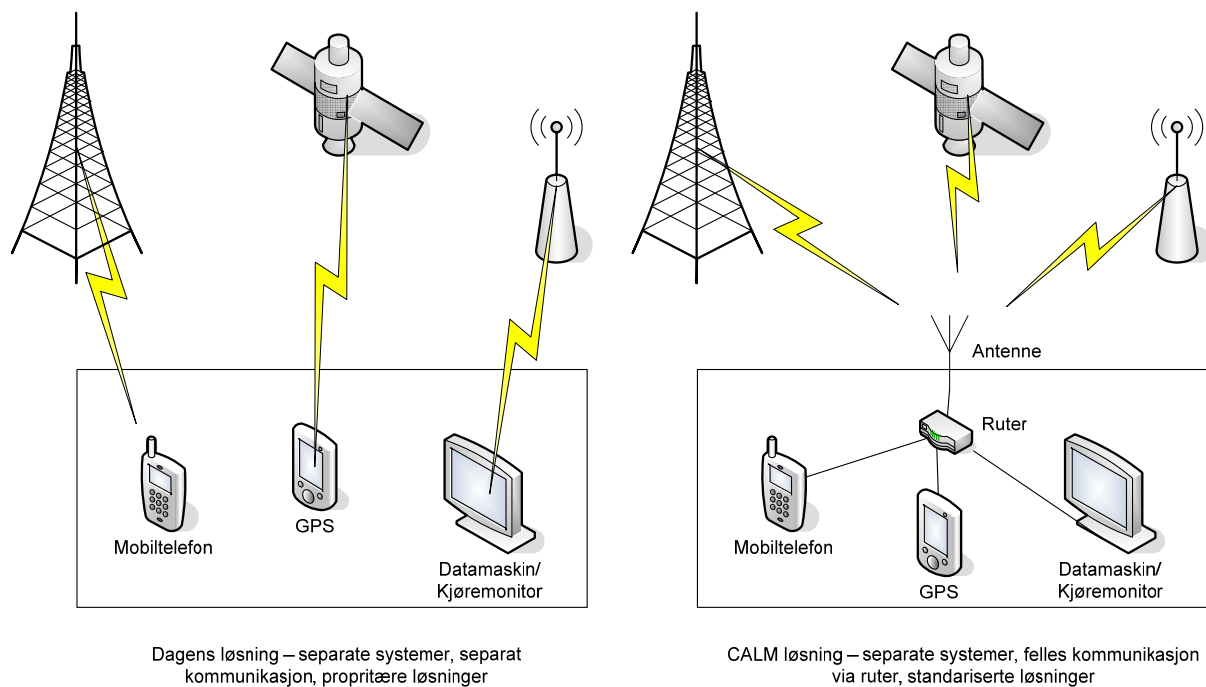


Figur 3 - Toyotas Smartbus-konsept med førerløse busser, fra [12].

Mange konsept og forskingsprosjekt omhandler avanserte sensorløsninger slik at kjøretøyene i stor grad kan styre seg selv. Figur 3 viser hvordan Toyotas konsept med førerløse busser ser ut. Disse er ikke realisert i fullskala, men teknologien er på vei til å kunne tilby slike tjenester [12].

2.3 CALM

Continuos Air Interface for Long and Medium range (CALM) er et prosjekt som styres av International Organization for Standardization (ISO) og European Telecommunications Standards Institute (ETSI) [9]. Prosjektet har nå byttet navn til Communication Architecture for Land Mobile environment (CALM) [9]. En sentral rolle i ITS er kommunikasjon mellom kjøretøy og infrastruktur, mellom kjøretøy, og mellom fører og kjøretøy. Å utvikle standarder for slikt er en viktig forutsetning for effektiv og fleksibel bruk. CALM-prosjektet er utarbeidet med mål om å utvikle en lagdelt arkitektur for kontinuerlig eller delvis kontinuerlig kommunikasjon mellom kjøretøy og infrastruktur og mellom kjøretøy [9]. Arbeidet har resultert i standardene ISO CALM TC204 og ETSI ERM TG27, men de modifieres fortsatt [13]. CALM-konseptet går ut på å bruke ressursene best mulig, og gjennom standardisering få systemer som kan fungere i lang tid og på tvers av landegrenser. CALM gir ikke en løsning med en enkelt standard, med anser at flere ulike teknologiske løsninger vil eksistere [9]. Hvilke kommunikasjonsteknologier som bør brukes på forskjellige steder lar CALM være åpent, men de lager standarder for at mange teknologier kan brukes. CALM beskriver også felles kommunikasjon via en ruter, istedenfor at hver enkelt tjeneste benytter dedikert kommunikasjon [1]. Dagens situasjon og CALM-løsning er illustrert i Figur 4.



Figur 4 - Sammenligning av dagens løsning og CALM-løsning, fritt etter [1].

5. CALM Networking

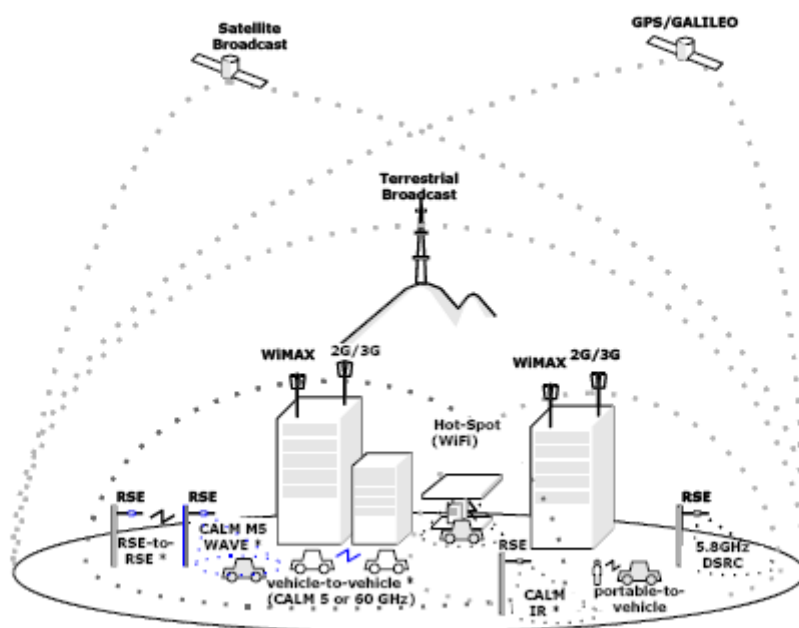


Figure 7: CALM, Operating in a multi-media environment

Figur 5 – CALM-løsningen som viser samspill mellom flere medier, fra [11].

CALM beskriver flere aksessmedier som kan brukes. En mer utfyllende gjennomgang av trådløsteknologiene for å opprette et trådløst nett langs veiene kommer i kapittel 3. Her blir Wi-Fi, WiMAX, GSM, UMTS, CDMA450 samt kommende teknologier som kalles 4g gjennomgått. Disse mediene kalles i CALM sammenheng for CALM M5, selv om ikke alle mediene opererer på 5 GHz-båndet [9]. I tillegg ser CALM for seg flere andre kommunikasjonsmuligheter:

5GHz DSRC (Dedicated Short Range Communications)

Dette er et systemet som brukes på tollstasjoner og bomveier i Europa og Japan [9]. DSRC har vist seg å fungere fint også i høy fart og er derfor ett av mediene som er forelått i CALM. Dette mediet er tenkt til å registrere biler som passerer, og til betalingsløsninger, ikke ulikt det som i dag benyttes ved de fleste bomstasjoner i Norge. Kommunikasjon direkte fra kjøretøy til nærliggende kjøretøy er også et mulig bruksområde for DSRC, i likhet med CALM M5-mediene som blir presentert i neste kapittel [9].

Millimeter

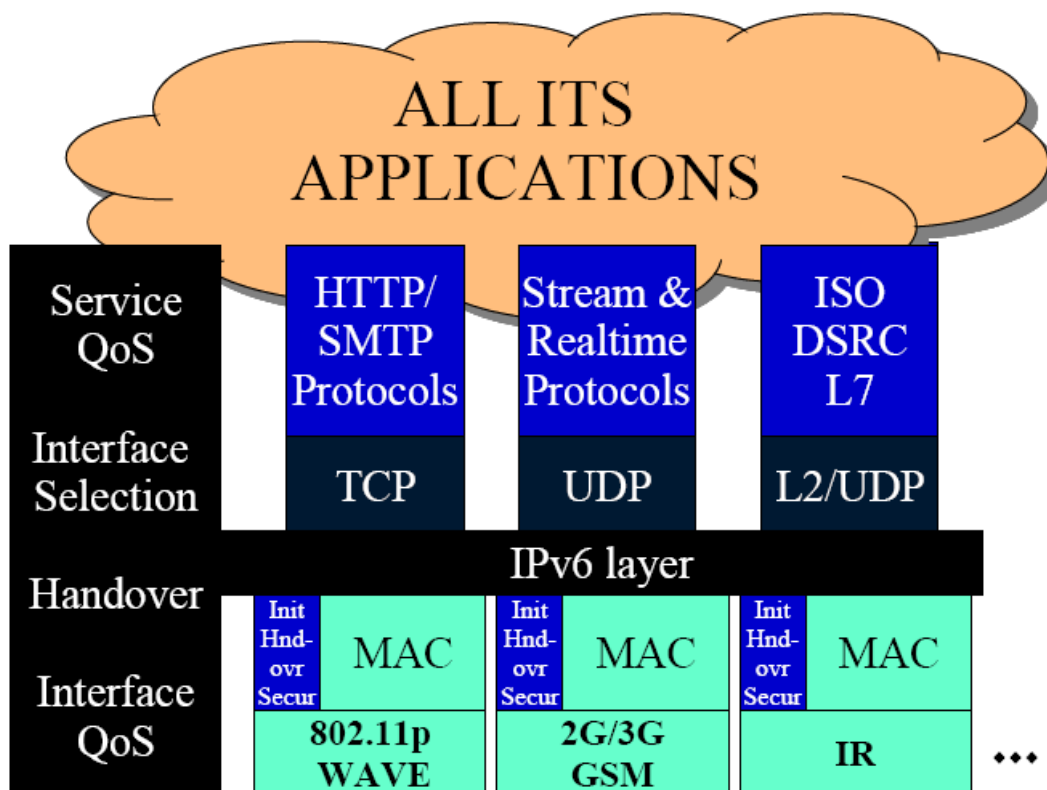
Millimeterbølgeteknologi gir muligheten til høyt retningsignal [9]. Jo høyere frekvens, jo mindre blir spredningen av signalet, og det gir en mulighet for veldig høye overføringshastigheter og rask respons sammenlignet med andre medier. Dette mediet er brukt på frekvenser rundt 60 GHz og har til nå en teoretisk overføringskapasitet på 630 Mbps. Ulempen med høye frekvenser er at rekkevidden er dårligere. På grunn av disse egenskapene ser arbeidsgruppen i CALM for seg at millimeter mediet blir brukt i sikkerhets-applikasjoner som beskjeder fra kjøretøy til kjøretøy, og infrastruktur til kjøretøy [9].

Infrarød

Infrarød stråle er i dag brukt i noen tollsystemer, både for å samle inn avgift og for å initiere GSM/GPS systemet for å ta inn avgift [9]. I Japan er infrarød også brukt for å registrere stillestående kø etter uoversiktlige svinger og for å varsle kjøretøy om den stillestående køen rundt svingen [14]. Infrarød har veldig høy frekvens, fra 30-300 THz, dermed lav bølgelengde og lav rekkevidde [9].

Satellitt

Uavhengig av utbyggingen av andre nett, vil satellitter spille en stor rolle siden det er store områder av verden som ikke kommer til å bli dekket av andre CALM-medier i uoverskuelig framtid [9]. Satellittene fungerer globalt, og er et nyttig, men dyrt medium å støtte seg på. Spesielt har nøyaktigheten i utendørs posisjonering vist seg å være vanskelig å utkonkurrere for andre medier. To-veis kommunikasjon kreves for å levere nett langs veiene som både samler inn og sender informasjon. For å sende signaler til en satellitt kreves mye energi og ofte er det parabler som brukes. Dette vil være upraktisk i kjøretøy, og satellitt anses derfor å gi enveis kommunikasjon i ITS-sammenheng. Likevel er funksjonene satellittene gir en viktig brikke i ITS-systemer, da ingen annen teknologi kan gi like presis posisjonering utendørs som satellitter kan [9]. Per i dag brukes Global Positioning System (GPS) verden over, mens Europas nye satellittnavigasjonssystem GALILEO er under utbygging.



Figur 6 - CALM system arkitektur, fra [9].

Figur 6 viser hvordan aksessteknologier nederst skal kommunisere over samme transportlag, som er tenkt IPv6. På denne måten skal tjenester kunne bygges vertikalt ved at alle lag følger standardene som er gitt av CALM. Dette vil stimulere til stor utvikling og kompatibilitet, slik at systemer som er utviklet ulike steder kan samarbeide [9].

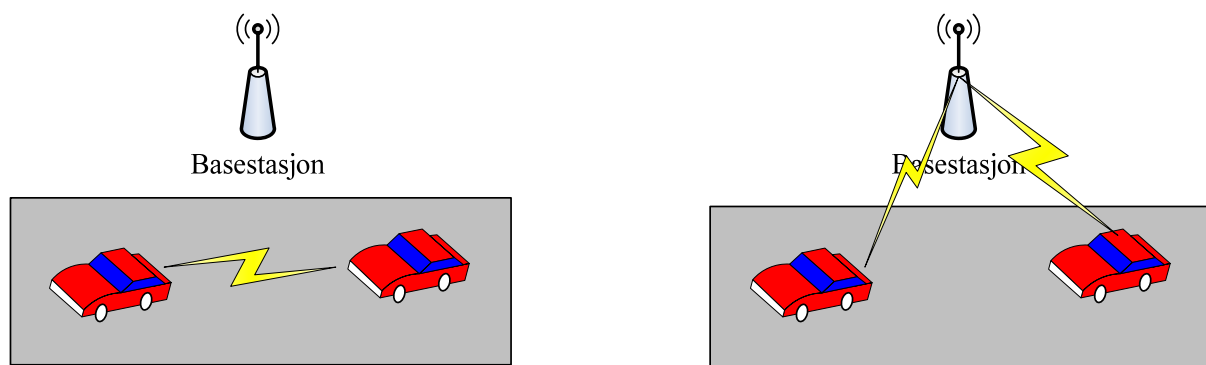
2.4 CVIS

Cooperative Vehicle Infrastructure Systems (CVIS) er et prosjekt satt i gang av EU, med over 60 statlige og private medlemsbedrifter [15]. Det ble startet i 2006 og skal etter planen vare i fire år. CVIS har visjon om å øke effektiviteten og sikkerheten gjennom kjøretøy-infrastruktur samvirke. CVIS teststeder i Frankrike, Tyskland, Italia, Nederland-Belgia, Storbritannia og Sverige [15].

CVIS er et stort prosjekt, og kan deles opp i tre hovedområder:

COMM - Communication and Networking

COMM beskriver kommunikasjonsteknologiene som planlegges brukt i CVIS [16]. Målet er at systemer som CVIS skal kunne kommunisere på enhver lokasjon, til enhver tid og til alle. I dag finnes det mange forskjellige teknologier, som alle er optimalisert for sitt bruk. Siden det ikke finnes en perfekt overføringsteknologi for enhver situasjon, ønsker man at valget av teknologi skal baseres på hvilke krav tjenesten som skal tilbys, og omgivelsene rundt, impliserer. Det er derfor behov for integrerte løsninger som samler de viktigste kommunikasjonsteknologiene, og samtidig skjuler kompleksiteten slik at det fra brukerperspektiv er enkelt å bruke. Slike rammeverk må takle forskjellig funksjonalitet for sending av data for de ulike bærerene, og i tillegg styre systemet slik at en sømløs overgang mellom teknologiene er mulig. En slik integrert løsning finnes ikke i dag. Her er CALM, som forklart i forrige delkapittel, en viktig brikke og vil trolig kunne bli en standard for å integrere de forskjellige overføringsmediene til ett rammeverk. COMM er derfor knyttet til CALM, og forutsetter at CALM-retningslinjene blir fulgt [16].



Figur 7 – Til venstre: Direkte kjøretøy til kjøretøy-kommunikasjon. Til høyre: Kommunikasjon via nettverk langs veien.

COMM beskriver to viktige kommunikasjonsmuligheter, og det er direkte kommunikasjon fra kjøretøy til kjøretøy, og kommunikasjon fra kjøretøy til kjøretøy via infrastruktur, slik figur 7 viser [16].

FOAM - Framework for Open Application Management

Dagens transportsystemer er enten uavhengige av hverandre eller laget med lukkede løsninger [16]. FOAM-prosjektet har som mål å lage et åpent ende-til-ende applikasjonsrammeverk. Dette rammeverket skal beskrive systemer både inne i kjøretøy og i vei-infrastruktur. Dette

rammeverket kan bli sett på som grunnlaget for CVIS applikasjoner, og er utviklet i tett samarbeid med CALM [16].

POMA Positioning, MAPS and Location referencing

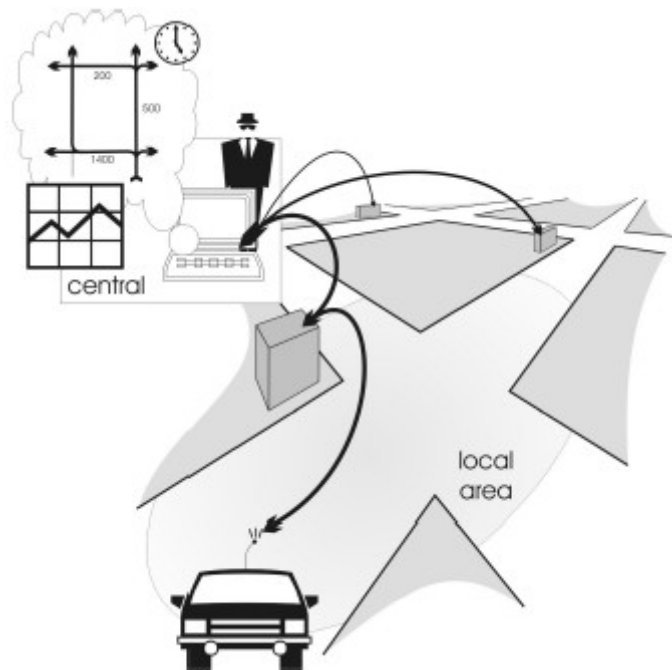
Dagens kjøretøyassistanse bruker standard digitale kart og GPS posisjonering, og viser denne informasjonen på en skjerm [16]. For å tilrettelegge for utvidet informasjon som CVIS legger til rette for, er målet med POMA å utvikle løsninger slik enheten i kjøretøyet kan motta mer informasjon, som for eksempel informasjon fra infrastruktur om kjøreforhold og kø [16].

2.4.1 CVIS-applikasjoner

Det er per i dag definert godt over 400 mulige applikasjoner for ITS [16]. Noen av tjenestene er listet i Appendiks C, og fire konkrete tjenester blir presentert avslutningsvis i dette kapitlet. For å få en bedre oversikt over alle tjenestene, deler CVIS-prosjektet også disse inn i større grupper.

CURB Cooperative urban application

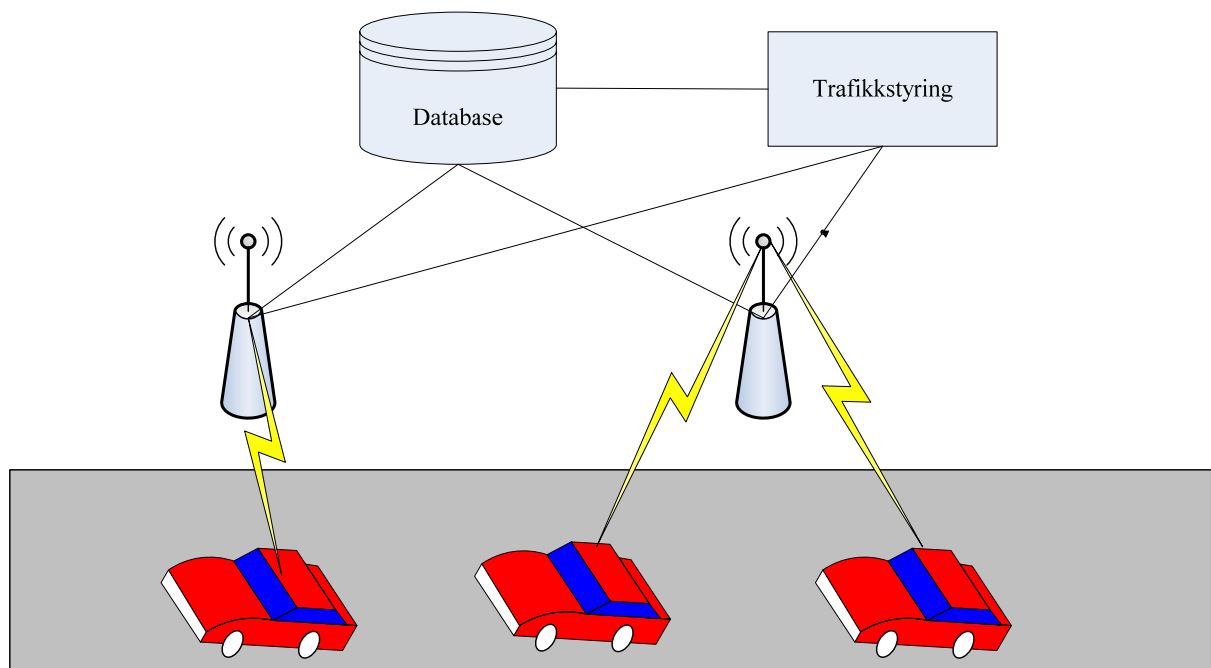
CURB-prosjektet har som mål å utvikle tjenester som bedrer effektiviteten på urbane veinett, slik som i byer [16]. I tillegg ser man for seg positive virkninger angående trafikksikkerhet og miljø. Hovedutviklingen vil være et nett som gjør det mulig for kjøretøy å kommunisere med andre kjøretøy, og kommunikasjon mellom vei-infrastrukturen og kjøretøy i urbane områder [16] som figur 8 viser.



Figur 8- CURB: Hvordan kjøretøyet får informasjon om trafikksituasjonen i nærheten, fra [16].

CINT Cooperative Interurban Applications

Som navnet tilsier fokuserer dette prosjektet på Inter-urbane områder, med tanke på å forbedre effektivitet, sikkerhet og miljøvennlighet, samt å tilby en mer komfortabel transport for bilførere og passasjerer [16]. Kjerneteknologi som er utviklet i CVIS-prosjektet vil bli benyttet for å sy sammen et posisjons og lokasjonssystem, sømløs infrastruktur til kjøretøy, og kjøretøy til kjøretøy kommunikasjon, i tillegg til basistjenester for monitorering av trafikken. Det interurbane områder vil typisk være motorveier i nærheten av de store byene. Enhanced Driver Awareness (EDA) og Cooperative Travellers' Assistance (CTA) er to av mange tenkte tjenester innenfor CINT. EDA skal informere føreren av kjøretøy gjennom direkte kommunikasjon med sentraler eller andre kjøretøy, om den nåværende trafikksituasjonen, fartsgrenser og andre reguleringer, samt vei og føreforhold. CTA skal hjelpe føreren å velge rett rute fram til destinasjonen, samt gi beregnet tid for ankomst. Dette kan bero på personlige valg som raskeste rute eller billigste rute, om man for eksempel vil unngå bomstasjoner. Felles for disse tjenestene er at de vil bruke underliggende CVIS teknologier som lokasjonstjeneste fra POMA, trafikkstyring av FOAM og sensorer fra COMO [16]. Figur 9 viser hvordan en tenkt arkitektur av CINT kan se ut, med sentrale databaser som lagrer informasjon og trafikkstyring som samler og sender informasjon. Slik informasjon kan sendes ut basert på kjøretøys lokasjon, førerens preferanser eller andre valg [16].



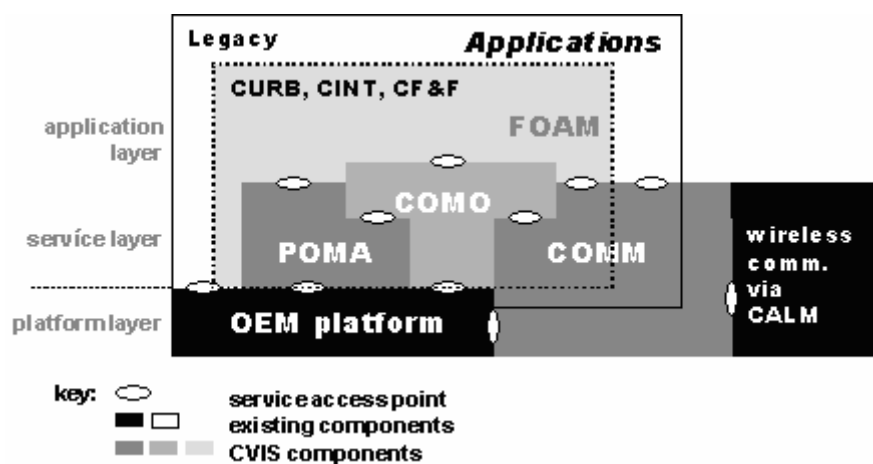
Figur 9 - Hvordan CINT-arkitekturen er tenkt, fritt etter [16].

CF&F Cooperative Fleet and Freight Applications

Dette prosjektet er rettet mot kommersielle aktører med informasjon om nåværende posisjon, hvilken last og destinasjon disse kjøretøyene har. Informasjonen innhentes av lokale myndigheter for å øke effektivitet, sikkerhet og miljøvennlighet av cargo-transport. Dette prosjektet har to hovedmål. Det første er monitorering og guiding av farlig gods, det andre er parkeringsinformasjon og styring. Sømløs kommunikasjon ved hjelp av COMM gjør at kjøretøyene kun trenger én kommunikasjonsplattform for å kommunisere med infrastrukturen. Posisjonering skal løses ved POMA, mens FOAM skal gi en plattform slik at alle tjenestene kan bruke samme hardware, det vil si bare en enhet i kjøretøyet [16].

COMO- Cooperative Monitoring

COMO prosjektet vil spesifisere, utvikle og validere tjenester for monitorering av trafikk og omgivelser. Prosjektet vil bli brukt av de fleste andre delprosjektene for å gi informasjon om nettopp dette. COMO er dermed en sentral tjeneste innunder CVIS. Tanken bak dette prosjektet er et desentralisert system som både kan kommuniserer innover til en trafikkovertvåkingsentral, og utover til kjøretøyene for å gi nyttig informasjon om trafikksituasjon og andre forhold som er viktig for førere [16].



Figur 10 - Hvordan CVIS-løsningene henger sammen, fra [11].

Figur 10 oppsummerer hvordan POMA, FOAM og COMM henger sammen med applikasjonsdelen i CVIS, som er COMO, CURB, CINT og CF&F. Tjenester bygger så på disse standardiserte byggeklossene, slik at utvikling kan skje forskjellige steder og samspillet sikres [16]. Figuren viser også at COMM skal samarbeide med CALM.

2.4.2 Konkrete tjenester

eCall er et planlagt europeisk nødansvarssystem som skal bidra til hurtig bistand ved trafikkulykker [17]. Ved en ulykke vil kjøretøyet som er innblandet automatisk ringe alarmsentral, en taleforbindelse opprettes, og opplysninger om kjøretøyets posisjon sendes til alarmsentralen [17]. En slik tjeneste vil trolig være noe av det første som implementeres, og vil falle inn under paraplyprosjektet CINT.

Precrash eller kollisjonsdetektering er et system som skal sende informasjon til nærliggende kjøretøy om et annet kjøretøy er på kollisjonskurs eller bråbremses [18]. Det kan blant annet bestå av sensorer som oppfatter kraftig trykk på bremsepedalen, for så å sende en advarsel til kjøretøyene bak. Denne kommunikasjonen kan være enten direkte fra kjøretøy til kjøretøy, eller via infrastruktur langs veien. Precrash vil være en tjeneste som både kan implementeres ved bruk av CALM M5 medier, og andre, for eksempel DSRC, og vil falle inn under CINT.

Variable trafikkskilter er skilter der innholdet kan styres og endres av veimyndighet. Dette kan være trafikkgrenser eller informasjon om stenging/omkjøring. For å styre disse variable

skiltene på en effektiv måte er man avhengig av å kommunisere med dem. De fleste slike systemer består i dag av proprietære løsninger, og et mål er å kunne styre slike skilt på en mer effektiv måte med et nettverk langs veien [18]. Dette kan styres ved hjelp av løsninger knyttet opp mot COMM i CVIS.

Trafikkinformasjon er å gi beskjeder om trafikkforhold, om køer og andre hendelser eller hindringer, til førere av kjøretøy. Slik informasjon her Veitrafikksentralen mange steder i dag, og i noen tilfeller formidles denne til brukerne over radio. Et system som samler all relevant informasjon og gir denne til riktig mottaker automatisk er tenkt i trafikkinformasjonstjenesten [18]. En slik tjeneste faller inn under CINT og COMO-prosjektet i CVIS.

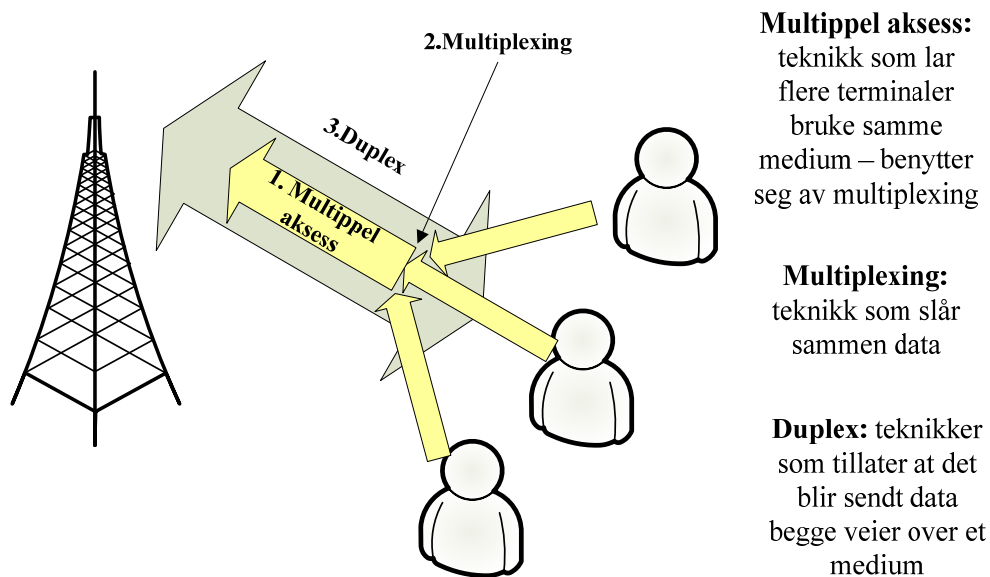
3 Overføringsteknologier

For å få bygd ITS er man avhengig av å overføre informasjon til kjøretøy og infrastruktur. Aksessnettene vil måtte realiseres ved hjelp av fysiske medier basert på enten radiobølger eller lys på grunn av krav om høy mobilitet. For de alternative aksessteknologiene blir det gitt en kort innføring i grunnprinsippene, med hovedvekt på noen av de kriteriene som er viktige for et nettverk langs veiene med hensyn til overføringshastighet, rekkevidde og mobilitet. Det er disse mediene som faller inn under CALM M5. Når det gjelder distribusjonsnettene, vil dette i tillegg til trådløst også kunne realiseres trådbasert. Disse løsningene blir presentert avslutningsvis i kapittelet.

Ytelse

Innenfor kategorien ytelse er det mange parametere. I forbindelse med ITS vil det være viktig og se på overføringshastighet, rekkevidde og forsinkelse. Med overføringshastighet menes hvor mange bit som kan bli overført per sekund. Dette vil variere av mange grunner, og teori og praksis kan ofte divergere. En utbygging langs vei vil være påvirket av hvor stor rekkevidde en basestasjon har. Rekkevidden til en basestasjon er derfor et viktig kriterium.

Multipel aksess er en metode basert på multiplexing, som gjør at flere terminaler kan være tilkoblet og kommunisere over det samme fysiske mediet ved å dele på kapasiteten [19]. Denne metoden er forskjellig i ulike overføringsteknologier, og er med på å bestemme ytelsen til teknologien [20]. Duplexteknikker er metoder som tillater at det blir sendt både til og fra en terminal over samme medium samtidig. I hovedsak består disse av to typer, enten tidsdelt duplex, eller frekvensdelt duplex. Tidsdelt duplex innebærer at overføringen skjer i tidsluker som blir delt mellom sender og mottaker, men frekvensdelt vil si at man har egne frekvenser for opp og nedlasting. Hvilke teknikker som blir valgt både innenfor multipel aksess, multiplexing og duplex er avgjørende for både overføringshastighet, Quality of Service (QoS), og forsinkelse [20]. Figur 11 viser sammenhengen mellom multipel aksess, multiplexing og duplex.



Figur 11 - Sammenhengen mellom multipel aksess, multiplexing og duplex, fritt etter [19].

Forsinkelse er tiden det tar fra et signal sendes til det mottas, og til sender mottar en kvittering tilbake, også kalt Round-Trip-Time (RTT) [21]. Ofte regnes denne ut som tiden det tar til sentralsystemet er nådd, og kvitteringen er gitt, men uten at den tiden som brukes i transportnettet. Tallene som brukes i denne oppgaven er forsøkt testet på samme måte, i Ribeiro [21], slik at de skal være sammenlignbare. Forsinkelse er viktig i tjenester som baserer seg på å varsle om uforutsette hendelser, da et kjøretøy beveger seg flere meter bare på noen millisekund.

Mobilitet

Mobilitet vil si hvor raskt brukeren kan bevege seg og fortsatt ha tilgang til nettet. Bli hastigheten for stor i forhold til det overføringsteknologien klarer, vil overføringen falle ut. Fart påvirker signalet ved Doppler-skift, samtidig som styrken avtar jo lengre signalet har beveget seg. Begge disse faktorene vil øke jo lengre avstanden mellom basestasjon og bruker er. Dette løses ofte ved å bruke andre moduleringssteknikker som skal plukke opp slike forandringer. Disse er ofte mer komplekse. Derfor kan hastigheten i et nett variere med avstanden fra basestasjonen og hastigheten man beveger seg med.

Handoff er et annet viktig prinsipp under kategorien mobilitet. Handoff er prosedyren som foregår når en bruker beveger seg fra et område dekket av en basestasjon til et annet område

som dekkes av en annen basestasjon. Man deler inn i soft og hard handoff. Ved soft handoff registreres terminalen i den nye basestasjonen før forbindelsen med den andre brytes, slik at brukeren vil oppleve kontinuerlig tjeneste. Ved hard handoff brytes overføringen i den tidligere basestasjonen før den opptas i den nye. I dette tilfelle vil for eksempel en telefonsamtale bli brutt i overføringen.

Både ytelse, mobilitet og handoff-prosedyrer vil derfor være viktige punkt for å velge passende teknologi for et nett langs veien.

3.1 Radiobaserte overføringsteknologier

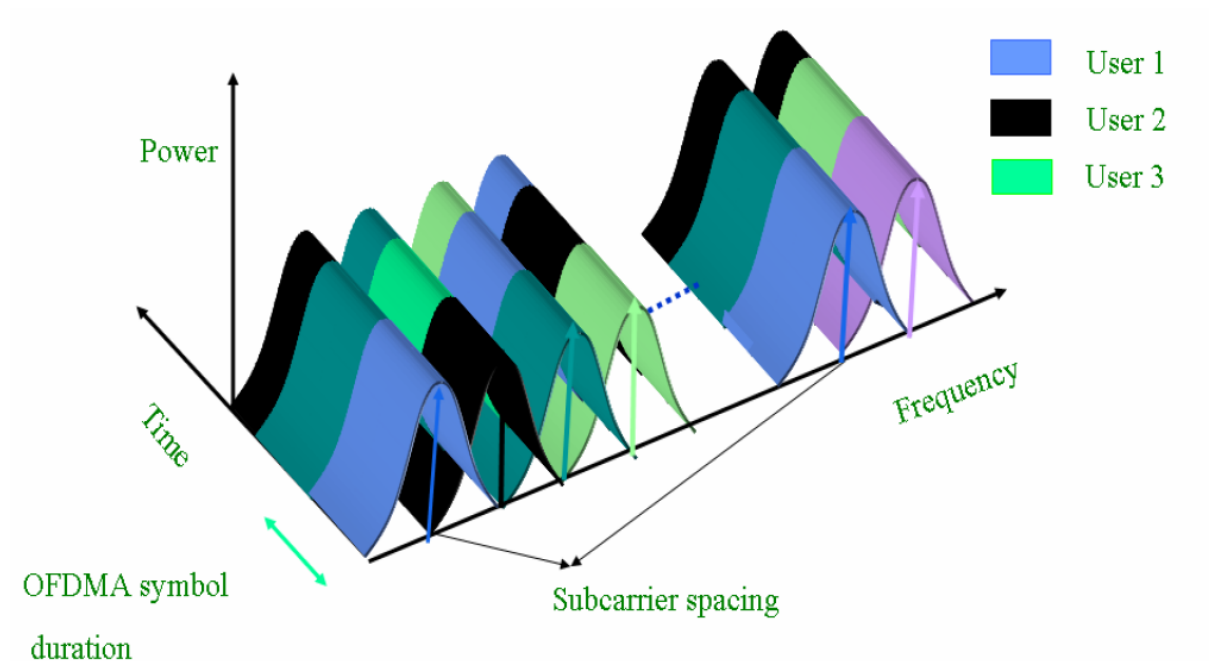
3.1.1 802.11 Wi-Fi

Wi-Fi står for Wireless Fidelity [22]. Wireless Fidelity er en organisasjon som sertifiserer utstyr brukt til trådløs kommunikasjon og som følger 802.11-standardene av Wireless Local Area Network (WLAN) til ISO [22]. Wi-Fi og WLAN blir brukt om hverandre, fordi de fleste WLAN følger 802.11-standardene og derfor kalles Wi-Fi.

802.11-standarden har mange videreføringer, de mest vanlige er a, b og g [22]. I tillegg er det flere standarder under utvikling, blant annet 802.11p som blir forklart under 4g-teknologier.

En viktig modulasjonsteknikk i 802.11 standardene, som benyttes av blant annet a og g, er Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM). OFDM deler data over et stort antall ”subcarriers”, som er atskilt med faste frekvenser slik at de er uavhengig og ikke relatert til hverandre, altså ortogonale [22]. Dataene er så delt i flere parallelle strømmer, en for hver subcarrier. Hver slik subcarrier er modulert med passende moduleringssteknikk som velges avhengig av støy og annen interferens. De mest effektive tåler minst støy. Slike moduleringssteknikker kan være varianter av for eksempel Quadrature Amplitude Modulation (QAM) og Phase Shift Key (PSK) [23]. Orthogonal Frequency Divisjon Multiple Access benytter seg av både frekvensdelt aksess ved å dele forskjellige OFDM subcarriers til forskjellige brukere, og tidsdelt, ved å forandre disse subcarrierne ettersom tiden går [23]. På denne måten kan flere brukere sende samtidig, og man kan oppnå høy overføringskapasitet for en bruker ved å gi denne flere subcarriers. Siden slike subcarriers kan endres dynamisk, kan man også se på det som en tidsdelt aksess. Figur 12 viser hvordan data fra forskjellige

brukere deles i subcarriers som er frekvensdelt, og at disse subcarrierne kan forandres etter som tiden går (tidsdelt). Man får sendt over hele frekvensbåndet og oppnår høy spektraleffektivitet [23].



Figur 12 - Hvordan OFDMA deler opp datastrømmer både frekvens- og tidsdelt, fra [23].

802.11a

Fordi 2,4 GHz båndet opplever mye interferens på grunn av høyt bruk, har man sett etter nye frekvensbånd [22]. 802.11a-standarden benytter seg av 5 GHz frekvensbåndet og kan gi opp til 54 Mbps. Standarden benytter seg av ortogonal frekvensdelt multiplexing (OFDM), slik at hver underkanal kan sende i parallell, noe som gir den teoretisk høye overføringshastigheten på 54Mbps [22].

802.11b

Dette er den mest utbredte standarden for Wi-Fi. Opererer på 2,4 GHz-båndet og kan gi datarater opp til 11Mbps [22]. Bruker Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS), som er en modulasjonsteknikk som deler signalet over hele spekteret ved en spredningskode. Signalet ser da ut som tilfeldig støy, til mottakeren bruker tilhørende de-spredningskode for å få ut "sitt" signal [22]. Dette er basisen for mange CDMA-teknikker som blir forklart under UMTS.

802.11g

Denne standarden gir datarater opp til 54Mbps og opererer på 2,4 GHz-båndet [22]. Benytter seg av både tidsdelt dupleks og frekvensdelt dupleks som dupleksteknikker, og Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) som 802.11a. Standarden er kompatibel med b standarden, og det er b og g som er mest utbredt i daglig bruk per i dag [22].

Mesh-nettverk

I et mesh-nettverk har minst en basestasjon tilknytning til fiber eller annen høykapasitetslink. Denne basestasjonen kalles ofte seed. I dekningsområdet til denne blir det satt opp flere basestasjoner, som kommuniserer med transportnettets via seed-noden [22]. Denne løsingen er mulig med Wi-Fi-teknologi og benyttes noen steder i Trådløse Trondheim [24]. Fordelen er at ikke alle basestasjoner trenger å være tilkoblet transportnettets, hvilket medfører lavere installasjonskostnader. Ulempen er at påliteligheten til slike nett er avhengig av at seed-noden er oppe. Man kan også bruke flere hopp med seed noder. I et Wi-Fi nett anbefales det maksimalt 8 hopp, mens Trådløse Trondheim har maks 3 hopp i sitt nett [24].

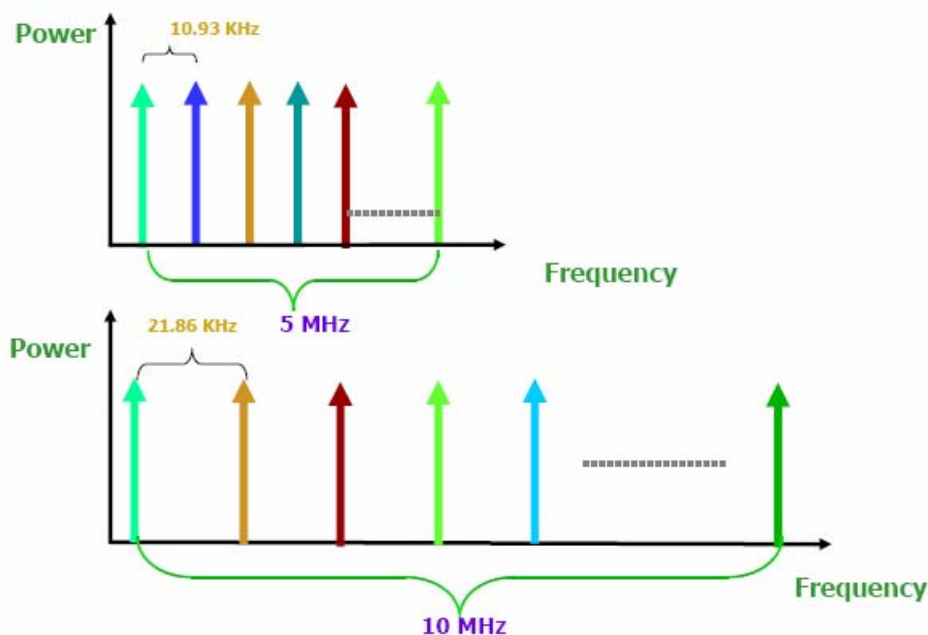
I resten av oppgaven vil jeg bruke Wi-Fi om både a, b og g standardene, da det meste Wi-Fi-utstyr som regel støtter alle disse tre delstandardene. Wi-Fi gir opp til 54Mbps (802.11g), støtter mobilitet opp til 160 km/t teoretisk og soft handover [21]. Forsinkelsen i Wi-Fi (802.11b og g) er rundt 50ms [21].

3.1.2 802.16 WiMAX

WiMAX står for Worldwide Interoperability for Microwave Access og defineres i Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) sin 802.16-standard [25]. 802.16 er en protokoll som fokuserer på trådløs teknologi for bredbåndsaksess. Alle WiMAX produkter skal levere en kapasitet på 40 Mbps per kanal. Denne kapasiteten er delt mellom flere brukere [25].

WiMAX ble opprettet av WiMAX Forum [25]. Arbeidsgruppen som arbeider med denne standarden ble startet i 1999. I første omgang var målet å lage høyhastighetsoverføringer der man hadde line of sight (LOS) for å unngå å legge fiber eller andre kabler der det var for komplekst eller kostbart [22]. Disse standardene kalles fixed WiMAX, og er spesifisert i 802.16 a og d [22]. Senere fokuserte de også på non line of sight (NLOS), og i 2005 ble mobil WiMAX 802.16e godkjent som tilbyder av lav-mobilitet, dette vil si under 60 km/t og

muligheten for overføring der det er NLOS. Forskjellig moduleringsform avhengig av hvor sterkt og rent signalet er gjør at forskjellig overføringshastighet kan oppnås ved forskjellige hastigheter på terminalen. I likhet med Wi-Fi benytter WiMAX seg av OFDMA. WiMAX bruker en utvidelse av vanlig OFDMA som kalles Skalerbar OFDMA (SOFDMA). Frekvensene som er avsatt til WiMAX kan variere fra land til land, alt fra 1,25 MHz til 20 MHz bredde på kanalene [23]. I Norge har de auksjonerte frekvensene en kanalbredde på 10 MHz [26]. Dette betyr at bredden på en subcarrier vil variere fra sted til sted, om man ønsker samme antall subcarriers ved 1,25 MHz bruk som ved 10 MHz. Dette er vist i figur 13.



Figur 13 - Bredden mellom sub-carriers kan variere avhengig av kanalbredde, fra [23].

For å unngå at det må forskjellig hardware til for forskjellige kanalbredder, er det i skalerbart OFDMA satt faste avstander mellom sub-carrierne, slik at antall subcarrier vil variere med bredden på kanalen, fra 128 i en 1,25 MHz-kanal til 2048 i en 20 MHz-kanal, og 1024 i 10 MHz-kanaler som brukes i Norge. På denne måten kan operatører dynamisk dele opp spekteret sitt i kanaler med ønsket bredde, noe som gjør at WiMAX skalerer bra. WiMAX kan benytte både frekvensdelt, og tidsdelt duplex, men hovedfokuset er tidsdelt [25].

WiMAX har en cellestørrelse på 3-10 km [21]. Kapasitetene synker med økt avstand til basestasjonen. I en radius på 3 km forventes WiMAX å gi opptil 15 Mbps, når kanaler på 5 MHz brukes, og mobilitet på 120-150 km/t [21]. Reell hastighet til sluttbruker vil typisk være

1-5 Mbps, avhengig av ISP. Den stasjonære versjonen av WiMAX (802.16d) støtter en optimert hard handover, mens mobil WiMAX (802.16e) støtter soft handover [27]. Siden ITS systemer er avhengig av mobilitet, vil manes mobil WiMAX når WiMAX blir nevnt i resten av oppgaven, med mindre det spesifikt står stasjonær WiMAX. Det arbeides med mesh-nettverkløsninger for WiMAX også, men disse er enda ikke kommersielle [24].

En lovende utvidelse i forbindelse med WiMAX er muligheten for Multiple in – Multiple out (MIMO) operasjoner [25]. Dette er en teknologi som mange anser som en inngangsport til 4g fordi det kan oppnås høye overføringshastigheter. Prinsippet er at man har flere antenner både ved sender og mottaker. Da kan signalene sendes samtidig, og man er avhengig av at signalet propagerer forskjellig fra de forskjellige antennene, for å få en høyere overføringshastighet [25]. Man utnytter altså refleksjonen fra omgivelsene til noe positivt. Rent praktisk er det flere utfordringer knyttet til utnyttelsen av MIMO-teknikken. Avstanden mellom antennene har vist seg å måtte være minst en halv bølgelengde fra hverandre. For 3,5 GHz båndet her frekvensene rundt 85 med mer bølgelengde, det betyr at antennene må plasseres med minst 42,2 mm avstand. For små brukerterminaler vil dette være en utfordring. Et annet alternativ er da Single in- Multiple out (SIMO), som tillater at senderen, typisk en basestasjon, kan sende ved hjelp av flere antenner, og at mottaker bare trenger en. Da vil nedhastigheten bli bedre og man unngår problemene med at mottakerantennene må ha en viss avstand. Disse antennteknikkene kan også utnyttes av andre overføringsteknologier. De WiMAX stasjonene som er på markedet i dag kan kjøre både SIMO- og MIMO-teknikkene avhengig av antenner og software [25].

Frekvenstillatelser

I utgangspunktet kan WiMAX fungere på en hvilken som helst frekvens under 66GHz, og det er ikke noe globalt lisensiert spektrum. For å begrense kompleksiteten og kostnaden opererer WiMAX forum med spektrum mellom 2 og 11GHz, og da spesielt 2,3-2,7 , 3,4-3,6 samt 5,8 GHz spektrum [25]. Det er blitt avholdt auksjoner av Post- og teletilsynet på 3,5 , 2,3 , 2,6 og 2GHz båndene [26]. Dette betyr at bruken av disse frekvensene er begrenset til de som har kjøpt lisensene. Det er de største teleoperatørene som har sikret seg flest frekvenser, slik som Telenor Netcom og Nextgentel. I disse auksjonene ble Norge delt opp i 5 regioner, slik at man kunne by på frekvenser i de forskjellige regionene og ikke nasjonalt [26].

3.1.4 2g GSM

Global System for Mobile Communications (GSM) er et mobilsystem som ETSI og Confederation of European Posts and Telecommunications (CEPT) begynte å arbeide med i 1982 [20]. Det kalles andre generasjon fordi det beskriver overgangen fra analog (1g) til digital mobilkommunikasjon. Frekvensbåndene som er satt av til GSM varierer i forskjellige land, og i Norge brukes 900MHz og 1800MHz-båndene. GSM har hovedfokus på tale. Rekkevidden til en basestasjon er rundt 35 kilometer i 900 MHz-båndet, og betydelig kortere i 1800 MHz-båndet. Multiplexingen er tidsdelt, dette betyr at hver sender får tidluker tildelt og kan da sende over hele frekvensen. GSM tilbyr også enkelte dataoverføringer, som SMS og WAP, og gir overføringshastigheter på 38,4 Kbps [20].

GSM-R bygger på GSM og er spesielt utviklet for tog (R står for Rail) [28]. I Norge er GSM-R bygd ut langs de fleste toglinjene og brukes som kommunikasjon mellom tog og sentral. Det er også mulig at GSM-R vil tilby internett for passasjerer [28].

3.1.5. 2,5g

2,5g beskriver overgangen fra å være et system som fokuserer så å si bare på tale, til å gå over til å yte bedre dataoverføringer [20]. General Packet Radio Service (GPRS) er en standard for pakkesvitsjet dataoverføring over GSM-nettet. Dette ble tatt i kommersielt bruk i 2000. Overføringshastigheten er teoretisk 171,2 Kbps, men på grunn av praktiske begrensinger som propagasjon og støy er vanligvis hastigheten under 40 Kbps. Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) er enda en videreutvikling i GSM-nettet som kan støtte overføringer opp mot 384 Kbps teoretisk. I likehet med GSM benytter EDGE seg av tidsdelt multiplexing [20].

3.1.6. 3g – IMT 2000

Tredjegerasjons mobilsystemer tvang seg fram for å tilfredsstillere kravene som Internett-standardene ga. Målet var å få høyere dataoverføringer i det mobilt trådløst nett. 3g er definert av Internasjonal Telecommunications Union (ITU) gjennom spesifikasjonen Internasjonal Mobile Telecommunications 2000 (IMT-2000) [29]. IMT-2000 er en radio og nettaksess spesifikasjon som definerer flere metoder eller teknologiske plattformer som samsvarer med de overordnede målene til spesifikasjonen. IMT-2000 er ment som en paraplyspesifikasjon som samler alle teknologier som samsvarer med den under begrepet 3g [29]. Begrepet 3g er derfor vanskelig å definere enkelt, ettersom 3g inneholder flere teknologier, og noen som enda

ikke er blitt realisert. IMT-2000 kan derfor beskrives som en referanse til flere teknologier som dekker mange frekvensbånd, kanalbredde, og moduleringsteknikker.

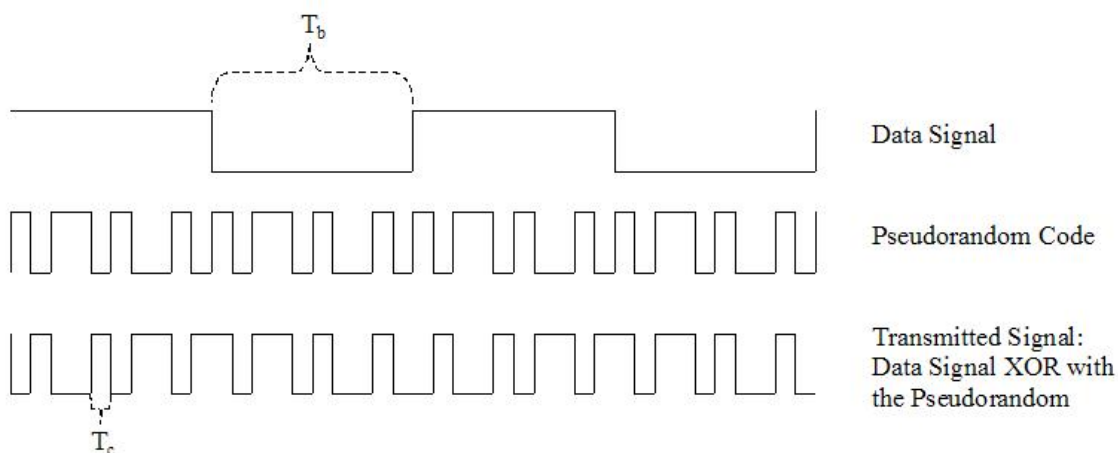
Ingen enkelt 3g infrastruktur, teknologi eller applikasjon finnes. 3g er brukt om mobile og stasjonære trådløse applikasjoner som har høy dataoverføringskapasitet og som kan kommunisere over IP. IMT-2000 spesifiserer overføringshastighet på 144kbps i kjørende hastighet, 384 Kbps for utendørs bruk, og 2 Mbps innendørs [30].

Etter at ITU definerte IMT-2000, fulgte både European Telecommunications Standards Institute (ETSI), arbeidsgrupper i Japan og Korea opp med å justere sine ideer til å passe inn under IMT-2000 [29]. Etersom flere grupper arbeidet med til dels like løsninger, slo de seg sammen til Third Generation Partnership Project (3GPP) og Third Generation Partnership Project 2 (3GPP2). 3GPP jobber med UMTS, som er basert på WCDMA, og 3GPP2 jobber med CDMA2000.

3.1.7 UMTS

UMTS er en videreutvikling av GSM for å støtte 3g-kapasiteten som er definert i IMT-2000 [29]. UMTS inkluderer to luft-interface der begge bruker Direct Sequence Wideband Code Division Multiple Access (DS-WCDMA eller bare WCDMA).

DS-WCDMA sprer signalet over et bredere bånd ved å multiplisere signalet med en spredningskode [29]. Bitene som spredningskoden består av kalles ofte for chips.



Figur 14 - En kode med rask chip-rate legges til det opprinnelige signalet før det sendes, fra [31].

Som figur 14 viser blir signalet som har en relativt lang bit-varighet, spredt over et signal med kortere bitrate, noe som er en viktig funksjon for å redusere støy. Når flere brukere sender samtidig på samme frekvens, vil datastrømmen fra hver bruker bli spredt med forskjellige kode-strømmer. På mottakersiden blir det opprinnelige signalet gjenvunnet ved å bruke den samme koden som spredte signalet. Dette signalet vil ha støy fra de andre brukerne som sendte samtidig. Overføringskapasiteten i et WCDMA-system vil være avhengig av hvor mye støy det er i signalet som skal gjenvinnes. Fordi chip-raten er mye høyere enn bit-raten til det opprinnelige signalet vil støyen være liten så lenge antall brukere er lite. Ved mange brukere vil støyen bli betraktelig, og dette er flaskehalsen i et WCDMA-system. Hvor høy chip-ratene er kalles ofte for spredningsfaktoren, og denne faktoren påvirker muligheten til å gjenvinne det opprinnelige signalet. I dette systemet kan spredningsfaktoren endres etter behov og dynamisk til hver bruker, slik at WCDMA kan tilby båndbredde "on demand". Dette gjør at det skalerer bra og kan tilby mange brukere lav båndbredde om det er ønskelig. UMTS benytter seg av frekvensdelt duplex [29].

UMTS støtter både hard og soft handover, noe som er viktig i mobile systemer der brukerterminalene beveger seg i høye hastigheter [29]. I Europa er det satt et mål om en overføringshastighet på 384 Kbps nedlink og 64 Kbps opplink. Etter at WCDMA kom i 1999, er det kommet forbedringer for å øke overføringshastighet. High speed Downlink Packet Data (HSDPA) og High speed Uplink Packet Data (HSUPA) gjør dette. HSDPA kom i release 5 mens HSUPA er en del av release 6 [29]. HSDPA er en løsning som forbedrer WCDMA's gjennomstrømming til et teoretisk 14,4 Mbps i ned-linken. Hovedgrunnen til denne forbedringen ligger i moduleringsteknikkene, som er mer effektive samtidig som de forandres etter hvor langt unna signalet kommer fra. Er signalet nærme, kan man bruke en "raskere" moduleringsteknikk fordi propagasjonsforsinkelsen og støyen er liten. Er man langt unna, vil signalet avta i styrke og også bli mindre tydelig, noe som krever en mer omstendelig moduleringsteknikk. Dette er grunnen til at hastighetene vil varieres ut fra avstand, andre brukere og hindringer for signalet til basestasjonen [29].

HSUPA er opp-link forbedringen som følger samme fotspor som ned-link-protokollen. Den tillater opp-link hastigheter på teoretisk 1,4 Mbps, med fremtidig mål om 5,76 Mbps. HSUPA er fortsatt under konstruksjon og vil bli inkludert i release 6 som skal komme i nærmeste framtid [29]. En av hovedforbedringene er en utvidelse til flere kanaler, blant annet Enhanced

Dedicated Channels (E-DCHs), som øker overføringshastigheten fordi den tillater kortere intervaller mellom overføringer [29]. Mens UMTS støtter soft handover mellom UMTS-celler, gjør ikke HSDPA det, her er bare hard handover støttet [29]. Cellene til en slik basestasjon kan være fra 1 km opp til 50km, men for å bruke minst mulig båndbredde, støtter den ikke soft handover, men i stedet en optimalisert hard handover som gjøres på veldig kort tid.

HSDPA og HSUPA blir ofte kalt turbo-3g, og en samlebetegnelse for de to teknikkene er HSPA [21]. Det kreves en oppgradering av basestasjoner for å få den nevnte hastigheten.

Mobiliteten som tillates vil virke inn på overføringshastigheten på grunn av bruk av mer komplekse moduleringssteknikker ved høyere hastighet.

500 km/t	144 Kbps
100 km/t	384 Kbps
10 km/t	2 Mbps

Tabell 1 – Overføringshastigheter (ned-link) for UMTS ved bevegelse, fra [21].

Tabell 1 viser overføringshastighetene som kan oppnås ved UMTS i bevegelse, fra 144 Kbps ved 500 km/t til 2 Mbps ved 10 km/t [21]. Forsinkelsen til dataoverføringer ved UMTS er på rundt 500 ms [21].

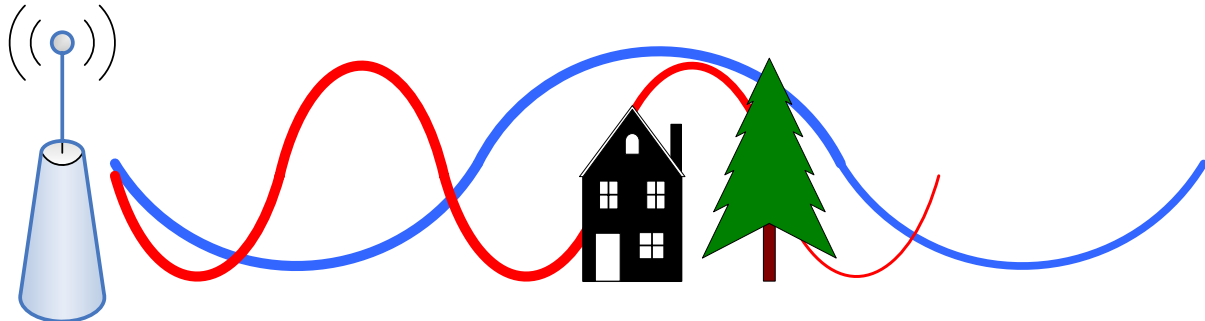
I Norge er UMTS bygd ut av i hovedsak Telenor og Netcom. Telenor har best dekning og over 80 % av Norges befolkning sies å ha 3g dekning [32]. Dette tilsvarer kun 12,8 % av landarealet slik at det fortsatt er store deler av Norge uten slik dekning [13]. Siden UMTS er kompatibel med GSM vil man automatisk gå over til GSM hvis man kommer utenfor UMTS-sonen [32]. Dette vil, om man har en overføring i gang, medføre hard handover [29]. Turbo-3g er bygd ut i de største byene og de mest populære vintersportsstedene [33], men fortsatt betydelig mindre utbygd enn vanlig UMTS.

UMTS er også frekvensbelagt av Post- og teletilsynet, og på samme måte som for WiMAX var det auksjoner for å få rettigheten til å sende på frekvensene som er satt av til UMTS.

Frekvensbåndet for UMTS er i Norge på 2,1 GHz-båndet [26].

3.1.8 CDMA2000 og CDMA 450MHz

Før 1995 ble 450MHz nettet i Norge brukt av NMT-nettet. På grunn av den lave frekvensen, og dermed høye bølgelengde er rekkevidden på denne frekvensen stor.



Figur 15 - Forenklet framstilling som viser hvordan lange bølgelengder har lang rekkevidde. Størrelsesforhold på objektene og bølgene er ikke reelle.

Figur 15 viser hvordan korte bølgelengder treffer flere objekter i landskapet og dermed reduserer styrken sin mer enn signal med lengre bølgelengde og høyere frekvens.

Code Division Multiple Access (CDMA) 450MHz (CDMA450) følger CDMA2000-standarden som er laget av 3GPP2 for bruk i 2000MHz-båndet [30]. CDMA bruker koding for å identifisere riktig signal fra eller til en bruker, mens alle andre signaler tolkes som støy [34]. Selv om både UMTS og CDMA2000 benytter seg av CDMA-teknikker, er disse forskjellige og ikke kompatible [29]. Likevel er prinsippene som forklart under UMTS de samme. CDMA lar basestasjonen sende kontinuerlig over hele frekvensspekteret. Dette resulterer i høy kapasitet i forhold til ressursene, men samtidig skaper det problemer med interferens hvis det er mange brukere. Dette løses til en viss grad med avanserte tekniske løsninger. CDMA2000 benytter seg i likhet med UMTS av frekvensdelt duplex [30].

CDMA brukes mye i USA som 3G på 2GHz-båndet, og benytter frekvensen 450MHz i Norge [30]. Frekvensen gjør at den bedre følger topografien og går inn i og rundt daler, tunneler og fjell. I Norge er det Nordisk mobiltelefon AB som overtok 450MHz frekvensene etter det gamle NMT nettet, og har den siste tiden oppgradert til et tilnærmet landsdekkende 3G mobilnettverk. Vanlige telefoner støtter ikke CDMA, men telefontjenester er heller ikke målsettingen. Datterselskapet til Nordisk Mobiltelefon AB, ICE tilbyr bredbåndstilknytting i

Norge med CDMA2000 på 450MHz-båndet. Nedlastningen som tilbys er fra 300Kbps til 2Mbps, med teoretisk maksimal hastighet på 17,7 Mbps ned og 5,4 Mbps opp. CDMA2000 støtter soft handover [30].

En videreutvikling av CDMA2000 er 1xEV-DO-standarden [30]. Det er flere revisjoner av denne standarden og det lages stadig ny funksjonalitet for å utvikle standarden videre. ICE i Norge bruker i dag Revisjon A som reduserer forsinkelser ned til 50ms og hastighet nedlink på 3,1Mbps og opplink på 1,8Mbps. Revisjon B kalles også 3xEV-DO og er antatt å komme i 2009 [30].

3.1.9 Radiolinker

Radiolinker er stasjonære stasjoner som sender radiosignal til en mottaker [35]. De kan brukes til å overføre data med høye hastigheter og kan være et alternativ til å mate aksesspunkt trådløst, i stedet for med kabel. De kan brukes på samme måte som WiMAX for å gi for eksempel Wi-Fi punkter tilgang til transportnettet. Det finnes både punkt til punkt linker og punkt til multipunkt linker, og både proprietære løsninger og løsninger som følger standarder gitt av de store standardiseringsorganisasjonene (ISO, ETSI, IEEE) [35].

3.1.10 4g og Neste Generasjons Nett

I dag er 2,5g og 3g to viktige nettverk innen telekommunikasjon. Samtidig snakkes det om 4-generasjons og neste-generasjons-nett (NGN) blant teleoperatører og i forskningsmiljø. Det er vanskelig å finne en enkel definisjon på hva 4g er. Ofte setter man økt båndbredde og økt mobilitet som krav til 4g [36].

Fjerde generasjon skal ikke være ett enkelt nett men fungere som en bro mellom flere underliggende teknologier som danner trådløst nett [29]. IP Multimedia Services (IMS) er en arkitektur som benytter seg av IP som transportelement, og det de kaller 4g-teknologier i aksessnettet. Hovedmålet til IMS er å gi mulighet for IP-tjenester ved bruk av eksisterende teknologier som GSM, GPRS, CDMA2000 og UMTS. Det kan sees på som en plattform som skal gjøre det mulig med sømløs brukeopplevelse på tvers av alle forskjellige nett som brukes [29].

MBWA

802.20 Mobil Broadband Wireless Access (MBWA) er en standard som ble godkjent av IEEE i 2005, men fortsatt blir den modifisert [4]. Denne standarden er i hovedsak bygd opp som 802.16 standardene (WiMAX), men opererer i 3,5GHz-spekteret med optimal hastighet på 1Mbps per bruker, og på rekkevidder innenfor 15km [4]. Standarden skal støtte hastigheter på opptil 250km/t. Dette er en ny standard som det finns lite utstyr av på markedet.

Selv om 802.16e og 802.20 "ligner" og styres av IEEE, er det noen forskjeller mellom de to. 802.16e har som hovedfokus gjennomstrømming, men 802.20 fokuserer på mobilitet, og blir sett på som en mellomting mellom WiMAX og 3g i ytelse og rekkevidde [21].

Long Term Evolution (LTE)

LTE er en videreutvikling av UMTS av arbeidsgruppen 3GPP. Målene for gruppa er nedlinks overføringshastighet på 100 Mbps og 50 Mbps på opplink, samt forbedringer på de fleste andre områder, blant annet forsinkelse [37]. Her vil OFDMA tas i bruk som et ny teknikk sammen med andre løsninger for å øke spektraleffektiviteten, som smarte antenner (MIMO). Løsningen vil være kompatibel med UMTS og GSM, og er ventet å taes i bruk i 2009 [38].

Ultra Mobile Broadband (UMB)

UMB er en framtidigstandard som blir sett på som overgangen til 4g innefor CDMA2000 og arbeidsgruppen 3GPP2 [30]. Denne vil også støtte OFDMA, i tillegg til å være kompatibel med tidligere CDMA2000 versjoner. UMB vil trolig bli standardisert i 2008 og i kommersiell bruk i 2010. Overføringshastigheten vil være i området 64 – 288 Mbps ved nedlasting og 17-75 Mbps ved opplasting [30].

802.11p WAVE

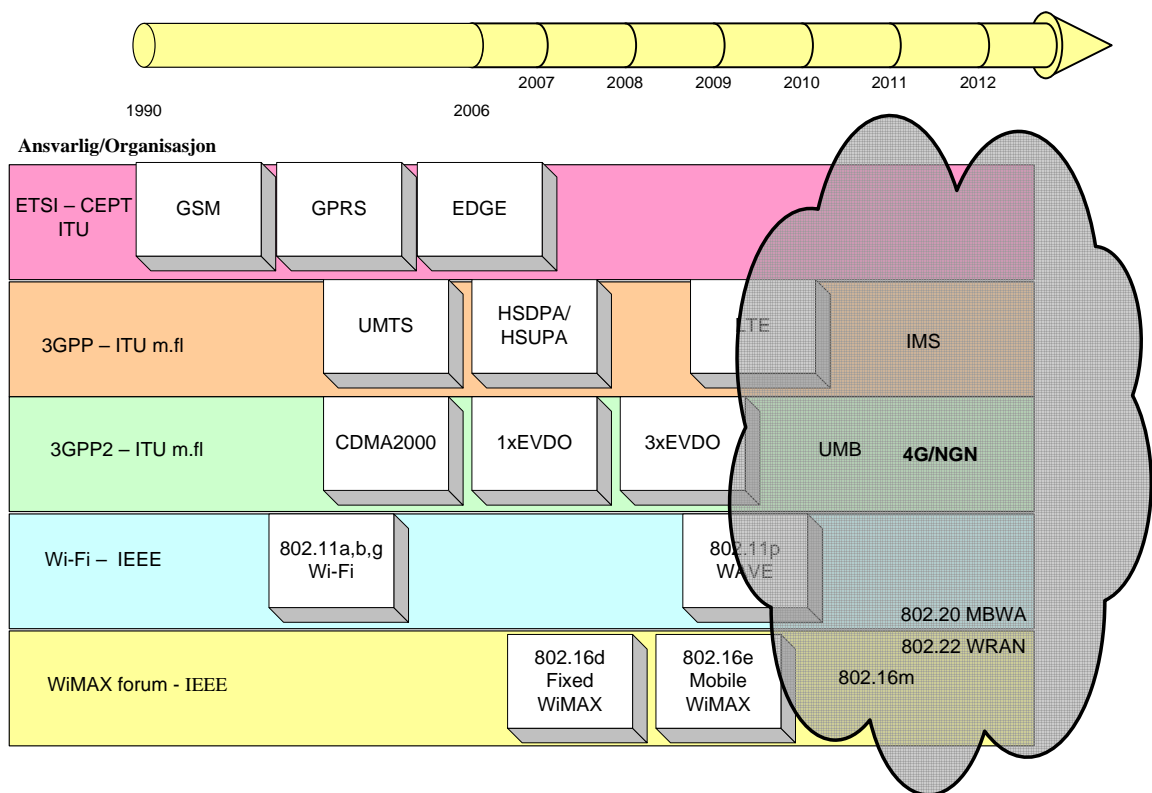
802.11p er en standard i Wi-Fi-familien som er spesielt tilpasset at brukerne beveger seg i høye hastigheter, slik som et kjøretøy på veien [16]. Målet var å utvikle en standard som gir overføringshastigheter på minst 6 Mbps for bevegelser opp mot 200km/t. Rekkevidden i fri sikt skal være opp mot 1000meter. Standarden er fremdeles under utvikling og forventes ferdig i 2009. Den skal også inneholde mer sofistikerte handoff-rutiner som på grunn av farten og retningen på terminalen kan "forutsi" hvor brukeren er på vei til. WAVE står for Wireless Access in the Vehicular Enviroment. Som både a og g standardene i 802.11-familien benytter den seg av OFDMA [16].

802.22 Wireless Regional Area Network (WRAN)

WRAN skal bruke lavfrekvenser mellom 54 og 862 MHz, og OFDMA og skal ha lang rekkevidde 30 kilometer med teoretisk maksimum rundt 19 MBps [39]. Dette er en IEEE-standard som skal ha lang rekkevidde for å dekke områder andre teknologier som WiMAX ikke har rekkevidde til IEEE.

802.16m Videreutvikling av WiMAX

Innenfor WiMAX arbeides det med flere forbedringer, og en forbedring av mobil WiMAX skal komme i standarden 802.16m [25]. Hastigheten som oppnås er ikke helt fastsatt. Standarden forventes og være klar i 2009, og flere anser den som en 4g-teknologi [25].



Figur 16 - Forenklet framstilling av overføringsteknologienes utvikling.

Figur 16 oppsummerer gjennomgangen i dette kapittelet, som viser hvordan overføringsteknologiene har utviklet seg, og inngangen til 4g.

Andre mener overgangen til 4g kan sees på som en overgang mellom stasjonært bredbånd til personlig bredbånd [40] [41]. Med personlig bredbånd menes at en person kan være på nett uavhengig av hvor vedkommende er, og at personen bare trenger ett abonnement. Nå kan man for eksempel ha bredbånd hjemme, et annet på hytta og andre når man er ute og reiser. En slik overgang byr på store utfordringer både teknologisk og forretningmessig. Det er som regel forskjellige eiere av nettene og disse må samarbeide og finne avtaler seg imellom for fordeling av inntekten [41].

3.2 Trådbasert overføring for distribusjonsnett

Selv om den siste overgangen fra et nett til et kjøretøy må være trådløst, kan distribusjonen av nettet ut til aksesspunktene være trådbasert. Hvilken løsning som brukes for å koble til transportnettet er viktig både med tanke på overføringshastighet og kostnader ved en utbygging.

3.2.1 Optisk fiber

Fordelen med optisk fiber i forhold til andre trådbaserte medier er høy båndbredde, lang rekkevidde og forbedret sikkerhet. Ulempen er kostnadene. Optiske fiber deles i to hovedgrupper, multimodus og singelmodus fiber [42].

I en multimodus fiber kan lyset gå flere veier, mens i singelmodus er glasskjernen så smal at lyset (fotonene) bare kan bevege seg langs den samme banen. Multimodus kan gi ca 1 Gb/s overføringshastighet per kanal over noen hundre meter. Denne er enklere og billigere å skjøte enn singelmodus, og brukes ofte i interne nettverk. For å øke rekkevidden kan man koble på en regenerator. Singelmodus fiber kan støtte hastigheter opp mot 40 Gb/s over mange kilometer. Det fins forskjellige multiplexingteknikker som er med på å bestemme antall kanaler. Enkelte teknikker er veldig dyre fordi de krever komplekse løsninger i mottak av signalet, men disse gir mange kanaler og høy overføringshastighet for mange, mens andre er forholdsvis enkle og rimelige [42].

De to vanligste teknikkene er optisk frekvensmultiplexing og optisk tidsmultiplexing [42]. I optisk frekvensmultiplexing brukes hver av de forskjellige frekvensintervallene som egne transmisjonskanaler. På denne måten kan signalraten bli opp mot 50Tb/s, rent teoretisk. Jo

flere kanaler man ønsker, jo mer frekvensømfintlig utstyr trengs for å skille frekvensene fra hverandre, og dette blir dyrt. Det vanligste i dagens løsninger er 16 eller 32 frekvensintervall, noe som gir overføringsrate på hhv. 640Gb/s og 1,28Tb/s [42].

Optisk tidsmultiplexing (OTDM) er stort sett lik annen tidsmultiplexing ved å kombinere flere signal til ett. Den høyeste overføringshastigheten som er oppnådd ved hjelp av OTDM er 1,28 Tb/s.

I dag benyttes mest singelmodus fiber [42]. Optiske nettverk kan ha enten en passiv struktur, eller en aktiv struktur. Denne oppgaven vil ikke gi en dyp gjennomgang av fiberteknologier, da hovedfokuset er aksessteknologier. Kostnadsoverslag viser at forskjellen mellom passive og aktive nett er på rundt 10 %, slik at det ikke gjør de store utslagen i de videre estimatene hvilken teknikk som velges [42].

3.2.2 Kobber/DSL

Tvinnede kobberkabler er den til nå mest brukte trådbaserte teknologien for internett [43]. Dette er fordi den er rimelig og ofte ligger nedgravd fra før i forbindelse med telefonlinjer, slik at den kan utnyttes til nye formål. Disse teknologiene kalles ofte xDSL (Digital Subscriber Line), og kan gi overføringshastigheter som tilfredsstillende bredbånd. Likevel har teknologien liten rekkevidde, da hastigheten som kan oppnås avtar raskt for hver hundrede meter. I en utbygging av ITS som er basert på tråd vil derfor fiber være fremtiden og det som bør bygges. Det kan likevel være steder hvor det vil være hensiktsmessig å benytte tvinnede kabler som er nedgravd fra før. Hastigheten som oppnås kan være fra 7 MBit/s i Asymmetric Digital Subscriber Line (ADSL) til de nyere standarden som kan gi opptil 100 MBit/p som i Very high speed Digital Subscriber Line2 (VDSL2), men dette bare over en avstand på 400 meter [43].

3.2.3 Kommunikasjon over strømledning

Kommunikasjon over strømledning (Power Line Communication-PLC) en relativt ny teknologi som har stort potensial, men også flere usikkerhetsmoment [13]. Strømkabler som allerede er lagt kan benyttes for også å sende signaler, og i teorien kan hastigheter på over 1 Gbit/s duplex oppnås [13]. Et av de store problemene med strømledningene er interferens. Siden ledningen ikke er tvunnet eller tilstrekkelig isolert fra omverdenen, vil den fungere som

en antenne og forstyrre og bli forstyrret av andre radiosignal i nærheten. Per i dag er det heller ingen internasjonal standard som er rådende, selv om Open PLC European Research Alliance – OPERA, tar sikte på å samle og standardisere de forskjellige teknologiene for kommunikasjon over strømledning til en felles europeisk plan [13].

Til distribusjonsnett er det som vi ser flere alternativer. I teorien har fiber det høyeste potensialet, og de fleste anser at i fremtiden vil fiber ligge nedgravet stort sett over alt det folk bor. Å utvide dette til stamveier vil også være realistisk. Fordelen med utbygging langs vei er at veien allerede er der, slik at gravingen går uten store tilleggskostnader fordi grunnarbeidet til veien er gjort. Enkelte steder vil det være lønnsomt å bruke radiobølger som distribusjonsnett. Ved øde veistrekninger der det ikke ligger fiber fra før vil radiobasert tilknytting til transportnett være gunstig [13]. Forskjellen på radiolink og WiMAX er stort sett kompleksiteten. En radiolink sender kun signalet over den gitte strekningen mens WiMAX er en hel standard som også kan støtte mange andre muligheter som handoff, mobilitet, QoS med mer. I den videre oppgaven vil det bli lagt vekt på CALM M5-mediene, altså aksessnett. Hvilket distribusjonsnett som bør brukes vil også nevnes, men det blir ikke gått like detaljert inn på dette som aksessnetsteknologiene.

4 Kostnader ved utbygging av ITS

Økonomiske kjennetegn ved IKT bransjen er at initialkostnadene som infrastruktur er svært kostbare om de skal dekke store områder, mens videre drift er lavere [4]. Kostnadene kan deles opp i investeringskostnader (Capital expenses – CAPEX) og driftskostnader (Operating expenses - OPEX) [4].

Investeringskostnader vil omfatte:

- Etablering av infrastruktur: langs dagens veier er det stor forskjell i eksisterende infrastruktur [5]. Nyere veier har nedlagt strøm og kabler med plass til å legge andre ledninger som fiber for nettaksess. Eldre veier har kun strøm fram til lyktestolpene. Disse er i midlertidig ikke helt problemfrie å bruke, da av og påslåing av lyset gjøres ved å kutte koblingen ved en sentral, slik at det ikke er strømtilførsel på dagtid til denne infrastrukturen. Noen veier mangler også lyktestolper totalt og har ingen infrastruktur. Basert på området som ønskes utbygd, vil investeringskostnadene variere mye. Graving og legging av kabel blir fort meget dyrt når det er snakk om over så lange avstander som langs vei [1].
- Investering i instrumentering: her er det mulig å skille mellom investering i basis instrumentering, det vil si instrumentering som ville bli gjort uavhengig av annen utbygging, som variable skilt og flere signalanlegg som kommuniserer med veitrafikksentralen. Den andre delen er instrumentering for forskning, utvikling og prosjektvirksomhet. Disse vil være avhengig av hvilken funksjonalitet som ønskes, og vil typisk kunne følge en utvikling som figur 2 viser.

Driftskostnader vil omfatte løpende utgifter for vedlikehold, arbeidskostnader og reparasjoner med mer [4]. I store utbygginger blir driftskostnaden ofte estimert til en prosentandel av investeringskostnader [4].

Det er vanskelig å finne lignende utbygginger å sammenligne med fordi økonomi ofte ikke offentliggjøres i detalj. For å finne realistiske tall kan man sammenligne med utbygging av Trådløse Trondheim og test site Sweden. Test site Sverige oppgir at de har en statlig støtte på opp til 32 millioner svenske kroner, forutsatt at det private næringsliv går inn med tilsvarene. Altså en ramme på rundt 64 millioner svenske kroner [44].

Videre i oppgaven velger jeg å dele kostnaden til en utbygging opp i fem deler.

Utstyr: Utstyr vil si basestasjonene for den valgte teknologien, inkludert antenner, svitsjer, konvertere, sentralsystem, fysiske servere, samt software for å styre og overvåke tilstanden i nettet. Et sentralsystem kan ha mange komponenter som i et 3g-nett, eller ha få som i et Wi-Fi-nett. Uansett vil kostnadene til sentralsystemet være betydelig når utbyggingen gjelder et begrenset område, det er derfor viktig å ta med disse, og ikke bare se på kostnadene til basestasjonene.

Spektrum: Som nevnt i kapittel 3 er spektra som brukes av WiMAX og 3g auksjonert bort og om en annen aktør ønsker og bruke disse teknologiene, må frekvensene enten kjøpes eller leies av de som har kjøpt rettighetene. Trådløse Trondheim skal leie frekvenser av NextNet for å sette opp en WiMAX basestasjon sommeren 2008 [45].

Infrastruktur: Med infrastruktur menes alle kostnader som kommer i tillegg til det konkrete utstyret. Dette innebærer kostnader til strømforsyning, egne tårn der basestasjonene skal monteres og eventuelt tillatelser for å sette opp basestasjoner på ønsket sted.

Tilknytning til transportnettet: Tilknytning til kjernenettet kan gjøres ved leide linjer, noe som resulterer i løpende leieutgifter, eller ved å legge kabler til en fibernode i kjernenettet, som medfører store engangsutgifter (CAPEX). Uansett hvilken framgangsmåte som velges, må tilknytningen være skalert i forhold til basestasjonenes kapasitet, og den kapasitet man ønsker å tilby. Enkelte steder vil derfor denne tilknytningen være større enn andre, for eksempel i tettbebygd strøk med mange potensielle brukere samtidig, enn på avsidesliggende veier.

Planlegging og drift: Innenfor planlegging kan det være til dels store kostnader. Trådløse Trondheim estimerer omtrent 25 000 per site i planlegging til Wi-Fi og mer arbeid ved WiMAX [24]. Dette innebærer simulering av radiosignalpropagasjon, nettverksoppbygging, trafikkberegninger og bestemmelse av hvor basestasjonen skal være. Drift blir ofte anslått til å være mellom 5 og 10 % av investeringskostnadene i aksessnettet [46]. I denne oppgaven antar jeg driftskostnader på 10 % av kostnadene til aksessnettet.

Kostnadene vil altså omfatte en del investeringskostnader, og en del løpende årlige utgifter som drift og eventuell leie av spektrum. For å finne en totalpris på investeringskostnader, og drift i en 10-årsperiode, blir nåverdimetoden brukt. Nåverdimetoden er en måte å fastsette kostnader til den verdien de vil ha i dag. Det er redegjort mer om nåverdimetoden i Appendiks D.

5 utfordringer ved utbygging av ITS

Dette kapitlet beskriver en del utfordringer som må taes i betraktning ved en eventuell utbygging at infrastruktur til ITS som et nett langs vei. Noen punkter er globale problemer som er like over hele verden, mens enkelte er av mer nasjonal karakter.

5.1 Geografi og demografi

Norge har et langstrakt og varierende landskap som må taes hensyn til når man eventuelt bygger ut ITS. Signalene fra et nettverk langs veiene blir betydelig svekket av fjell, daler og tunneler. Spesielt Wi-Fi, WiMAX og UMTS som bruker en bølgelengde på GHz-nivå, vil få betydelig lavere rekkevidde ved ujevnt landskap. CDMA450 som opererer på 450Mhz-bølgelengde har en bedre utbredelse i slikt terreng.

Norge er i tillegg stort på areal i forhold til befolkning sammenlignet med mange andre land [47]. Store deler av befolkningen er også samlet i byer, med 34 prosent av befolkningen bosatt i Oslo og de 3 fylkene rundt, et område som kun består av 3,63 prosent av landarealet. En sentralisering vil trolig også fortsett ifølge prognoser som er gitt fram til 2020 [47]. Landskapet og befolkningstetthet vil påvirke hvor en utbygging skal skje først, og hvilken teknologi som skal benyttes.

5.2 Frekvensressurser

Wi-Fi er eneste standard som bruker ulisensierte bånd som er beskrevet i teknologikapitlet, mens for bruk av WiMAX, UMTS eller CDMA450 må man kjøpe rettigheter. Slike auksjoner er avholdt for flere aktuelle frekvensbånd og vil være med å påvirke utbyggingen av nett langs veiene. Det er stort sett de samme operatørene som har kjøpt frekvenser for de forskjellige båndene som brukes av for eksempel WiMAX og UMTS. UMTS-utbyggingen har allerede pågått i mange år, og trolig vil de store aktørene få avkasting på de store installasjonskostnadene 3g-utbyggingen sto for. Å bygge ut andre nett som på enkelte bruksområder vil være komplementære og en konkurranse mot eksisterende nett, er trolig ikke noe de ønsker. Det er derfor trolig at frekvensauksjonen demper utbyggingshastigheten av nye nett. Det kan også tenkes at store utbygginger av nett hvor man bruker trådløse teknologier som distribusjonsnett, vil gjøre at det kan bli mangel på frekvenser i forhold til etterspørselen.

CALM-prosjektet har derfor satt av flere frekvensbånd som til nå er ubrukt, blant annet 5,9GHz og 63-64GHz [9]. Å ta i bruk slike i ettertid vil medføre en kostnad for å få alt kompatibelt på et senere tidspunkt.

5.3 Skalering av ITS-nettverk

En eventuell utbygging av ITS-nettverk må ta hensyn til antall brukere av nettet både på kort og lang sikt. Antall brukere kan beregnes ved å se på trafikkmengde og antall kjøretøy som trafikkerer veien. Det er en trade-off mellom størrelsen på celler og antall brukere som kan få tilfredsstillende hastigheter [4]. "Build as you grow"-prinsipper bør brukes i en utprøving av systemet. Dette vil si at man bygger med hensyn på at det skal være enkelt å skalere opp ved en senere anledning. Jo større celler man ønsker, jo mindre båndbredde kan tilbys, og jo mindre de blir, jo flere basestasjoner må ruller ut [4]. Dette innebærer en dyrere initialkostnad. Det er også slik at avstanden mellom brukeren og basestasjonene har mye og si for kapasiteten som kan tilbys. Jo lengre avstand, jo mer komplekse og tregere moduleringssteknikker kan brukes, hvilket reduserer overføringshastigheten av nyttedata. Ved store hastigheter, som typisk kjøretøy har, vil også dopplerskift virke inn på signalet og bidra til at andre modulasjonsteknikker må brukes, og overføringshastigheten vil da synke. I starten trenger en ikke ta høyde for at alle kjøretøy skal bruke en tjeneste, da det vil være behov for en prøveperiode, der kun kjøretøy med spesielle mottakere bruker nettet. Det er likevel viktig under utbygging at det legges til rette for enkle og billigst mulig oppgraderinger.

5.4 Integrering i utstyr

Det vil være en utfordring i forhold til å etablere det ekstra utstyret som kreves. Basestasjoner må plasseres i rett høyde og med riktig tilknytning til resten av nettet. Lyktestolper er et godt alternativ til egne tårn kun for basestasjoner. Å få en enhetlig løsning slik at montering kan skje effektivt vil være kostnadsbesparende. En annen fordel med lyktestolper som tårn for basestasjonene er at de aller fleste nye lyktestolper har kontinuerlig strømtilførsel [13]. Tidligere har ideer om et aksesspunkt som kan monteres inne i lyktestolper og trafikklys vært lansert av Professor Steinar Andresen ved NTNU [13]. Dette vil kunne gi en enklere prosess ved utbygging, og samtidig unngår man utvendig utstyr som kan skades ved hærverk eller andre hendelser.

5.5 Synergieffekter

Ved en eventuell utbygging av nett langs veiene, bør man også se på muligheten for å integrere flest mulig tjenester i dette nettet. Eksempler på andre bruksområder for nettet en å levere trådløst nett til kjøretøy vil være styring av gatelys, avlesning av instrumenter og sensorer langs veiene, samt rimeligere løsninger for fotobokser og andre virkemidler for å senke farten. Store deler av veibelysningen i Norge er gammel og ineffektiv. Det er estimert at mer effektiv veilysteknologi vil gi en energibesparelse på 50-70% av dagens løsning [48]. Å kombinere nettutbygging med mulighet for slik lysstyring kan være med å bidra til bedre inntjening samt være et argument for at utbygging faktisk skal finne sted. Intelligente veilyser krever to-veis kommunikasjon til hver enkelt lyktestolpe. Dagens intelligente lysarmatur bruker kommunikasjon over strømledningen til en segmentkontroller som styrer og samler inn data fra sitt ansvarsområde og sender den over til en sentralnode ved vanlig IP-trafikk [48]. Dette vil for eksempel være en aktuell oppgave for et trådløst nett langs vei.

5.6 ITS tjenester som skal tilbys

I de fleste store prosjekter om ITS, deriblant CALM og CVIS, ser man for seg at forskjellig teknologi skal brukes avhengig av området og hvilke tjenester som skal tilbys. Det kan tenkes at et sett med sikkerhetstjenester bør være tilgjengelig nærmest overalt, som et offentlig tilbud, men underholdningstjenester som ofte vil kreve høy båndbredde (som surfing på internett og streaming av film) i første omgang tilbys der det er nok brukere til at tjenesten blir lønnsom. Det vil være en tradeoff mellom overføringshastighet, størrelse på celler, og antall brukere når det gjelder nett. Et nett med store celler vil være prisgunstig, men når avstanden fra brukerterminal til basestasjon øker, vil hastigheten på overføringen gå ned fordi man må bruke andre modulerings teknikker når signalet er svakt.

5.7 Trafikkgrunnlag og ulykkesstatistikk på strekningen

Trafikkgrunnlaget på strekningen vil spille inn på valg av teknologi som brukes for å gi nett langs veiene. Mange tjenester vil bare være lønnsomme hvis det er mange som bruker dem. Stor trafikk betyr at det må være høy tilgjengelig båndbredde, og at basestasjoner bør plasseres nærmere hverandre enn det som teoretisk er mulig.

Den største motivasjonen for å bygge ut ITS-nettverk i Norge er å bedre trafikksikkerheten og senke antall skadde og drepte i trafikken. Foruten de personlige tragediene, har dette ønsket også økonomisk side som nevnt i kapittel 2.

5.8 Kostnader

Hvilke kostnader en utbygging har, vil være avgjørende for hvilke løsninger som blir realisert. Med høye initialkostnader, som et trådløst nettverk med fører, er det viktig å ta disse i betraktning under valg av teknologi for en realisering. Den allerede eksisterende infrastrukturen langs veiene vil være av stor betydning for kostnadene. Der det allerede er lagt fiber vil det være mer kostnadseffektivt å bygge ut ITS enn der man må grave grøfter og legge alle nødvendige ledninger fra start av. Prosjekterte oppgraderinger av vei vil derfor være interessante med tanke på å legge forholde til rette for en utbygging av ITS.

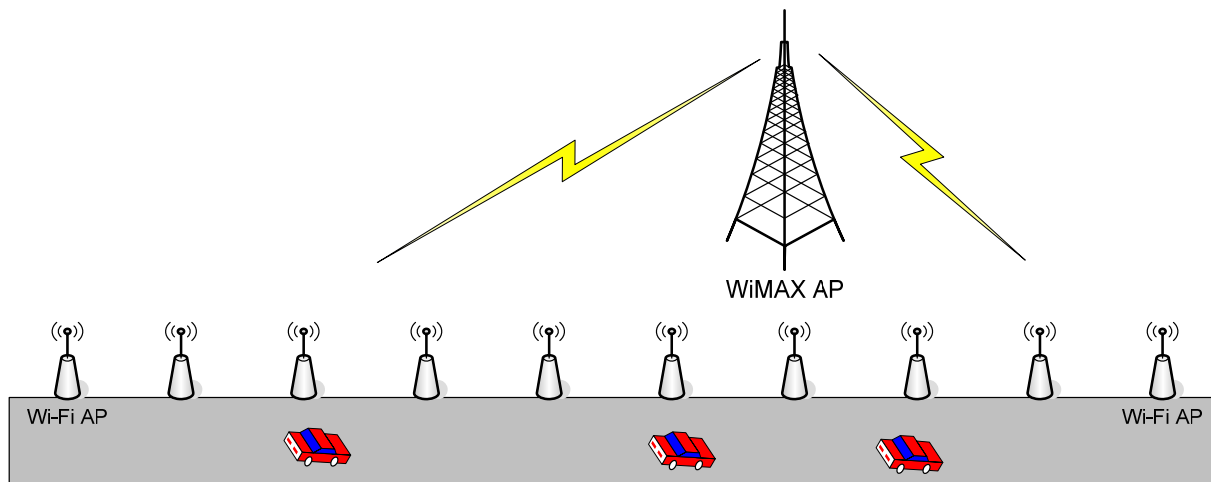
6 Eksempelutbygging og kostnadsestimater

På bakgrunn av kapittel tre, og krav til overføringshastighet, har jeg valgt å fokusere på Wi-Fi, mobil WiMAX, og 3g-nettene UMTS og CDMA450 videre. For Wi-Fi og mobil WiMAX blir det gitt et kostnadsestimat over en eksempelutbygging, mens det for UMTS og CDMA450 blir gitt oversalg på kostnadene knyttet til en basestasjon. Dette er fordi en isolert utbygging av UMTS eller CDMA450 ikke er realistisk siden frekvenskonsesjoner og sentralsystem krever mye mer enn ved Wi-Fi eller WiMAX-utbygging. Forutsetningene er mer detaljert forklart i de kommende delkapitlene til de respektive overføringsteknologiene

Fremgangsmåten for å finne realistiske utbyggingseksempler for Wi-Fi og WiMAX er bygd opp som Olexa [4] foreslår. Kriteriene er at utbyggingen skal gi et nettverk langs hele veistrekningen, med tilkobling til transportnett og internett. Det blir tatt hensyn til kapasitet, men det blir ikke gjort teletrafikkanalyser av Quality of Service (QoS) og antall mulige brukere. Etter at behovet for infrastruktur er presentert, vil kostnadsdriverne for utbygging av nett langs veien bli gitt. Estimaterne er basert på tall hentet fra tilsvarende estimater, blant annet Teleplans kostnadsestimat for full bredbåndsdekning [46], informasjon fra daglig leder ved Trådløse Trondheim, Thomas Jelle [24], samt diverse utenlandske artikler om emnet. Estimaterne er grove, men målet er at de likevel vil kunne gi en pekepinn på kostnadene knyttet til en utbygging.

6.1 Wi-Fi-utbygging og kostnadsdriverne

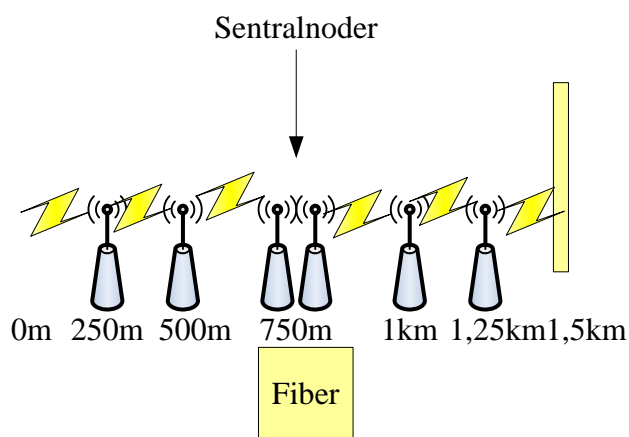
Utbygging av Wi-Fi kan grovt deles opp i to. Forskjellen vil være hvordan aksesspunktene kobles til transportnett. Enten må fiber legges til sentralnodene, eller koblingen må være trådløs, eksempelvis ved å bruke en stasjonær WiMAX link som mater Wi-Fi-basestasjonene. Wi-Fi har funksjonalitet for å bygges opp i et maskenett. Det anbefales maksimalt 8 hopp i et slikt maskenett [49]. Likevel, blant annet på grunn av pålitelighet og ytelse, bruker Trådløse Trondheim maksimalt 2 hopp i sine nett [24]. Figur 17 viser eksempel på en slik utbygging med WiMAX som matenett.



Figur 17 - Eksempel på Wi-Fi-utbygging der WiMAX brukes som matenett.

Kostnadsdriverne for å bygge ut en 10 kilometer lang veistrekning med Wi-Fi blir som følger:

Utstyr: En Wi-Fi basestasjon har rekkevidde på anslagsvis 2-400 meter avhengig av terreng og LOS. Det kan ikke kobles to rettede antenner på en Wi-Fi basestasjon [24]. Jeg tar utgangspunkt i at basestasjonene gir nett 250 meter en vei, slik at ved tilknytning til transportnett (som fiber) vil to basestasjoner monteres på samme plass, og de sender signalet hver sin vei. I maskenettet er det enkeltstående basestasjoner som har en rettet antenne bort fra senteret i sitt maskenett, da det antas at den ikke trenger rettet antenne mot sentralnoden, som figur 18 viser. Utstyret som trengs for å dekke en 10 kilometer lang veistrekning er 7 punkter som kobles til transportnett, hvor de monteres to basestasjoner hver, plassert med 1500 meters avstand. Totalt blir det 40 basestasjoner som kreves basert på løsning som i figur 18.



Figur 18 - To basestasjoner kobles til fiber på samme punkt med motsatt rettede antenner.

Det kreves et sentralsystem bestående av basestasjonskontrollerer og et sentralt kontrollsystem. Trådløse Trondheim benytter seg av Cisco som leverandør av dette [24]. For en slik utbygging trengs ett sentralsystem, estimert til en kostnad av 500 000 NOK, basert på [4].

Kostnad Wi-Fi aksesspunkt: 2 500 NOK

Kostnad sentralsystem: 500 000 NOK

Spektrum: Spektrum på Wi-Fi 2,4GHz er fritt og kan brukes gratis. Om Wimax skal brukes som distribusjonsnett, må lisenser for den aktuelle frekvensen leies. Jo høyere frekvens, jo billigere er frekvensen, men jo dårligere følger signalet landskapet [26]. Er det tilnærmet line of sight kan for eksempel 10GHz båndet som er satt av til WiMAX brukes, her koster lisensene mye mindre enn i 2,4 og 3,5 GHz-båndene [26]. I utbygging i tidlig fase vil det være mulig å få leie spektrum nærmest gratis [24]. Etter hvert vil leiekostnadene kunne bli betydelig. Dette vil variere etter hvor i landet man er da frekvenser i Oslo-regionen koster mange ganger mer enn frekvenser i andre deler av landet [26]. Et grovt anslag kan gis ved å se på hva innehaverne av frekvensene ga for disse, og diskontere dette over de 20 årene konsesjonen gjelder, med et tillegg for fortjeneste for innehaverne. Siden disse kostnadene varierer fra noen hundre tusen til mange millioner er det vanskelig å gi noe generelt anslag på kostnader. Trådløse Trondheim ser for seg 70 000-100000 i årlig leie hvis man planlegger kommersielt bruk av WiMAX [24]. Jeg estimerer en kostnad på 25 000 NOK per år for leie ved en 10 km vei.

Leie spektrum 25 000 NOK per år

Infrastruktur: Her forutsettes det at gjeldene infrastruktur som gatelys kan brukes for å montere Wi-Fi aksesspunktene langs veien, og eventuelt at en radiomast eller høye bygninger kan brukes for å installere WiMAX-basestasjonen som knytter Wi-Fi-basestasjonene til transportnettet. Dette er bare til en viss grad riktig. Om WiMAX skal brukes som matenett, bør høyden på basestasjonen minst være 30 meter. Å bygge et slikt tårn koster rundt 250 000 kr inkludert montering [46]. Mange steder fins det ferdige master som brukes til radionett, det vil være naturlig å anta at disse kan disponeres for en rimelig kostnad siden disse ofte eies av kommunene. Jeg forutsetter kostnader for montering i lyktestolper til 10 000 NOK, og kostnader for montering i mast til 20 000, basert på [34] og [48], og at man må terminere fiberen selv (medfører kostnader som presenteres i Tilknytning til transportnettet: alternativ

2). Når to basestasjoner plasseres sammen antar jeg at kostnadene knyttet til en montering dekker begge, slik at det totalt blir 33 monteringer på strekningen.

Kostnad montering lyktestolper: 10 000NOK

Kostnad montering i mast: 20 000NOK

Tilknytning til transportnett: Her vil forskjellige veier ha forskjellig infrastruktur fra før. De fleste nyere veier har trekkør slik at man slipper å grave for å legge fiber, og noen har også lagt fiber fra før. Jeg ser derfor på fire alternativer for infrastruktur.

Alternativ 1:

Forutsetninger:

- Det er lagt fiber fra før til radiomast der en stasjonær WiMAX basestasjon installeres og mater Wi-Fi punktene, og en linje leies av BaneTele for 5000 kr i installasjonskostnader og 10 000 i månedlig leie [24]. Dette inkluderer opplysning av fiberen og signalmottaksutstyr. Kapasitet kan oppgraderes ved behov.
- Kapasiteten som WiMAX gir er nok til å servere alle 40 basestasjonene. I praksis trengs en klientmottaker for å ta imot WiMAX-signalet og koble til Wi-Fi punktene [24]. Denne er på rundt 1000 NOK per sted [24].

Leie linje fra BaneTele	5 000 NOK i installasjon, 10 000 NOK i leie per mnd
Mottak WiMAX	1000 NOK

Alternativ 2:

Forutsetninger:

- Det er lagt trekkør og fiber fra før. Denne eies av utbygger eller samarbeidspartnere. Fiberen må taes ut ved de 7 stedene som skal være sentralnoder i nettet.
- Leie av aksesslinje fra BaneTele følger prisen under alternativ 1
- Terminering av fiber for å få ut signal som basestasjonene kan kobles til medfører følgende kostnader [24]:

Skap hvor uttaket skjer	15 000 NOK
Avtapping av signal	4000 NOK
Strømuttak	2000 NOK
Svitsj og annet	5000 NOK
Graving	1000 NOK
Montering	2000 NOK

Alternativ 3:

Forutsetninger:

- Det er lagt trekkør, og fiber må legges. Løpemetre på 100 kr meteren [42]. Det bør legges fiber på hele strekningen med tanke på senere bruk, og ikke bare fram til de 7 punktene som skal kobles til fiberen. Denne fiberen må kobles til en sentral. Det vil være mulig å leie tilkobling fra Banetele til et visst punkt, forutsatt at de har fiber i området [24]. Jeg antar at det er mulig å leie i nærheten av hvor man bygger.
- Terminering må skje der sentralnodene skal være og følger kostnader som under alternativ 2.

Legge fiber i ferdig lagt trekkør	100 NOK per meter
-----------------------------------	-------------------

Alternativ 4:

Forutsetninger:

- Det er ikke lagt trekkør. Det må graves ny grøft langs veiskulder. 400-500 NOK per meter inkluderer fiber [50]. Denne avstanden er 10 km.
- Antar at grøft må graves til en tilgjengelig fibernode. Avstanden fra vei til distribusjonsnett stipulerer jeg til 1 km.

Graving og legging av fiber	500 NOK per meter
-----------------------------	-------------------

Planlegging og drift:

Forutsetninger:

- Det trengs 40 basestasjoner totalt. Jeg antar en kostnad på 25 000 per site [24]. Om WiMAX brukes må planleggingskostnader også der regnes med. Fordi det er mer arbeid med en WiMAX-site enn Wi-Fi [24], estimerer jeg planleggingskostnader knyttet til WiMAX til 40 000 NOK
- 7 basestasjoner, eller WiMAX noden må knyttes til transportnettet.
- Drift stipulerer jeg til 10 % av kostnader til aksessnettet. Dette vil være en årlig løpende utgift, sammen med eventuelle leieavtaler som er betales årlig.

Planlegging Wi-Fi	25 000 NOK
Planlegging WiMAX	40 000 NOK
Drift	10 % av kost. aksessnett

Utbygging Wi-Fi 10km		Basert på betyr estimat basert på informasjon fra gjeldene referanse. Forutsetningene er spesifisert under punktene foregående sider.		
	enheter	enhetspris	Totalt	Kilde
Utstyr				
Wi-Fi basestasjon	40	2 500	100 000	Jelle [24]
Annet utstyr og installasjon	40	5 000	200 000	Basert på Alnes [34], Hagan [48]
Sentralsystem og annet	1	500 000	500 000	basert på Olexa [4]
Infrastruktur				
Montering (strøm, uttak, div)	33	10 000	330 000	Basert på Alnes [34]
Spektrum				
Alternativ 1:				
leie spektrum	1	25 000	25 000	Estimat, vil variere avh. av sted
Alt. 2-4	0	0	0	
Planlegging				
	40	25 000	1 000 000	Basert på Jelle [24]
Tilknytning til transportnettet				
Alternativ 1: WiMAX-mating				
WiMAX BS (inkl 2 sektorer,to antenner)	1	125 000	125 000	Teleplan [46], Jelle [24]
Montering mast	1	20 000	20 000	Hagan [48], Alnes [34]
Planlegging	1	40 000	40 000	Jelle [24]
Skap hvor uttaket skjer	1	15 000	15 000	Jelle [24]
Avtapping av signal	1	4 000	4 000	Jelle [24]
Strømuttak	1	2 000	2 000	Jelle[24]
Svitsj og annet inkl. 7 mottakere	1	12 000	12 000	Jelle [24]
Montering og graving	1	3 000	3 000	Jelle [24]
Leie fiber og tilk. internett	1	5 000+10 000/mnd	5 000	Jelle [24]
Alternativ 2: egen fiber langs vei				
Skap hvor uttaket skjer	7	15 000	105 000	Jelle[24]
Avtapping av signal	7	4 000	28 000	Jelle [24]
Strømuttak	7	2 000	14 000	Jelle [24]
Svitsj og annet	7	5 000	35 000	Jelle [24]
Montering og graving	7	3 000	21 000	Jelle [24]
Leie fiber og tilk. internett	1	5 000+10 000/mnd	5 000	Jelle [24]
Alternativ 3: trekkør, ikke fiber				
10 000 meter fiber	11 000	100	1 100 000	Telenor m.fl [50]
pluss kostnader alt 2	1	201 000	201 000	
Alternativ 4: ingen infrastruktur				
graving 10000m (inkl 3 uttak)	11 000	500	5 500 000	Telenor m.fl [50]
pluss kostnader for Alt 2	1	201 000	201 000	
			Capex	
Sum Alternativ 1:			2 381 000	NOK
Sum Alternativ 2:			2 338 000	NOK
Sum Alternativ 3:			3 438 000	NOK
Sum Alternativ 4:			7 838 000	NOK

Tabell 2 - Kostnadsestimat knyttet til Wi-Fi-utbygging.

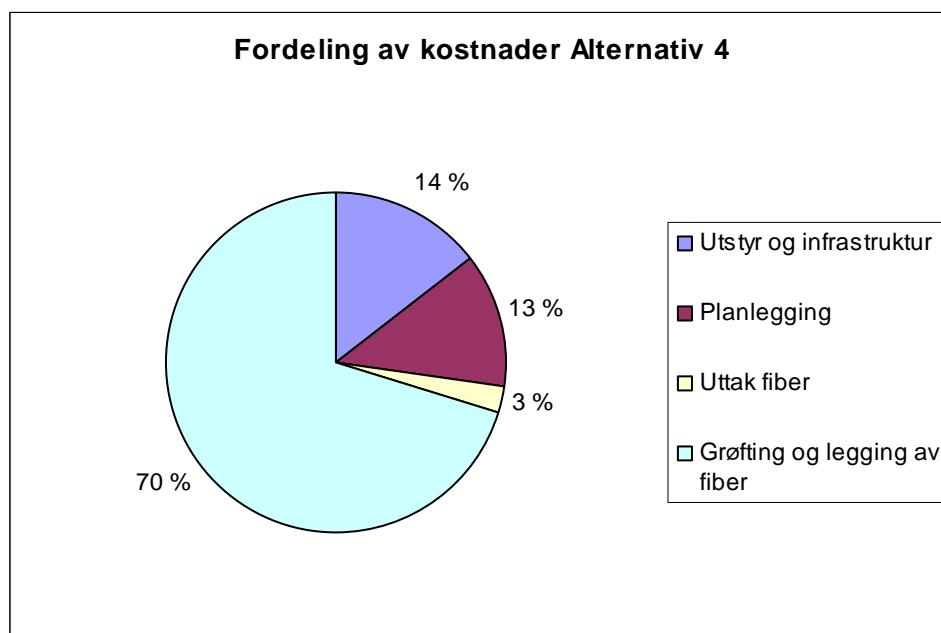
Tabell 2 viser kostnadsestimat for en Wi-Fi-utbygging. Installasjonskostnadene vil variere avhengig av allerede infrastruktur fra 1 701 000 til 7 201 000 NOK. Det er løpende årlige utgifter på både leie av tilknytning til internett, eventuelt for WiMAX-frekvenser i alternativ 1, og driftskostnader.

	Nåverdi av kostnader for innstallering og 10 års drift*
Sum Alternativ 1:	4 590 916
Sum Alternativ 2:	4 333 777
Sum Alternativ 3:	5 433 777
Sum Alternativ 4:	9 833 777

* Antar en diskonteringsfaktor på 5 %, og at prisene øker med 2,5 % hvert år

Tabell 3 - Nåverdi av kostnader for Wi-Fi og 10 års drift.

Tabell 3 angir at nåverdien av kostnadene for installasjon og ti års drift av nettet vil variere fra 3 585 424 til 9 085 424 NOK. Det er her regnet en diskonteringsfaktor på 5 %, og med en økning i prisene per år på 2,5 %.



Figur 19 - Fordeling av kostnader ved Wi-Fi utbygging, Alternativ 4.

Som fordelingen i figur 19 viser er kostnadene knyttet til graving og legging av fiber om dette må gjøres på 70 % av den totale investeringskostnaden. Utstyr og infrastruktur står for 14 %, planlegging for 13 % mens uttak til fiber for å koble til basestasjoner står for 3 % av totalkostnaden.

6.2 WiMAX-utbygging og kostnadsdrivere

En utbygging av WiMAX vil i likhet med Wi-Fi bestå av flere elementer. Utstyr, spektrum, infrastruktur og tilknytting til transportnett. Tabell 4 viser rekkevidder for WiMAX.

Rekkevidde	Stasjonær WiMAX	Mobil WiMAX
Fri sikt	10-16 km	30-50 km
Flatt terreng, hindringer	1-2 km	4-9 km
Innendørs	300-500 m	1-2 km

Tabell 4 - Rekkevidde WiMAX, fra [46].

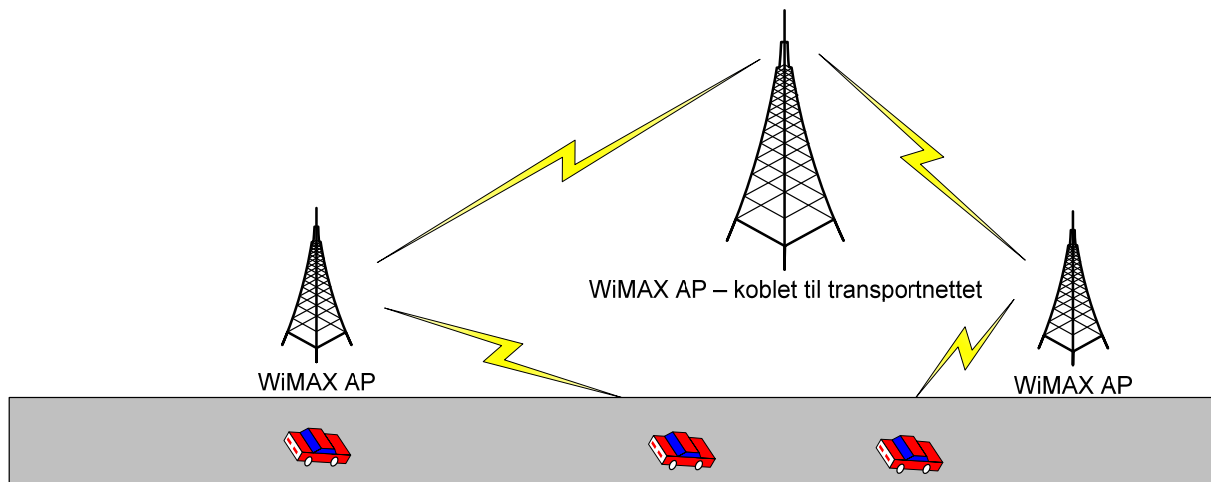
Utstyr:

Utstyret som trengs for å dekke en 10 kilometer lang veistrekning anslås til 3 WiMAX basestasjoner langs veien, med 2 km rekkevidde. Med økende bruk vil WiMAX både som distribusjonsnett og sluttbrukernett være problematisk, da man enten må sende på samme frekvens, da bruker man ressurser fra hverandre og ytelsen blir omtrent halvert, eller man må sende på ulike frekvenser, noe som innebærer at man trenger to frekvensbånd. Altså må man da leie to bånd hvilket vil doble prisen på leie. Jeg forutsetter at det i starten vil være tilstrekkelig å bruke samme frekvensbånd. Alle tre aksesspunkt bør ha to antenner og to sektorer hver slik at de kan sende signal to veier. Sentralsystemet antas å koste 500 000 NOK også her, basert på Olexa [4].

Priser WiMAX-utstyr, fra [24] og [46]:

WiMAX basestasjon	40 000 NOK
Sektorer	35 000 NOK
Antenner	7 500 NOK
Sentralsystem	500 000 NOK

Figur 20 viser eksempel på enkel WiMAX arkitektur:



Figur 20 - Eksempel på WiMAX-utbygging.

Spektrum: Spektrum må leies av de som innehar konsesjon på det. Disse vil altså variere fra sted til sted. Jeg stipulerer en leiepris for en strekning på 10 km på 25 000 NOK per år, på samme måte som under WiMAX alternativet i Wi-Fi utbyggingen. Prisene er lik de i delkapittel 6.1 for spektrum.

Leie spektrum 25 000 NOK per år

Infrastruktur: Her antas det at gjeldene infrastruktur som gatelys kan brukes for å montere WiMAX aksesspunktene langs veien, og eventuelt at en radiomast kan brukes for å installere aksesspunktet som er tilknytningen til transportnett.

Montering lyktestolper: 10 000NOK

Montering i mast: 20 000NOK

Tilknytning til transportnett: Veier har forskjellig infrastruktur fra før. De fleste nyere veier har trekkør slik at man slipper å grave for å legge fiber. Jeg antar derfor at det er 3 alternativer for infrastruktur.

Alternativ 1:

- En WiMAX-basestasjon kobles til transportnett og mater de andre, slik figur 10 viser. Denne bør monteres så høyt som mulig for å få så mye fri sikt som mulig til de andre basestasjonene. Terminering av fiber følger kostnader oppgitt i 6.1:

Skap hvor uttaket skjer	15 000 NOK
Avtapping av signal	4000 NOK
Strømuttak	2000 NOK
Svitsj og annet	5000 NOK
Graving	1000 NOK
Montering	2000 NOK

Alternativ 2:

- Det er lagt fiber fra før, og linjene kan leies for samme pris som tidligere, 5 000 kr i installasjon og 10 000 kr i månedlig leie [24]. Dette inkluderer opplysning av fiberen og signalmottakststyr.

Leie linje fra BaneTele	5 000 NOK i installasjon, 10 000 NOK i leie per mnd
-------------------------	---

Alternativ 3:

- Det er lagt trekkør med plass for fiber. Fiberen må legges men minimalt med graving. Kostnadene er ca 100 NOK per meter, og må legges i 10 kilometer.
- Stipulerer avstanden fra vei til en annen fibertilknytning til å være 1 kilometer

Legge fiber i ferdig lagt trekkør	100 NOK per meter
-----------------------------------	-------------------

Alternativ 4:

- Det er ikke lagt trekkør. Det må graves ny grøft langs veiskulder i 10 kilometer. Kostnadene er 400-500 NOK per meter inkluderer fiber.
- Antar at grøft må graves i avstand til en tilgjengelig fibernode. Antar denne avstanden er 1 km.

Graving og legging av fiber	500 NOK per meter
-----------------------------	-------------------

Planlegging og drift:

- Planlegging estimerte jeg til 40 000 i kapittel 6.1 basert på [24]. Det er totalt 3 siter. Om WiMAX brukes som mating vil planleggingskostnader påløpe også på dette området.

Planlegging WiMAX	40 000 NOK
Drift	10 % av kost. aksessnett

Utbygging WiMAX 10km		Basert på betyr estimat basert på informasjon fra gjeldene referanse. Forutsetningene er spesifisert under punktene foregående sider.		
	enheter	enhetspris	Totalt	Kilde
Utstyr				
WiMAX basestasjon	3	40 000	120 000	Teleplan [46], Jelle [24]
Sektorer	6	35 000	210 000	Teleplan [46], Jelle [24]
Antenner 60 grader	6	7 500	45 000	Teleplan [46], Jelle [24]
Annet utstyr og installasjon	3	5 000	15 000	Basert på Hagan [48], Alnes [34]
Sentralsystem (BS-kontrollere, kontrollsystem mm)	1	500 000	500 000	Basert på Olexa [4]
Infrastruktur				
Montering (strøm, uttak, div)	3	10 000	30 000	Basert på Alnes [34]
Spektrum				
leie spektrum	1	25 000	25 000	Jelle [24]
Planlegging				
	3	40 000	120 000	Estimert, lite erfaring enda. Basert på Jelle [24]
Tilknytning til transportnettet				
Alternativ 1: WiMAX-mating				
stasjonær WiMAX AP	1	120 000	120 000	Teleplan [46], Jelle [24]
Montering mast	1	20 000	20 000	Hagan [48], Alnes [34]
Planlegging	1	25 000	25 000	Jelle [24]
Skap hvor uttaket skjer	1	15 000	15 000	Jelle [24]
Avtapping av signal	1	4 000	4 000	Jelle [24]
Strømuttak	1	2 000	2 000	Jelle [24]
Svitsj og annet inkl. 3 mottakere	1	8 000	8 000	Jelle [24]
Montering skap og graving	1	3 000	3 000	Jelle [24]
Leie fiber og tilk. internett	1	5 000 + 10 000/mnd	5 000	Jelle [24]
Alternativ 2: egen fiber langs vei				
Skap hvor uttaket skjer	3	15 000	45 000	Jelle [24]
Avtapping av signal	3	4 000	12 000	Jelle [24]
Strømuttak	3	2 000	6 000	Jelle [24]
Svitsj og annet	3	5 000	15 000	Jelle [24]
Montering og graving	3	3 000	9 000	Jelle [24]
Leie fiber og tilk. internett	1	5 000 + 10 000/mnd	5 000	Jelle [24]
Alternativ 3: trekkør, ikke fiber				
11 000 meter fiber	11 000	100	1 100 000	Telenor m.fl [50]
pluss kostnader alt 2	2	10 000	92 000	Teleplan [46]
Alternativ 4: ingen infrastruktur				
graving 11000m (inkl 2 uttak)	11 000	500	5 500 000	Telenor m.fl [50]
pluss kostnader alt 2	1	100 000	92 000	
Sum Alternativ 1:			1 267 000	NOK
Sum Alternativ 2:			1 157 000	NOK
Sum Alternativ 3:			2 257 000	NOK
Sum Alternativ 4:			6 657 000	NOK

Tabell 5 - Kostnadsestimat for WiMAX-utbygging.

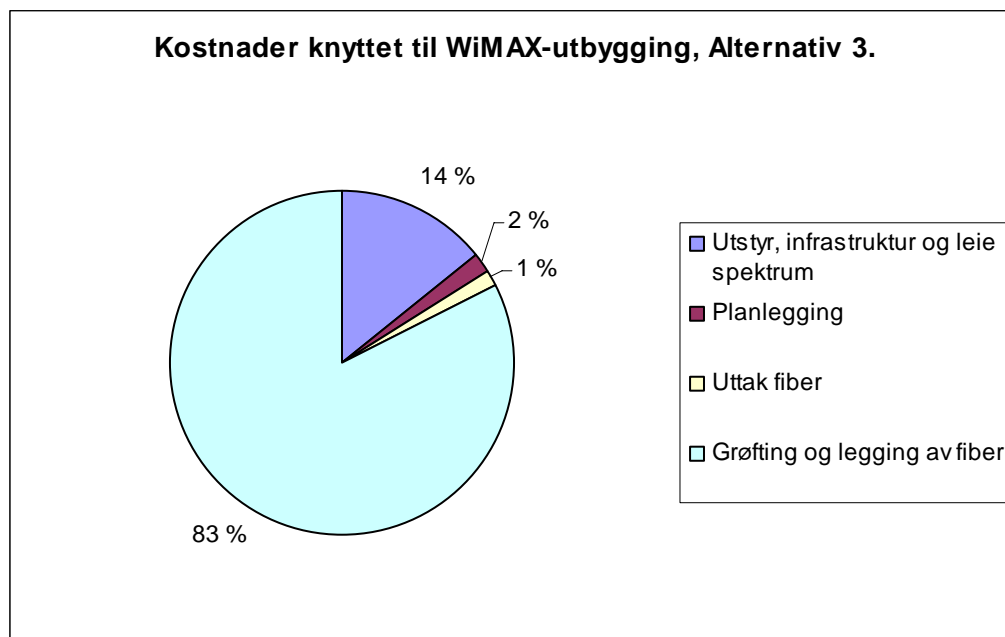
Tabell 5 viser kostnadsestimat for WiMAX-utbygging. Installasjonskostnadene vil også her variere avhengig av allerede infrastruktur fra 1 157 000 til 6 657 000 NOK. Det er løpende årlige utgifter på både leie av tilknytning til internett, for WiMAX-frekvenser og driftskostnader.

	Nåverdi av kostnader for installering og 10 års drift*
Sum Alternativ 1:	3 297 039
Sum Alternativ 2:	3 187 039
Sum Alternativ 3:	4 287 039
Sum Alternativ 4:	8 687 039

* Antar en diskonteringsfaktor på 5 %, og at prisene øker med 2,5 % hvert år

Tabell 6 - Nåverdi av kostnader for WiMAX og 10 års drift.

Nåverdien av kostnadene for installasjon og ti års drift av nettet varierer fra 3 187 039 til 8 687 039 NOK, som tabell 6 viser. Det er også her regnet en diskonteringsfaktor på 5 %, og med en økning i prisene per år på 2,5 %. Detaljene for nåverdiutregningen finnes Appendiks D, samt i den elektroniske versjonene med vedlegg.

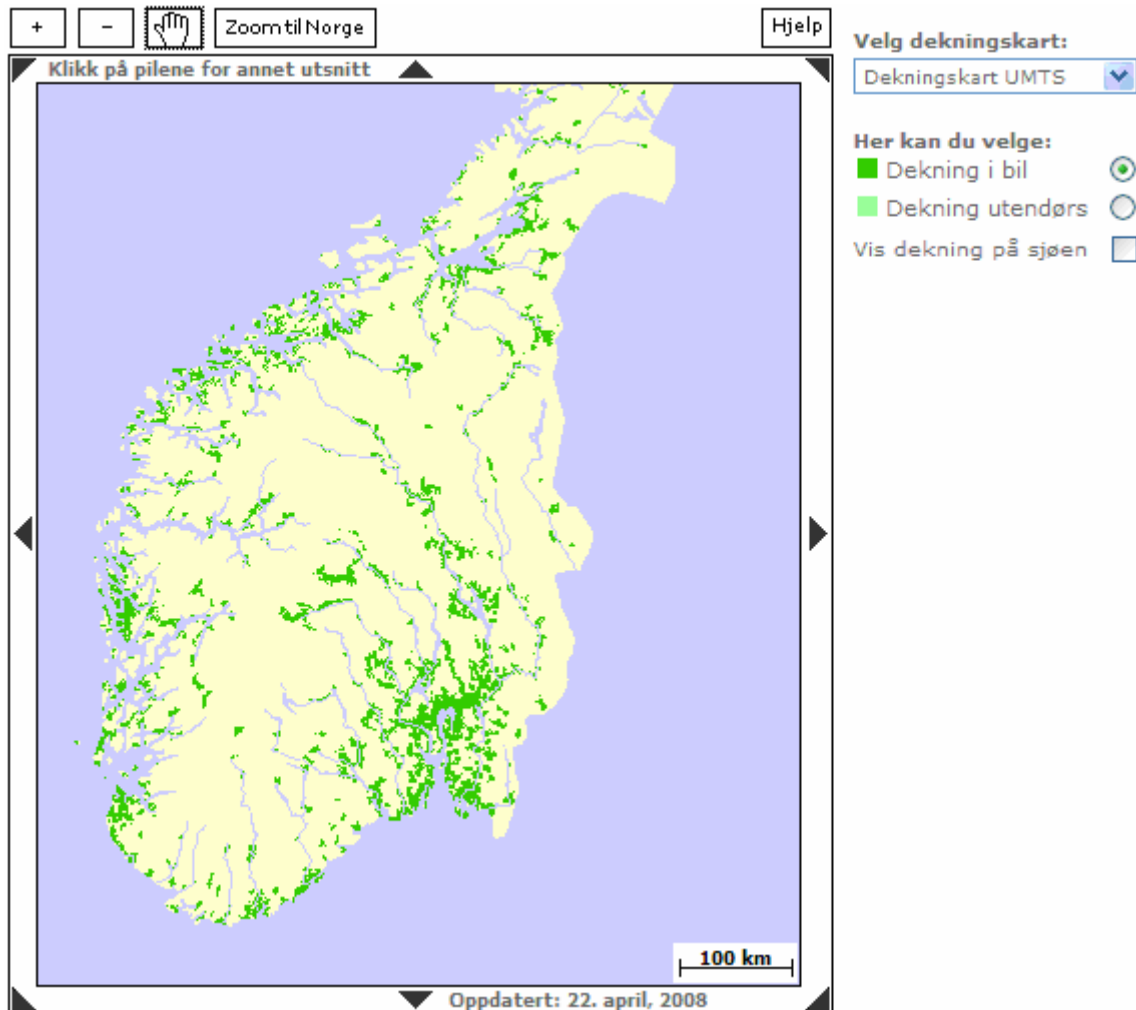


Figur 21 - Kostnader knyttet til WiMAX-utbygging, Alternativ 4.

Figur 21 viser at kostnadene knyttet til leggingen av fiber utgjør 83 % av totalkostnadene for en utbygging, mens planlegging står for 2 %, uttak av fiber står for 1 % og utstyr, infrastruktur og leie av spektrum står for 14 % av totalkostnaden.

6.3 UMTS-utbygging og kostnadsdrivere

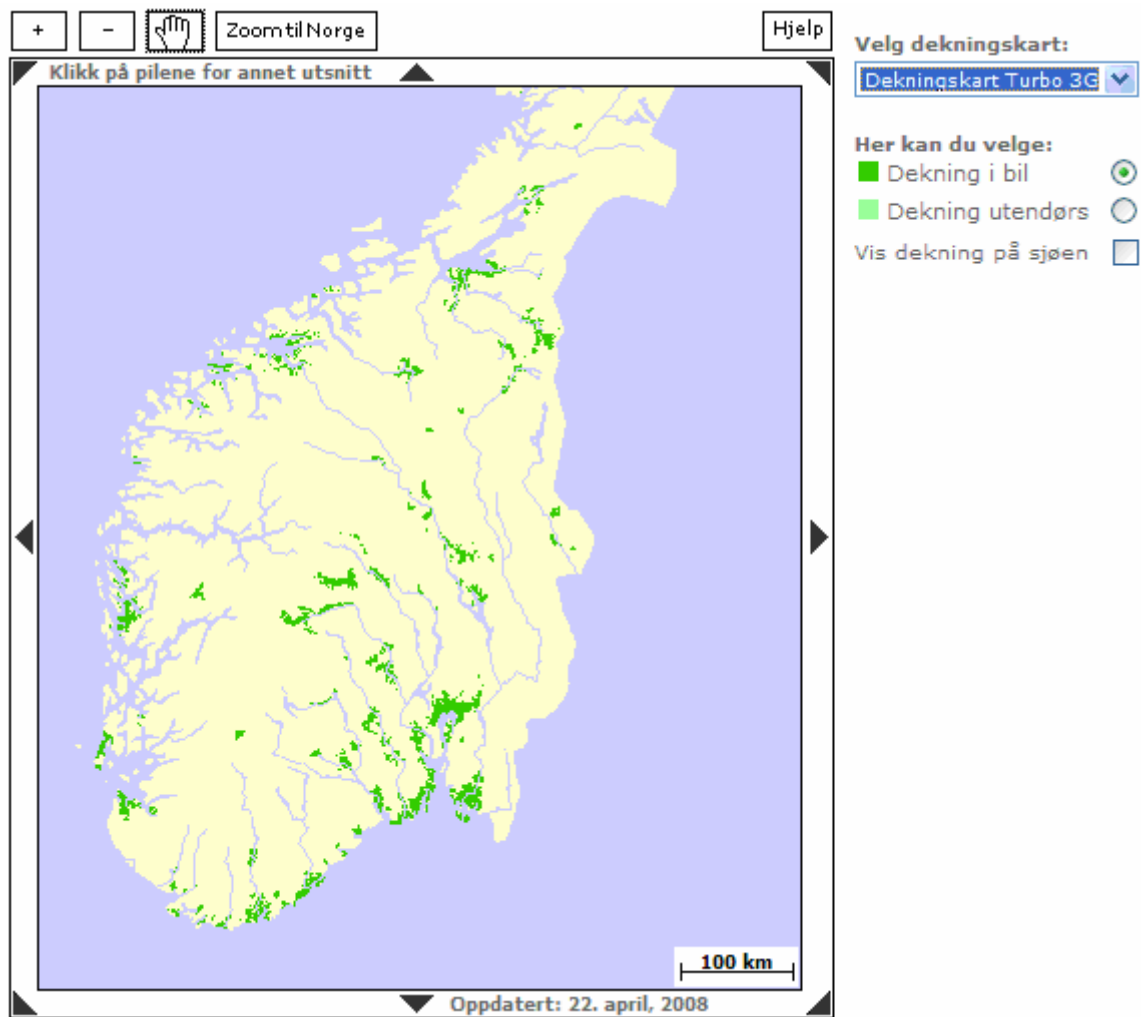
UMTS er allerede utbygd i deler av Norge, spesielt der befolkningstettheten er stor [32]. Telenor er den operatøren med mest dekning. Figuren viser en kartskisse over hvor det er UMTS dekning i bil i sør og Midt-Norge. Dette er teoretisk regnet ut, og kan vise bedre dekning enn det i realiteten er [32].



Figur 22 - Telenors UMTS-dekning i Midt- og Sør-Norge, fra [32].

Som figur 22 viser er det få steder det er kontinuerlig nett over store avstander. Dekningen er klart best i store byer, mens veiene mellom disse er mindre utbygd med UMTS nett.

Figur 23 viser til sammenligning hvor det er turbo-3g-dekning (HSDPA).



Figur 23 - Telenors turbo 3g-dekning i Midt- og Sør-Norge, fra [16].

Dekningen med turbo-3g er enda mindre utbygd enn vanlig UMTS. Det skjer i disse dager en utrulling av turbo3g nettet slik at dekingen trolig vil øke betraktelig de neste år [33].

Kostnadene ved en utbygging av UMTS er noe mer komplisert å få tak i en for WiMAX og Wi-Fi, der det finnes mye offentlig informasjon. UMTS har også et mer komplekst sentralsystem som må fungere [51]. Det vil i realiteten sjelden være en privat utbygger som bygger UMTS nett, slik det kan være ved Wi-Fi og WiMAX. Likevel er det mulig å få en pekepinn på kostnadsdriverne ved en UMTS-utbygging.

Opplysninger hentet fra nettoperatører anslår kostnadene for en basestasjon til rundt en million kroner inkludert montering [46], [52]. Et UMTS-nettverk består av flere deler enn bare basestasjonene. Sentralsystemet er langt større enn ved en Wi-Fi-utbygging [51]. Samtidig er frekvensene auksjonert bort på nasjonalt plan, slik. Derfor vil det heller ikke være

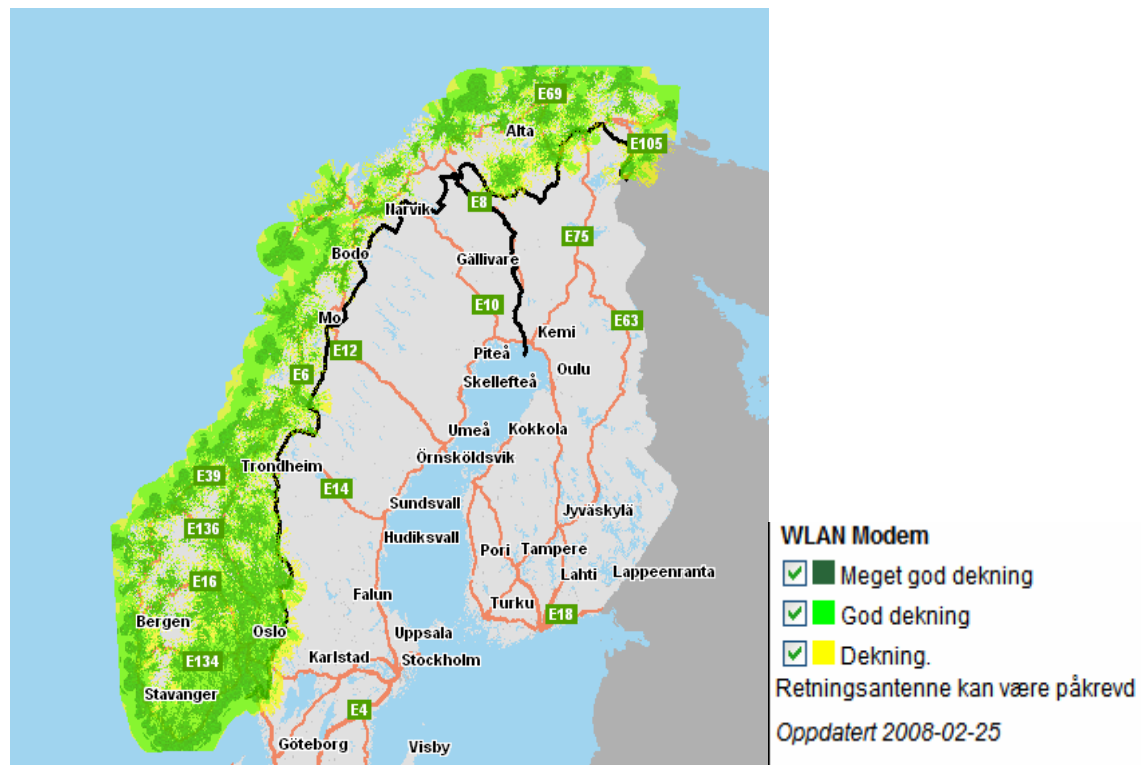
realistisk med små utbygginger av egne UMTS-nett, men heller at man i et samarbeid blir enige om å sette opp ekstra basestasjoner som kan tilkobles allerede eksisterende sentralsystem. Derfor velger jeg å se på prisen per basestasjon som kostnadsdrivere for en UMTS-utbygging. Tabell 7 viser at kostnaden for en basestasjon rundt regnet er 1 million NOK.

Utbygging UMTS 10km				
Utstyr: en basestasjon tilknyttet kjernenettet				
	enheter	enhetspris	Totalt	Kilde
Utstyr				
UMTS basestasjon inklusivt tilknytning kjernenett	1	1 000 000	1 000 000	Basert på Teleplan[46], Børringsbo [52], Shyy [53]

Tabell 7 - Kostnader knyttet til UMTS-basestasjon.

6.4 CDMA450-utbygging og kostnadsdrivere

CDMA450 operer på samme frekvens som det tidligere NMT nettet. På grunn av sin lave frekvens er det lang rekkevidde på signalet.



Figur 24 - ICE sin dekning med CDMA450-nettet, fra [23].

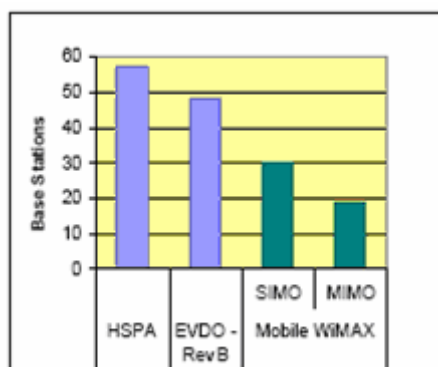
Som figur 24 viser har CDMA450 allerede god dekning i Norge. ”Meget god dekning” vil si at man har dekning i bil, mens med ekstern antenne på kjøretøyet vil man også ha dekning der fargekategorien er ”God dekning” [54]. Prisene er estimert fra [34], med et tillegg fordi prisen virker noe lave. Det vil heller ikke under CDMA450 bli regnet på driftskostnader, da det i praksis ikke vil være andre enn teleoperatørene som står for en utbygging. Under et oversalg gjort for hvor mye en basestasjon vil koste, noe som vil tilfredsstillte kravet om tilgjengelig nett over en strekning på 10 kilometer. En merknad her er at innhentede priser varierer veldig, fra rundt 300 000 [34] til over 1,5 millioner [53]. I tabell 8 antar jeg kostnaden for en basestasjon til rundt en million kroner, og at pris for CDMA450 basestasjoner er tilnærmet lik den for CDMA2000-basestasjoner.

Utbygging CDMA450 10km
 Utstyr:
 en basestasjon tilknyttet kjernenettet

	enheter	enhetspris	Totalt	Kilde
Utstyr				
CDMA450 basestasjon	1	1 000 000	1 000 000	Basert på Teleplan[46], Børringsbo [52]

Tabell 8 - Kostnader knyttet til CDMA450-basestasjon.

6.5 Kostnadssammenligninger



Figur 25 - Sammenligning over hvor mange basestasjoner som trengs, fra [55].

Figur 25 sammenligner hvor mange basestasjoner som trengs for å gi en kapasitet på minimum 215 Kbps per kvadratkilometer innenfor et område på 129 kvadratkilometer. Tallene er hentet fra en studie gjort i samarbeid med WiMAX forum [55]. Studien viser at det er behov for 19 MIMO WiMAX basestasjoner, og 58 CDMA (EVDO-RevB), og 56 UMTS

(HSPA) basestasjoner. Det forutsettes samme kapasitet på CDMA2000 og CDMA450, slev om sistnevnte vil ha lengre rekkevidde. Stasjonene som er beregnet er for stasjonær WiMAX, men det antas at disse også kan brukes om mobile WiMAX basestasjoner. For WiMAX har jeg gjort samme beregningene som i kapittel 6.2, med de samme antagelsene. For å dekke basestasjonene som er spredt rundt for å dekke 129 kvadratkilometer antas det at 50 km fiber må legges nytt for å koble basestasjonene til et eksisterende nett. De detaljerte utregningene er vedlagt elektronisk. For UMTS og CDMA450 er de estimerte prisene brukt for å finne en totalsum for en utbygging som tilfredsstiller overføringskravene.

WiMAX	SIMO (30 BS)	MIMO (19 BS)
Sum Alternativ 1: 5/9 WiMAX basestasjoner brukt til distribusjonsnett til de andre 19/30 stasjonene.	7 235 000	5 255 000
Sum Alternativ 2: Det ligger fiber fra før.	6 800 000	4 501 000
Sum Alternativ 3: Det ligger trekkør fra før. Det legges fiber i 50 km	11 800 000	9 501 000
Sum Alternativ 4: Graving og legging av fiber i 50 km.	31 800 000	29 501 000

Tabell 9 - Kostnader ved WiMAX-utbygging for å møte overføringskravene.

	enheter	enhetspris	Totalt
UMTS	56	1 000 000	56 000 000
CDMA450	58	1 000 000	58 000 000

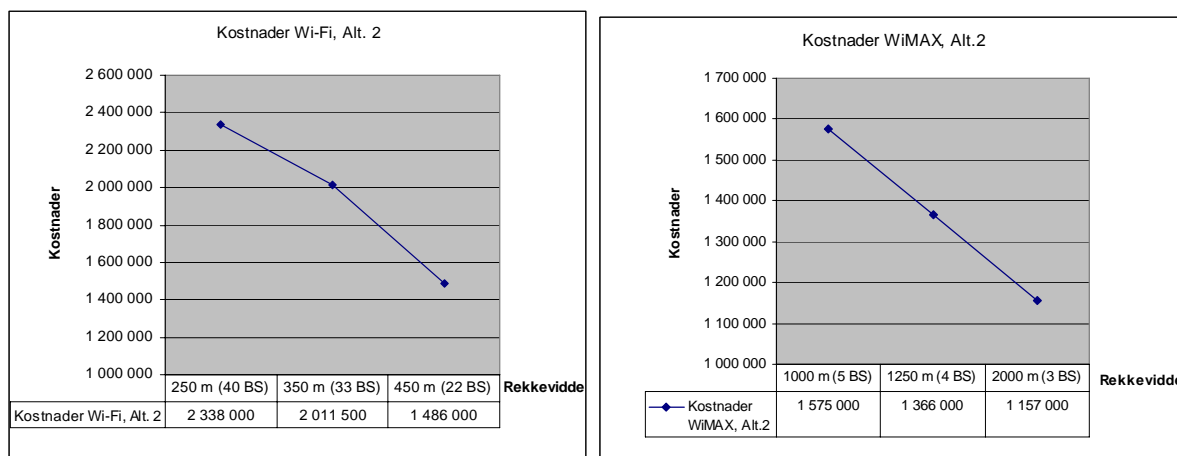
Tabell 10 - Kostnader ved UMTS- og CDMA450-utbygging for å møte overføringskravene.

Tabell 9 og 10 viser hvordan kostnadene for WiMAX vil være fra omtrent 4,5 millioner NOK til 31,8 millioner, mens for UMTS og CDMA450 vil kostnadene være rundt 56 til 58 millioner NOK.

Om man ikke tar kapasitet i betraktning, men bare kontinuerlig nett vil en basestasjon av UMTS og CDMA450 dekke en 10 kilometer strekning, slik at kostnaden vil være omtrent en million NOK, forutsatt at man ikke trenger et eget sentralsystem. For WiMAX vil det koste fra 1 157 000 til 6 657 000 NOK avhengig av forutsetninger (tabell 5).

6.6 Forbehold om estimater

Estimatene for Wi-Fi og WiMAX er basert på en rekke forutsetninger som blir angitt før estimatene. Ofte skiller teori og praksis en del ved trådløs teknologi. Forutsetningene om rekkevidden en basestasjon kan ha vil utgjøre en stor forskjell i resultatene fra estimatene.



Figur 26 - Kostnader ved Wi-Fi og WiMAX ved ulike rekkevidder på BS.

Figur 26 viser forskjellene i kostnad om man forutsetter noen ulike rekkevidder. Grafen til Wi-Fi er ikke linear på grunn av forskjeller i hvor mange stasjoner som må kobles til sentralsystemet ved forskjellig antall basestasjoner. Figuren viser at ved andre forutsetninger om rekkevidde kan resultatene om hvem som er mest prisgunstig forandre seg. For eksempel vil man få en kostnad på 1 486 000 om man forutsetter en rekkevidde på Wi-Fi på 450 meter, noe som fortsatt er innenfor den teoretiske rekkevidden til Wi-Fi på opptil 3 km. Dette er lavere enn om man forutsetter en rekkevidde på 1 km for WiMAX, som medfører installasjonskostnader på 1 575 000. Rekkeviddene til Wi-Fi er basert på praktisk erfaring fra Jelle [24], mens det for WiMAX er lite praktisk erfaring enda. Dette kan bidra til feil i estimatene. Generelt sett er det mer informasjon om Wi-Fi utbygging, slik at kostnadene til den kan anses som sikrere enn for WiMAX, hvor det ikke fins like mye praktisk informasjon. Likevel er det forsøkt å finne praktiske rekkevidder ved å samle informasjon fra flere kilder. Planleggingsfaktoren er også en større del ved Wi-Fi-utbygging enn WiMAX, fra 2 % ved WiMAX alternativ 4, og 13 % ved Wi-Fi ved samme alternativ. Planleggingen av hvert enkelt

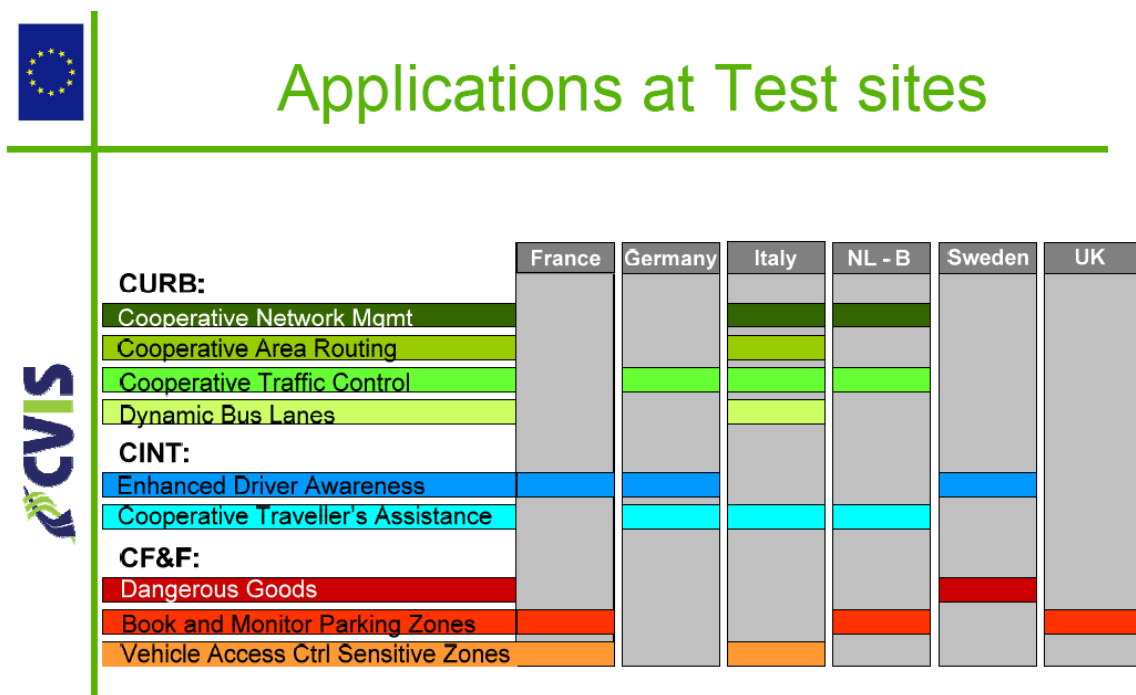
site er basert på kunnskap ut i fra Wi-Fi, slik at omfanget av planlegging for WiMAX er et estimat og ikke basert på praktisk erfaring. Dette kan påvirke resultatene.

I 6.5 sammenlignes kostnadene ved å bygge ut UMTS (HSDPA) og CDMA2000 med WiMAX. Det er ikke funnet tilsvarende tall fra Wi-Fi. Denne utregningen baserer seg på informasjon fra WiMAX forum, da det ikke er funnet andre kilder for lignende sammenligning. Denne utregningen er muligens den med flest antagelser, og kostnadene bør derfor sees på som grove. Likevel gir de et bilde på at om man ønsker høy overføringshastighet, vil WiMAX være mer kostnadseffektivt enn 3g-nettene, mens om man ikke har krav til kapasitet vil 3g-nettene være et godt alternativ, med de gitte forutsetningene.

7 Case - Trondheim som test site i CVIS-prosjektet

I dette kapittelet blir det skissert hvordan en utbygging av nett langs veien kan bidra til at Trondheim blir et teststed i CVIS-prosjektet. Det vil også bli gitt et grovt estimat for kostnadene ved de forskjellige alternativene som foreslås.

For å komme med i CVIS-prosjektet bør man ta sikte på å få testet ut noen av problemstillingene prosjektet ønsker svar på. Det vil være naturlig å sammenligne med test site i Sverige.



Figur 27 - Noen teststeder i CVIS-prosjektet, og deres arbeidsområder, fra [56].

Et teststed i Norge kan også være nyttig for å få testet ut diverse klimatiske problemer som snø og kulde som ikke så ofte oppstår lenger sør i Europa. Varsling om vanskelige kjøreforhold vil i denne sammenhengen være interessant, noe som faller inn under COMO-delen i CVIS. Siden QFree ligger i Trondheim og de er med i utviklingen av både CALM og CVIS, kan det være naturlig å i tillegg test ut noe innenfor DCSR som de har nøkkelkompetanse på. Blant annet er Precrash en tjeneste som både kan benytte seg av CALM M5-mediene og DSRC. Dette kan være bil til bil kommunikasjon som varsler bråbrems eller saktegående kø, eller om ulykke. Dette vil falle in under CURB og CINT delprosjektene. Figur 27 viser noen av teststedene i CVIS og deres arbeidsområder.

Statens vegvesen eier i dag all infrastruktur langs veien og vil være en naturlig part i en slik utbygging. De har også en egen ITS-strategi som et slikt prosjekt bør falle inn under. Trådløse Trondheim er Norges største Wi-Fi-nett, og tester i disse dager ut en WiMAX-basestasjon som skal sikte på trikken i byen [45]. Erfaringen de sitter inne med i forbindelse utbyggingen av nettet i Trondheim vil være verdifull å benytte i en utbygging. Sintef har allerede et pågående prosjekt "den instrumenterte vei", som det vil være aktuelt å koble inn. Videre gjøres det flere studier av ITS ved NTNU samtidig som det fins mange studenter som kan bidra i forbindelse med prosjekt og masteroppgaver. Qfree har i lang tid vært inne i CALM og CVIS prosjektene og sitter på kjernekompetanse, spesielt ved "short range" kommunikasjon som bomstasjoner, og dette kan være aktuelt å trekke inn i et teststed i Trondheim.

7.1 Mål med utbyggingen

Målsetting er å bygge ut et kontinuerlig nett som gir mulighet til følgende:

- Lage og teste tjenester innefor CINT og CURB ved å benytte seg av COMM og CALM-medier. Disse tjenestene kan være:
 - eCall
 - Precrash advarsel
 - styre variable skilt
 - trafikkinformasjon - Gi fører korrekt og oppdatert informasjon om trafikk på strekningen, føreforhold og alternative ruter. Dette inkluderer også fartsgrenser og andre restriksjoner for kjøretøy.
- Samle inn informasjon fra kjøretøy til myndigheter
- Kommunisere bil til bil, både direkte og via nettverk.

7.2 Begrunnelse for valg av strekning

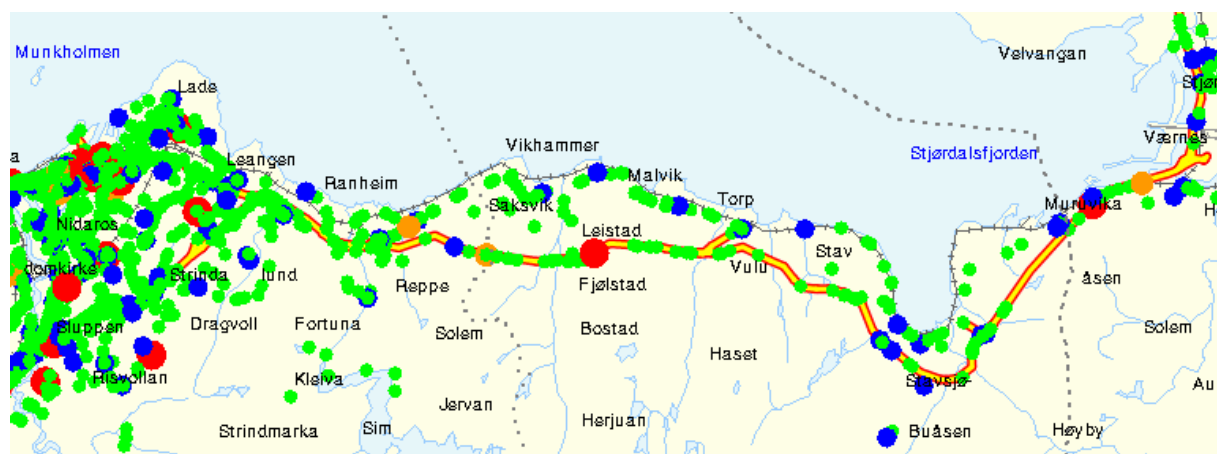
Strekningen jeg velger å utrede er fra Trondheim Sentrum til Værnes flyplass.

7.2.1 Ulykker

Statens Vegvesen definerer ulykkespunkter og ulykkestrekninger slik [7]:

- Ulykkespunkt er en strekning på under 100 meter der det har vært 4 eller flere ulykker med personskade de siste 4 år.

- Ulykkestrekning er en strekning på 1 kilometer der det har vært 4 eller flere ulykker med personskade i løpet av de siste 4 år.



Figur 28 - Trafikkulykker på strekningen Trondheim - Værnes fra 1999 til 2006, fra [57].

Figur 28 viser trafikkulykker på strekningen fra 1999 til 2006. Det er dermed flere ulykkespunkt og ulykkestrekninger, siste oversikt er fra 2006 med data om ulykkespunkt og strekninger samlet inn fra 2002 til og med 2005. Disse er vist i tabell 11 og 12.



Ulykkespunkt
Kryss Olav Tryggvasons gate - Fjordgata
Kryss Olav Tryggvasons gate - Krambugata
Kryss Olav Tryggvasons gate - Kjøpmannsgata
Kryss Innherredsveien – Nonnegata
Kryss Innherredsveien – Dyr Halses gate
Kryss Innherredsveien – Mellomveien
Kryss Innherredsveien – St. Dahls gate
Kryss Innherredsveien – Thomas Hirsch gate
Kryss Innherredsveien – Bromstadveien
Kryss Innherredsveien Ranheimsveien

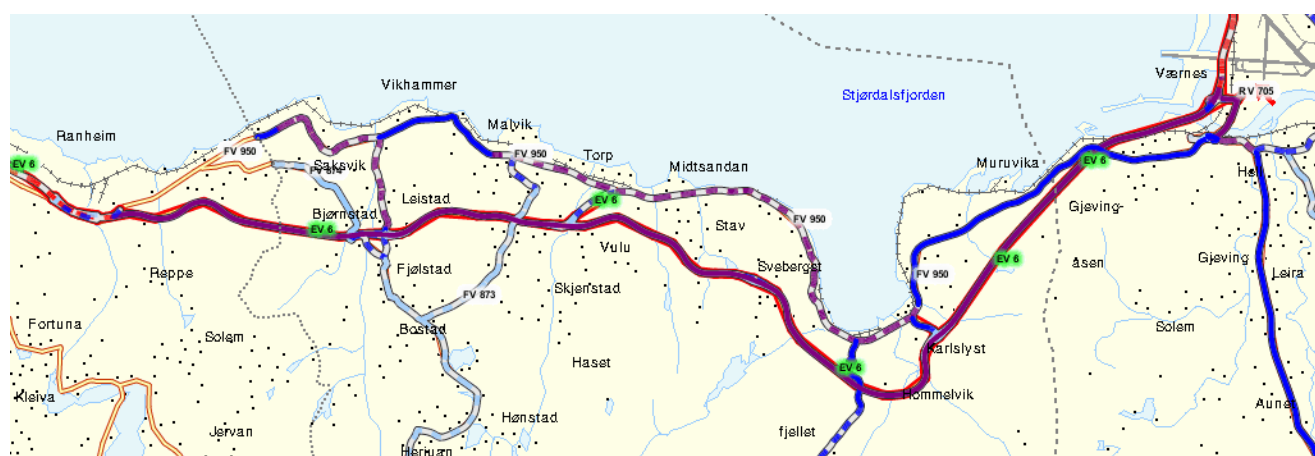
Tabell 11 - Ulykkespunkt på strekningen Trondheim - Værnes, fra [58].

Ulykkesstrekninger:	
E6 Svømmehallen – Bakke bru	31 ulykker
E6 Bakke kirke – Rundkjøringen Solsiden	13 ulykker
E6 Solsiden – Statoil Innherredsveien	26 ulykker
E6 Statoil Innherredveien – KBS	25 ulykker
E6 Nidar – Travbanen	13 ulykker

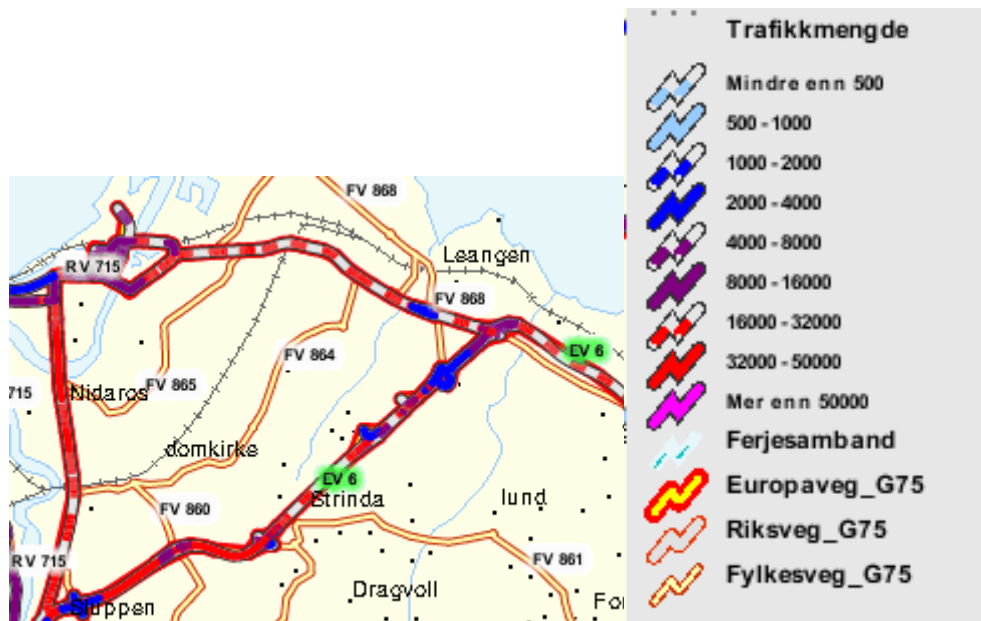
Tabell 12 - Ulykkesstrekninger fra Trondheim til Værnes, fra [58].

Som tabellene viser er det 5 ulykkestrekninger og 10 ulykkespunkt som dekkes av utbyggingen. I tillegg viser figuren at det på motorveien er flere alvorlige ulykker der det er drepte personer. Fra et trafikksikkerhetssynspunkt er dette derfor en aktuell strekning å bygge ut i Trondheim. Det er denne strekningen og strekningene E6 sørover (Trondheim-Melhus) som er mest ulykkesutsatt av veien rundt Trondheim [58]. Med bakgrunn i data fra 2001 til 2005 er det beregnet at kostnaden for personskader i Trondheimsområdet koster samfunnet 491,7 millioner per år [58]. En drept i trafikken vil koste samfunnet rundt 26,5 millioner [58]. Både personmessig og økonomisk er det et argument å bygge ut strekninger som er ulykkesutsatt, som deler av Trondheim -Værnes er.

7.2.2 Høy trafikk



Figur 29 - Trafikkmengde på strekningen Ranheim - Værnes, fra [57].



Figur 30 - Trafikkmengde på strekningen Trondheim Sentrum - Ranheim og forklaring av fargekoder, fra [57].

Figur 29 og 30 viser at det er 8000-16000 bilpasseringer per døgn på store deler av strekningen, og enda mer i bykjernen. Disse tallene gjelder til sammen på begge retninger [57]. I nasjonal målestokk er dette relativt mye, og veien er en av de mest trafikkerte veiene rundt Trondheim. Det er naturlig å ta hensyn til trafikkmengde når man avgjør hvilke strekninger som skal bygges ut, så trafikkmengden er et argument for utbygging av denne strekningen.

7.2.3 Kommersielle muligheter

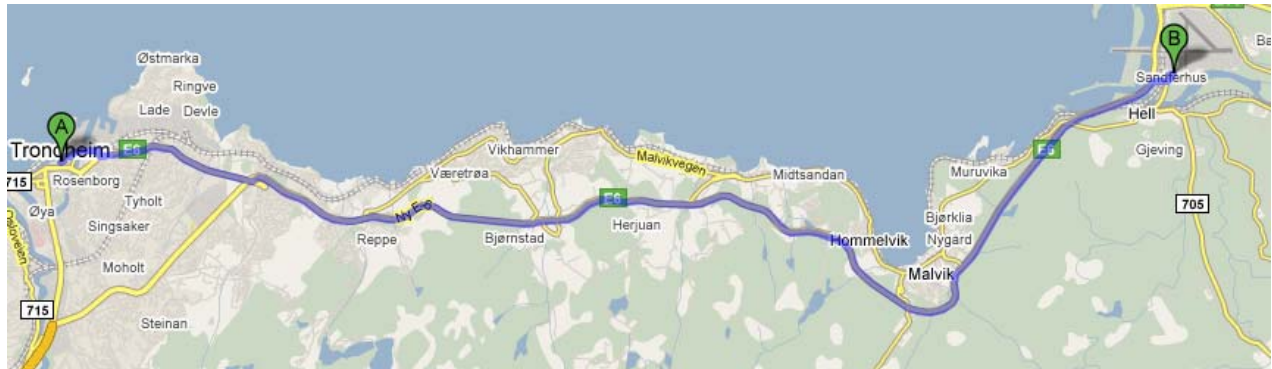
Strekningen fra Trondheim til Værnes blir benyttet for å komme til flyplass. Mange tar flybuss eller flytaxi, og siden turen ofte tar over 30 minutter, vil det være aktuelt å tilby tjenester som internett, mail og andre underholdningstjenester på strekningen. Dette vil være et incentiv for private som kan se mulighet for å kommersialisere produkt rettet mot bruker av denne strekningen. Strekningen kan derfor være å anse som en av de mest kommersielt interessante i området rundt Trondheim.

7.2.4 Andre momenter

Det er allerede en del infrastruktur i området som gjør en utbygging rimeligere [13]. Det er fire tunneler som må tas med i betraktningen, og som kan kreve ekstra tiltak. Likevel kan det

være interessant å undersøke hvordan overføringsteknologiene presterer i slike omgivelser for å tilegne seg praktiske erfaringer.

7.3 Beskrivelse av strekning



Figur 31 - Strekningen Trondheim - Værnes, fra [59].

Strekningen er totalt 31 kilometer og går fra Trondheim sentrum til Værnes lufthavn [59], som figur 31 viser. På dette strekket er det fire tunneler. Geografien er ellers småkupert, delvis dyrket mark, delvis skog og sjølinje. Fartsgrensene varierer fra 50 km/t i byområdet, til 90 km/t på størstedelen av strekningen.

7.4 Infrastruktur langs veien

Følgende infrastruktur i forbindelse med ITS finns per i dag, fra [13] og [1]:

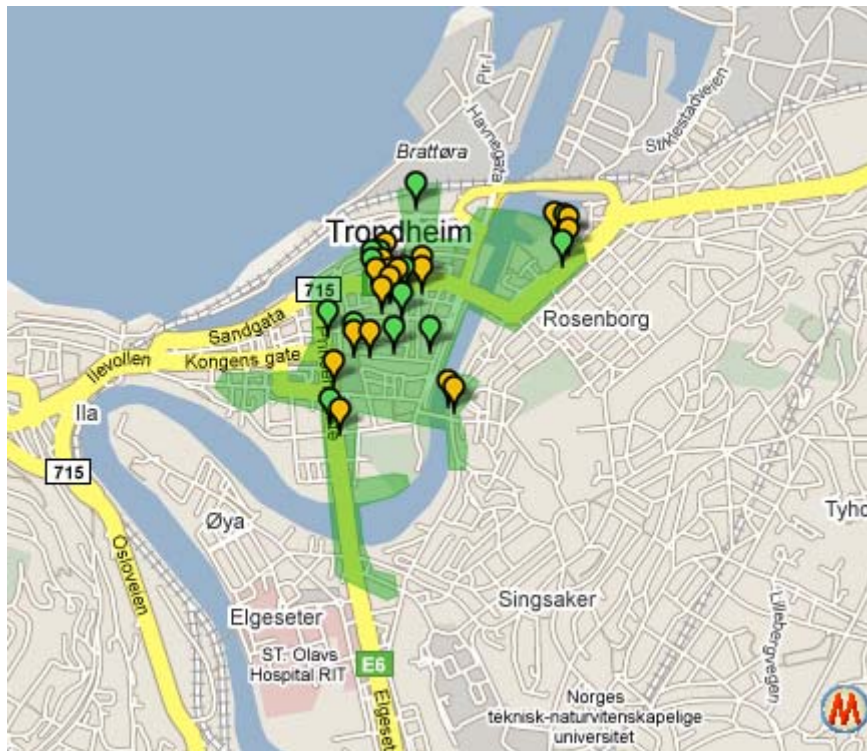
- Statens Vegvesen har 6 singelmodus fiber langs strekningen.
- 7 tavlerom for fiberkabler, kobberkabler og trekkør langs strekningen.
- Kablene går langs vei, bortsett fra i Hommelvik der de ligger i høyspentledningen.
- Statens veivesen bruker i dag kobber for å styre automatikken langs veien, men har planer om å ta i bruk fiber etter hvert
- Grilstad - Værnes: både rør og kabler på hele strekningen.
- I Grilstadtunnelen er det kommunikasjonsservere, og fast leid linje til veitrafikksentralen.
- I Helltunnelen er det 6 kamera som er oppringt fra VTS.
- Fotoboks i Helltunnelen
- To vektstasjoner på Leistadåsen

- En fartstavle ved Storsand
- Skilt som viser omkjøring ved stenging av tunnelene, ved påkjøringsramper.

7.5 Eksisterende nettverk langs veien

I dette avsnittet gis det en oversikt over hvor det allerede er Wi-Fi, WiMAX, UMTS eller CDMA450-nett på strekningen. Når det gjelder UMTS er det flere aktører i Norge som tilbyr slikt nett. Jeg har valgt å fokusere på Telenor, som er den operatøren med mest UMTS-dekning i Norge [60].

Nett trådløse Trondheim:



Figur 32 - Oversikt over Trådløse Trondheims dekning med Wi-Fi. fra [61].

I Figur 32 viser lysegrønn skygge hvor Trådløse Trondheim har utendørs dekning, grønne nåler viser bygninger med innendørs dekning, mens gule nåler viser bygninger med delvis dekning.

UMTS-nett Telenor



Figur 33 - Telenors UMTS dekning når man er i bil, fra [32].

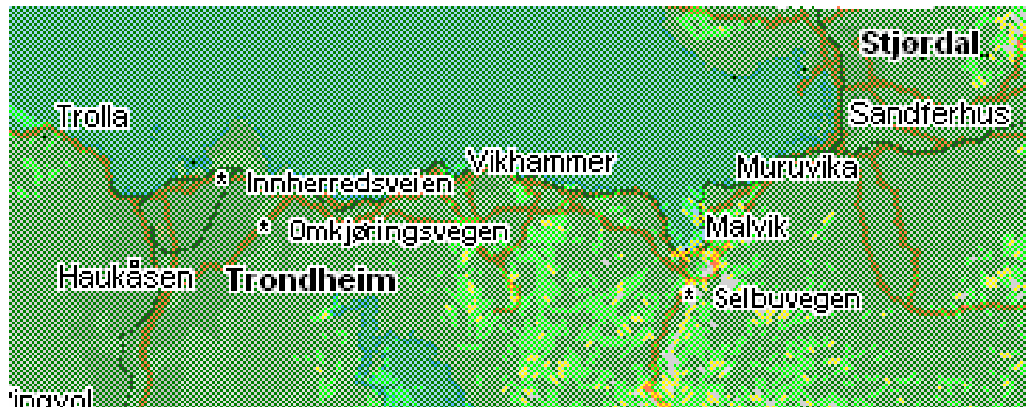
Figur 33 viser hvor Telenor tilbyr UMTS dekning når man er i bil. De grønne områdene viser dekningen, og som figuren viser er det dekning alle plasser unntatt ett. Det er Væretunnelen som er 1625m lang [62]. Her er det derimot GSM-dekning som kan benyttes sømløst i UMTS-nettet [32].



Figur 34 - Telenors turbo3G-dekning, fra [33].

Figur 34 viser hvor Telenor tilbyr turbo-3g-dekning (HSDPA) på strekningen. Dette samsvarer stort sett med hvor Telenor tilbyr vanlig UMTS dekning. I tillegg har andre aktører som Netcom UMTS dekning i området, men dette er ikke like godt bygd som Telenor sitt nett [32].

CDMA450 nett ICE



Figur 35 - ICE sin CDMA450-dekning, fra [54].

Figur 35 viser hvor ICE tilbyr dekning med sitt CDMA450-nett. Mørk grønnfarge tilsvarer meget god dekning, mens lysegrønt betyr god dekning og gult betyr dekning. For å motta signal i kjøretøy er man avhengig av god eller meget god dekning [54].

Vis kategori info

USB Modem

- Meget god dekning
- God dekning
- Dekning.

Retningsantenne kan være påkrevd

WLAN Modem

- Meget god dekning
- God dekning
- Dekning.

Retningsantenne kan være påkrevd

Oppdatert 2008-02-25

7.6 Forslag til ny infrastruktur

Som dekningskartene viser er det både UMTS, turboUMTS og CDMA450-dekning på strekningen, med unntak av en tunnelstrekning der det ikke er UMTS-dekning. Siden dette skal være et teststed bør flere nettekologier testes ut. Siden det allerede er UMTS og CDMA450-nett langs store deler av strekningen velger jeg å fokusere på en utbygging av Wi-Fi og WiMAX-nett. Som figur 1 og 2 viser er deler av strekningen definert som ulykkesstrekning, og flere områder definert som ulykkespunkt. Dette er punkter som veier for et høyhastighetsnett som Wi-Fi eller WiMAX på strekningen. For å teste ut enda mer innen CVIS, og på grunn av det sterke teknologiske miljøet i Trondheim, kan det også være aktuelt å lage en prototyp av en ruter, der både Wi-Fi, WiMAX, UMTS og CDMA450 kan tas inn, og at enheten selv velger det best tilgjengelige nettet. Jeg forutsetter et samarbeid med Trådløse Trondheim, slik at man blant annet kan gå sammen om WiMAX-ressurser. Samtidig som Statens Vegvesen samarbeider om bruk av infrastrukturen deres langs veien.

7.6.1 Alternativ 1: Wi-Fi

Alternativ 1 er å installere et Wi-Fi-maskenett langs strekningen som benytter seg av fiberen som allerede ligger der, med maksimalt 2 hopp. Enhetsprisene vil være de samme som ble definert i kapittel 6, og de blir derfor ikke gjennomgått en gang til. Figur 32 viser at det allerede er Wi-Fi nett i Sentrum og om lag en kilometer nordover E6. Likevel velger jeg å beregne kostnader for utbygging langs hele veien, for at topologien i nettet skal være konsistent. Trådløse Trondheim har allerede et sentralsystem i sitt nett. Også her med hensyn til å holde nett med forskjellig målsetting separat beregnes denne kostnaden for nytt sentralsystem inn.

Utstyr:

Strekningen er 31 km lang. Antall basestasjoner som kreves er da:

- 124 Wi-Fi aksesspunkt
- 21 av de må kobles til transportnettet, resten er trådløst tilkoblet.
- Sentralsystem

Infrastruktur:

- Det antas at gjeldende infrastruktur som Statens Vegvesen eier kan brukes til å installere basestasjonene. Dette kan være lyktestolper. Det kan også være aktuelt å benytte seg av annen infrastruktur, blant annet Stav hotell som er bygd over veien ved Stav.

Tilknytning transportnettet

- Siden det allerede ligger fiber langs strekningen, vil det være naturlig å bruke denne. Denne må lyses opp og kobles til resten av Internett. Jeg antar at syv av basestasjonene kan kobles inn der det allerede er tavlerom med opplegg for fiber, slik at kun 14 må termineres. Videre forutsetter jeg at det ved terminering er det lagt kummer, slik at uttak kan gjøres enkelt ved graving til kum til en kostnad av 1000 kr [24]. Her vil også Baneteles løsning med å leie en linje være løsningen

Planlegging og Drift

- For planlegging vil det i likhet med forrige kapittel beregnes 25 000 NOK per site som skal installeres med Wi-Fi.
- 10 % av utgiftene til aksessnettet vil utgjøre de årlige driftskostnadene.

Utbygging Wi-Fi 10km
 Utstyr:
 124 Wi-Fi-basestasjoner

	enheter	enhetspris	Totalt	Kilde
Utstyr				
Wi-Fi basestasjon	124	2 500	310 000	Jelle []
Annet utstyr og installasjon	124	5 000	620 000	Basert på Alnes [], Hagan []
Sentralsystem og annet	1	500 000	500 000	basert på Olexa []
Infrastruktur				
Strøm, uttak, leie av siter, div*	34	10 000	340 000	Basert på Alnes []
* 124 - 14 (to per sted det er tavlerom) - 14 (der to basestasjoner kobles på samme sted)				
Spektrum				
fritt 2,4GHz	0	0	0	
Planlegging				
	124	25 000	3 100 000	Basert på Jelle []
Tilknytning til transportnettet				
det ligger fiber langs vei				
Skap hvor uttaket skjer	14	15 000	210 000	Jelle []
Avtapping av signal	14	4 000	56 000	Jelle []
Strømuttak	14	2 000	28 000	Jelle []
Svitsj og annet	14	5 000	70 000	Jelle []
Graving	14	1 000	14 000	Jelle []
Montering	14	2 000	28 000	Jelle []
Leie fiber og tilkobling internett	1	5 000 + 10 000/mnd	5 000	Jelle []
			Capex	
Sum			5 281 000	NOK

	Nåverdi av kostnader for innstallering og 10 års drift*	Årlig leie	10 % drift av kostnader aksessnett
Sum Alternativ 1:	7 824 973	120 000	177 000

* Antar en diskonteringsfaktor på 5 %, og at prisene øker med 2,5 % hvert år

Tabell 13 - Kostnader knyttet til utbygging av Wi-Fi nett Trondheim -Værnes.

Tabell 13 viser at prisene på en Wi-Fi utbygging er 5 281 000 NOK. Nåverdien av en utbygging og ti års drift er 7 824 973 NOK.

7.6.2 Alternativ 2: WiMAX

Alternativ 2 er å dekke strekningen med WiMAX-punkter ved å benytte seg av gjeldene infrastruktur som fiber for å koble til transportnettet. Også her vil enhetskostnaden følge det som ble presentert i kapittel 6.

Utstyr:

- Radius 2 km – tenger 8 WiMAX basestasjoner
- Sentralsystem

Infrastruktur:

- Også her forutsettes det at gjeldene infrastruktur som i dag eies av Statens Vegvesen kan benyttes kostnadsfritt. Det kan også være aktuelt å benytte seg av annen infrastruktur, blant annet Stav hotell som ligger på tvers over veien ved Stav.

Tilknytning transportnettet

- Det ligger fiber nedlagt på hele strekningen. Denne tas ut ved 8 punkter. På grunn av plassering av tavlerom er det ikke sikkert alle disse lokasjonene passer med å montere basestasjonene. Antar at fire av basestasjonene kan plasseres i nærheten av de eksisterende tavlene der det er uttak av fiber, mens de resterende tre må det graves ned til en nærliggende kum for å terminere. Tilknytningen til resten av nettet leies av Banetele for 5000 NOK i installasjon og 10 000 NOK per måned i leie.

Planlegging og Drift

- For planlegging vil det i likhet med forrige kapittel beregnes 25 000 NOK per site for WiMAX stasjoner.
- 10 % av utgiftene til aksessnettet vil utgjøre de årlige driftskostnadene.

Utbygging WiMAX 10km
 Utstyr:
 8 WiMAX basestasjoner

	enheter	enhetspris	Totalt	Kilde
Utstyr				
WiMAX basestasjon	8	40 000	320 000	Teleplan [], Jelle []
Sektorer	16	35 000	560 000	Teleplan [], Jelle []
Antenner 60 grader	16	7 500	120 000	Teleplan [], Jelle []
Annet utstyr og installasjon	8	5 000	40 000	Basert på Alnes [], Hagan []
Sentralsystem (BS-kontrollere, kontrollsystem mm)	1	500 000	500 000	Basert på Olexa []
Infrastruktur				
Strøm, uttak, leie av siter, div	4	10 000	40 000	Basert på Alnes []
Spektrum				
leie spektrum	1	25 000	25 000	Jelle []
Planlegging				
	8	40 000	320 000	Estimert, lite erfaring enda. Basert på Jelle []
Tilknytning til transportnettet				
det ligger fiber langs vei				
Skap hvor uttaket skjer	4	15 000	60 000	Jelle []
Avtapping av signal	4	4 000	16 000	Jelle []
Strømuttak	4	2 000	8 000	Jelle []
Svitsj og annet	4	5 000	20 000	Jelle []
Graving	4	1 000	4 000	Jelle []
Montering	4	2 000	8 000	Jelle []
Leie fiber og tilkobling internett	1	5 000 + 10 000/mnd	5 000	Jelle []
			Capex	
Sum Alternativ 1:			2 046 000	NOK

	Nåverdi av kostnader for innstallering og 10 års drift*	Årlig leie	10 % drift av kostnader aksessnett
Sum Alternativ 1:	4 576 000	145 000	108 000

* Antar en diskonteringsfaktor på 5 %, og at prisene øker med 2,5 % hvert år

Tabell 14 - Kostnader knyttet til WiMAX-utbygging Trondheim -Værnes.

Tabell 14 viser at kostnadene for en WiMAX-utbygging langs strekningen vil være på 2 046 000 NOK. Nåverdiene av installasjonskostnader, leie, og drift i 10 år vil være rundt 4 576 000 NOK.

7.7 Forbehold om estimater

Som i delkapittel 6.5 må det også her taes forbehold om estimatene med hensyn på forskjeller i teori og praksis. Planleggingsfaktorene er en av de store kostnadsdriverne for Wi-Fi, med 3,1 millioner NOK kontra 320 000 NOK for WiMAX. Dette er på grunn av det høye antallet basestasjoner som kreves for Wi-Fi. Som tidligere nevnt kan estimatene om planleggingskostnader ha feil forhold mellom Wi-Fi og WiMAX.

Også landskapet kan by på utfordringer, og det er i dette kapittelet ikke tatt hensyn til at tunneler kan skape problemer, og muligens kreve plasseringer nær åpning eller inne i tunnelen, for å kunne gi kontinuerlig nett der. Her kan Wi-Fi ha en fordel på grunn av at de uansett må plasseres så nære hverandre at slike hindringer muligens ikke vil påvirke i samme grad som for basestasjoner med lengre rekkevidde. Om ekstra basestasjoner må settes ved inngangen til slike tunneler vil dette påvirke kostnadsberegningen, og da spesielt for WiMAX som har mer kostbare basestasjoner. Ellers er estimatene bygd opp som i kapittel 6, med de reelle forholdene om hvilken infrastruktur som allerede eksisterer tatt i betraktning.

7.8 Vurdering og Oppsummering

Gjennomgangen viser hvordan et trådløst nettverk langs veiene kan implementeres på strekningen Sentrum - Værnes. Det blir gitt grove kostnadskalkyler for utbygging av både Wi-Fi og WiMAX teknologi for å lage et nett som kan svare til målsettingen presentert i 7.1. Løsningene som er skissert vil dekke hele strekningen med et nett av Wi-Fi eller WiMAX-teknologi, og dekker flere ulykkestrekninger og ulykkespunkt.

Oppsummering	Wi-Fi	WiMAX
Investeringskostnader	5 281 000	2 046 000
Driftskostnader og leie	297 000	253 000
Nåverdi investering og 10 års drift	7 824 973	4 576 000

Tabell 15 - Oppsummering kostnader ved Wi-Fi og WiMAX.

Tabell 15 viser hvordan investeringskostnadene på selve det trådløse nettverket vil være på 5 281 000 for Wi-Fi-utbygging, med en nåverdi som inkluderer ti års drift på 7 824 973, og 2 046 000 for WiMAX, med en nåverdi på 4 576 000. WiMAX ser dermed ut til å være et mer kostnadseffektivt valg for å etablere et kontinuerlig nettverk på denne strekningen.

I tillegg vil et prosjekt som forspeilet innebære en stor del andre utgifter. For å utvikle tjenesten som målsettingen for det kontinuerlige nettet kan gi trengs mye utvikling og testing. CVIS teststedet i Sverige har et budsjett for en fireårsperiode på rundt 64 millioner svenske kroner. Om et slikt prosjekt får til en samordning, slik at tidligere prosjekter innenfor ITS kan benyttes på nytt, vil dette redusere de totale utgifter. Om man får kjøretøyene som er tenkt å benyttes i Sintef og Statens Vegvesens sin ”instrumenterte vei”, til å kommunisere med infrastrukturen kan dette redusere kostnaden til et slikt prosjekt. I tillegg er NTNU en institusjon der det hvert år gjøres mange master- og doktorgrader, og en slik teststed vil trolig gi interessante problemstillinger som studenter og forskere vil fordype seg i. Løsningen som er skissert viser hvordan kostnadene til et nettverk på strekningen er. I dette nettverket er det mange muligheter til å realisere CVIS-tjenester. Likevel vil det være realistisk å tro at et prosjekt vil komme opp i et tosifret antall millioner.

8 DISKUSJON

Dette kapitlet starter med en vurdering av kvalitative krav til de fire tjenestene presentert i kapittel 2. Videre blir det vurdert behov og disse og ITS-tjenester generelt. Etter dette sammenlignes de presenterte teknologiene og det drøftes fordeler og ulemper med disse teknologiene basert på teori, hvilke tjenester som kan tilbys og estimat fra tidligere kapitler. Avslutningsvis blir nåværende overføringsteknologier diskutert opp mot med fjerde generasjonsteknologier, og en vurdering av samordningsgevinster blir gjort.

8.1 Behov og kvalitative krav til de fire CVIS-tjenestene

Siden flere av tjenesten som er presentert i tidligere i teksten er nye vil trolig ikke behovene for sluttbruker være store i et kortsiktig perspektiv. På litt lengre sikt kan ITS-tjenester bidra til å redusere trafikkulykker og gi bedre hjelp ved ulykker (som for eksempel eCall). Bare å få informasjon om at den strekningen du kjører på er en ulykkestrekning, og før ulykkespunkt, vil trolig medføre redusert risiko. Man er da avhengig av rett informasjon til rett tid.

Ved et fungerende trafikkinformasjonsystem vil kø og andre hindringer kunne opplyses om, slik at med effektiv transport kan sikres. Som nevnt i kapittel 2 er det definert over 400 tjenester for ITS i veitrafikksektoren. Mulighetene er mange, og myndigheter har allerede i flere land sett behovene for mer automatikk i transportsektoren. Dette kan man se av Statens Vegvesens egen ITS-strategi som vist i figur 2.

Min vurdering av kvalitative krav for de fire tjenestene presentert i kapittel 2.

eCall trenger ikke strenge krav til mobilitet, da kjøretøyene sannsynligvis vil være stillestående eller ha lav fart når de skal bruke tjenesten. Tjenesten er basert på tale som ikke krever høy båndbredde. Tale har derimot et krav til forsinkelse for å unngå ekko, og for at toveis kommunikasjon skal være enkelt. Dette kravet er lavt eller middels målt mot det de fire overføringsteknologiene kan gi.

Precrash er avhengig av å ha lav forsinkelse da den skal sende korte meldinger om sanntidsinformasjon, som det er viktig at kjøretøyene rundt får så fort som mulig. Dette kan

også foregå i høy fart slik at kravet til mobilitet også er høyt. Overføringshastigheten er avhengig av hvor store meldinger som skal sendes og hvor ofte. Meldinger behøver ikke være store, men i gitte situasjoner vil det være behov for å sende mange meldinger på kort tidsrom, derfor setter jeg kravet til overføringshastighet til middels.

Styring av variable veiskilt gjøres i dag ofte gjennom kommunikasjon over strømledninger. Det er verken behov for store overføringshastigheter eller lav forsinkelse. Fordi skiltene er stasjonære er det også lavt krav til mobilitet.

Trafikkinformasjon er det viktig at kjøretøy i fart får når de trenger den, derfor setter jeg kravene til forsinkelse og mobilitet høyt. Meldingene som sendes trenger heller ikke her å være store, men hvis flere kjøretøy ønsker informasjon kan kravet til båndbredde øke, slik at kravet til overføringshastighet settes til middels.

Dette er oppsummert i tabell 16.

	Overføringshastighet	Forsinkelse	mobilitet i høy fart
eCall	Lav	Lav-middels	Lav
Precrash	Middels	Høy	Høy
Styring av variable veiskilt	Lav	Lav	Lav
Trafikkinformasjon	Middels	Høy	Høy

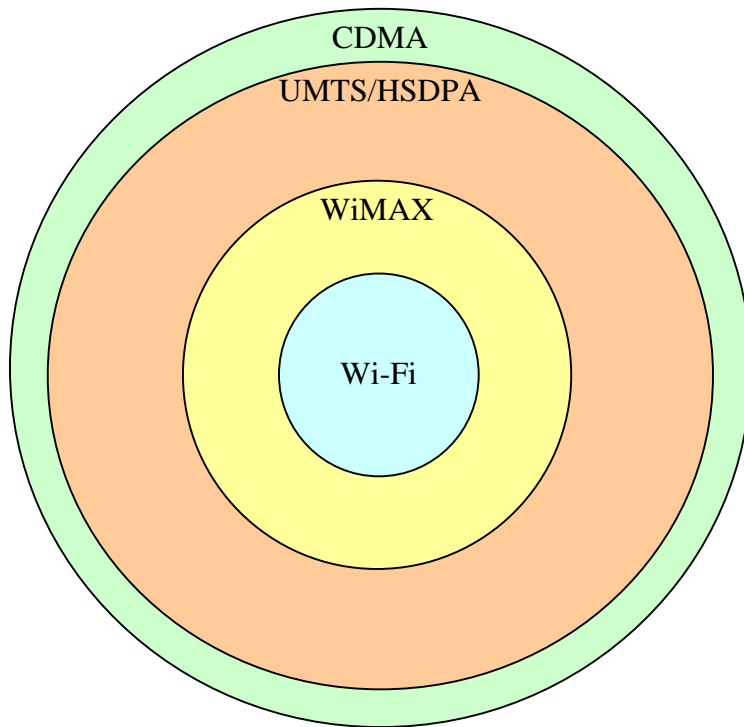
Tabell 16- Kvalitative krav til fire CVIS-tjenester.

8.2 Sammenligning overføringsteknologier

I tabell 17 gis en oppsummering av punkter som er avdekket i kapittel 3, 6 og 7.

Sammenligning Wi-Fi , WiMAX, WBMA og 3g (UMTS og CDMA-2000)						
	Wi-Fi	WiMAX	UMTS	UMTS-HSPA	CDMA2000/450	
Y t e l s e	Overførings- hastighet	54Mbps	15Mbps/7 Mbps ned	386kbps ned 64 kbps opp	14,4 Mbps ned/ 1,4 Mbps opp	17,7 Mbps ned 5,4 Mbps opp (typisk 300Kbps 2Mbps)
	Forsinkelse (dataoverføring)	50ms	25-40ms	500ms	125ms	50ms
	Celleradius	opp til 3 km, 250 meter anbefales	opp til 40 km (LOS) opp til 8 km(NLOS)	avhengig av overføringshastighet som ønskes <5km <30 km <100km	2-5 km	2-5km (gjelder CDMA2000)
	Mobilitet	<160km/t	<120-150 km/t	500 km/t - 144kbps 100 km/t - 384 Kbps	500 km/t - 144kbps 100 km/t - 384 Kbps 10 km/t - 2 Mbps	Samme krav og ytelse som UMTS-HSPA
	Kostnad 10km i Mill NOK	2,3-7,8 / Case: 5,3	1,2 - 6,7 / Case: 2,0	For en basestasjon ca 1 mill NOK	For en basestasjon ca 1 mill NOK	For en basestasjon ca 1 mill NOK
	Multiplex aksess / Duplex	OFDMA/ TDD	OFDMA/ TDD (FDD)	CDMA/ FDD	CDMA/ FDD	CDMA/ FDD

Tabell 17 - Sammenligning Wi-Fi, WiMAX, UMTS og CDMA, fra [21], [29], [25] samt estimater i kapittel 6 og 7.



Figur 36 - Oversikt rekkevidde Wi-Fi, WiMAX, UMTS og CDMA450.

Som figur 36 og tabell 17 viser er det stor forskjell i rekkevidde på de forskjellige overføringsteknologiene. Jeg har derfor først valgt å spesielt diskutere Wi-Fi opp mot WiMAX, WiMAX opp mot UMTS og CDMA450 og UMTS opp mot CDMA450. Etter dette tar jeg en overordnet diskusjon om de ulike alternativene.

8.2.1 Wi-Fi vs WiMAX

Wi-Fi har en klar startfordel fordi en god del sluttbrukerutstyr allerede har Wi-Fi-mottaker, og at prisene på dette utstyret har falt mye de siste årene. Derfor vil kostnaden for brukerne å ta i bruk Wi-Fi nett være mindre enn for WiMAX. Med Wi-Fi vil de fleste av dagens bærbare Pc-er vil kunne brukes i kjøretøy uten at annet ekstrautstyr trengs. Med en antenne-pakke som er foreslått i CVIS med mulighet for GPS, CALM M5, inkludert 2g/3g, og hvor WiMAX er med, vil dette fortrinnet til Wi-Fi vil være av mindre betydning.

Wi-Fi var opprinnelig optimert for innendørs bruk, mens WiMAX var laget for utendørs bruk. Samtidig var Wi-Fi utviklet som et local area network (LAN), mens WiMAX var laget for Metropolitan Area Networks (MAN). Målsettingen var altså at Wi-Fi skulle yte på små områder, mens WiMAX skulle være et nettverk med lengre rekkevidde. WiMAX oppnår dette ved blant annet å variere kanalbredden med SOFDMA, slik at det kan være flere brukere

innefor området enn Wi-Fi, selv om overføringshastigheten til de enkelte ikke er like høye. WiMAX skalerer dermed bedre enn Wi-Fi, noe som er viktig i et nett med ujevnt antall brukere i forskjellige tidsrom.

Beregningene både ved de generelle estimatene i kapittel 7 og de spesifikke kostnadene i Caset i kapittel 8 viste at det vil være rimeligere å bygge ut kontinuerlig WiMAX nett enn Wi-Fi. Som delkapittel 6.5 viser, vil rekkeviddene som de to teknologiene i praksis kan ha, være avgjørende for hvem som kan sees på som mest kostnadseffektiv. Wi-Fi har klart kortere rekkevidde enn WiMAX og i et trafikkmiljø vil et kjøretøy i 60 km/t bare være inne i en Wi-Fi sone i 15 sekunder. Det bør derfor gjøres tester for å finne ut om Wi-Fi i praksis vil klare å støtte de mobilitetskriteriene som er forespeilet med så hyppige handoff-prosedyrer som vil være nødvendig. Fordelen med kort rekkevidde er at om brukerne er mange, vil det være høyere kapasitet å tilby, da brukere må dele på kapasiteten i alle slags løsninger. Det kan derfor være en fordel med små celler. Siden prisen på Wi-Fi stasjoner er betydelig lavere enn for WiMAX-stasjoner, kan det ved etterspørsel etter høy båndbredde og mange bruker på et lite område, være mest gunstig med Wi-Fi.

Lisensierte frekvenser kontra ulisensierte

Wi-Fi er fritt spektrum, noe som gjør det rimelig for en utbygger å implementere. Siden frekvensene er frie kan man ikke nekte annen trafikk der. Et scenario er at annen trafikk virker forstyrrende på Wi-Fi-trafikken slik at kapasiteten blir lavere på grunn av støy. Konesjon på WiMAX-spektrum må man kjøpe ved auksjoner fra Post- og Teletilsynet. Med lisensierte frekvenser har man også tillatelse til å sende med høyere effekt, slik at rekkevidden blir større. I utregningene er det antagelser om priser på slike konsesjoner. Når man først har denne konsesjonen, vil WiMAX være et sikkert og rimelig alternativ i forhold til Wi-Fi for å få brukbare overføringshastigheter. Som utregningene viser vil WiMAX også være et rimelig medium som distribusjonsnett, både til Wi-Fi og andre WiMAX-nett, i forhold til å grave grøft og legge fiber.

Det er sannsynlig at det vil være plass til både WiMAX og Wi-Fi i framtiden, der Wi-Fi vil være å foretrekke der befolkningstettheten er stor som i byene, mens rundt byen vil WiMAX være et godt alternativ. WiMAX har en stor utfordring i å nå ut til sluttbrukere som har Wi-Fi utstyr.

ITS-muligheter

For Wi-Fi og WiMAX vil ITS-mulighetene stort sett være de samme. For eCall vil WiMAX kunne gi bedre talekvalitet på grunn av bedre muligheter for QoS i forhold til Wi-Fi. På veldig trafikkerte strekninger kan Wi-Fi være en fordel på grunn av sin lave rekkevidde og høye båndbredde. Likevel, fordi WiMAX er skalerbar, vil den trolig kunne yte like bra som Wi-Fi. De vil begge kunne gi tjenester under delprosjektene gitt i kapittel 2, CURB, CINT, CF&M. Samtidig vil begge teknologiene kunne være et alternativ i direkte kommunikasjon mellom biler, peer-to-peer, siden de har lav forsinkelse. Her er foreløpig Wi-Fi utstyr så mye rimeligere enn WiMAX at Wi-Fi vil være et godt alternativ om hvert kjøretøy skal ha en basestasjon.

8.2.2 WiMAX vs UMTS

Enkelte mener disse to teknologiene ikke bør sammenlignes fordi de har forskjellig bruksområde, mens andre mener de delvis overlapper i bruksområde [21]. Fokuset i WiMAX er hovedsakelig dataoverføring, mens UMTS er en videreføring av tale-fokuserte GSM, med dataoverføringer som et tillegg [21]. I fremtiden kan mangel på båndbredde og frekvenser for både å støtte tale, som krever god Quality of Service (QoS), og dataoverføringer i store mengder, bli et problem i UMTS, og 3G-teknologier generelt. På grunn av sin overføringshastighet, rekkevidde, lave forsinkelse og muligheten for å støtte QoS, kan WiMAX sees på som en utfordrer til UMTS [21].

Teknologisk skiller de to standardene seg fra hverandre blant annet ved at WiMAX benytter seg av OFDMA, mens UMTS bygger på versjoner av CDMA. OFDMA har med nåværende teknologi en fordel med at den tillater en bedre utnyttelse av hele frekvensene. Det gir også lavere forsinkelse på grunn av mer effektive modulasjonsteknikker som kan benyttes ved OFDMA. Ulempene ved OFDMA i forhold til CDMA er den deler opp båndbredden i kanaler, slik at man har et maksimalt antall brukere. Selv om dette er stort ved bruk av store kanaler (2048 bærere i 20MHz-kanal), vil en overbelastning føre til nedetid i nettet. CDMA deler ikke opp i kanaler og kan gi veldig liten overføringskapasitet til et større antall brukere. Støyen som må filtreres bort blir stor, men dette løses opp til et visst punkt ved at hastighetene som tilbys blir lave.

Kostnadene ved en utbygging vil isolert sett være dyrere for UMTS, om man ønsker å konkurrere på overføringshastighet. Dette viser estimer gjort i kapittel 6.5 Likevel bør man ta med i betraktning den allerede utbredte infrastrukturene av UMTS som er bygd. UMTS vil derfor være et alternativ så lenge nettet er bygd ut allerede. Mottakerutstyr for UMTS/GSM bør derfor være i en antenne ved kjøretøy.

Videreutviklingen av UMTS til HSDPA gjør at UMTS blir mer konkurransedyktig på overføringshastighet. Begge støtter QoS og trafikkprioriteringer. Valget mellom tale i WCDMA/HSDPA og VoIP/WiMAX er basert på to forskjellige teknologier, med VoIP som den billigste løsningen, men med WCDMA/HSDPA som den vanligste, og flere telefoner i dag støtter dette enn WiMAX. UMTS støtter seg på GSM nettet, slik at en mer trinnvis utbygging er mulig, samtidig som flere sluttbrukere har utstyr for UMTS enn WiMAX.

ITS-muligheter

WiMAX har langt lavere forsinkelse enn UMTS, og vil derfor kunne gi raskere oppdateringer, og støtte mer tidskritiske tjenester på grunn av dette. Til tjenester som eCall vil imidlertid UMTS være bedre enn WiMAX på grunn av sitt talefokus. Når det gjelder Precrash vil UMTS ha for mye forsinkelse til at tjenesten vil være effektiv. Begge vil kunne tilby trafikkinformasjon og styring av variable veiskilt, selv om dette er dataoverføringer som WiMAX er mer optimert for enn UMTS. Det vil derfor trolig være billigere å bruke slik dataoverføring ved WiMAX enn ved UMTS.

8.2.3 WiMAX vs CDMA450

Siden CDMA450 og UMTS ligner på hverandre, kan flere av de samme momentene som ble pekt på under WiMAX og UMTS diskusjonen i stor grad brukes også her. Derimot har ingen av disse fortrinn med å være kompatibel med tidligere utstyr. Det betyr at det vil kreves nytt og spesielt utstyr for bruk. Mens WiMAX er IP-basert, er CDMA450 er en mobil radioteknologi [27]. En hovedforskjell også her er multippel aksess teknologiene OFDMA og CDMA. En fordel med WiMAX er at den kan skalere kanalbredde dynamisk og etter behov, slik at tildeling av båndbredde blir mer effektiv, noe som bidrar til den lave forsinkelsen målt opp mot CDMA450.

Rekkevidden er bedre ved CDMA450, og det trengs mange flere basestasjoner av WiMAX for å få den samme dekningen som en CDMA450 basestasjon gir. Noen estimerer at det trengs 35 ganger så mange WiMAX basestasjoner som CDMA450 [63]. CDMA450 vil derfor være et godt kostnadseffektivt alternativ når rekkevidden er viktig, mens WiMAX vil være å foretrekke om overføringshastighet er det viktigste, noe estimatene i kapittel 6 vider. En fordel med den store rekkevidden til CDMA450 er at det er mye færre handover som kreves langs en strekning, og på den måten brukes mindre båndbredde til slikt.

ITS-muligheter

Verken WiMAX eller CDMA450 er i dag optimalisert for tale, likevel vil CDMA450 trolig kunne tilby bedre talekvalitet enn WiMAX fordi den bygger på CDMA2000-standard som er laget med hovedfokus på tale. Precrash-tjenesten vil WiMAX være å foretrekke. Begge kan styre variable veiskilt. Som diskusjonen viser har de to teknologiene forskjellig anvendelsesområde, og en sameksistens mellom teknologiene vil kunne være aktuelt, siden CDMA450 har rekkevidden, mens WiMAX har mobiliteten og overføringshastighet.

8.2.4 UMTS vs CDMA450

Både UMTS og CDMA450 baserer seg på CDMA som multippel aksessteknikk. Som gjennomgått i kapittel 3 er de relativt like rent teknologisk, med mange av de samme løsningene på det fysiske lag. Derfor gir de forholdsvis lik ytelse, selv om CDMA450 teoretisk sett gir større overføringshastighet. Med det datagrunnlaget som er funnet vil kostnadene per basestasjon være omtrent det samme. Fordi CDMA450 opererer på 450 MHz-båndet mens UMTS benytter seg av 2,1 GHz-båndet vil CDMA450 ha lengre rekkevidde på grunn av signalpropagasjon som vist i figur 15 i kapittel 3. Forsinkelsen er også mindre i CDMA450. Fordelen med UMTS er at den bygger på allerede veletablerte GSM og støtter roaming og handover til dette nettet, samt at QoS for tale er veldig bra. Flere brukerterminaler støtter også UMTS enn CDMA450. CDMA450 er foreløpig ikke optimalisert for tale, og benyttes for å tilby mobilt bredbånd. Utvidelsene av UMTS ved HSDPA og HSUPA gjør UMTS mer konkurransedyktig på overføringshastighet.

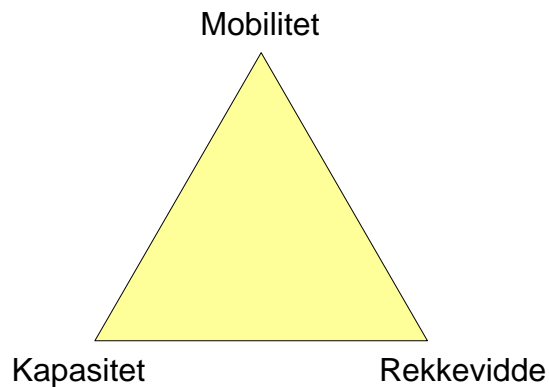
ITS-muligheter

Tar man utgangspunkt i de fire tjenestene som er presentert tidligere vil begge teknologiene gi omtrent samme ytelse på disse tjenestene. Siden UMTS er mer optimalisert for tale, samt at

det fins flere brukerterminaler, og dermed rimeligere utstyr til kjøretøyene, kan UMTS anees for å ha en fordel over CDMA450 på eCall-tjenesten. CDMA450 har lavere forsinkelse enn UMTS, og dermed et bedre valg for Precrash-tjenesten, selv om heller ikke CDMA450 vil være optimalt på grunn av at forsinkelseskravene er veldig høye på denne tjenesten. For styring av variable veiskilt og trafikkinformasjon kan begge brukes, selv om det er avhengig av hva hvilke forsinkelseskrav som settes til trafikkinformasjon-tjenesten.

8.2.5 Oppsummering av overføringsteknologier

Overføringshastighet og rekkevidde blir ofte nevnt i samme setning. Det er derimot slik at hvis man ønsker lang rekkevidde, vil overføringshastigheten gå ned, og motsatt. Figur 37 viser disse motsetningene.



Figur 37 - Motsetninger mellom kapasitet, rekkevidde og mobilitet

Ett annet viktig moment i flere av tjenestene som er knyttet til ITS er forsinkelse. Tiden det tar fra respons til svar kan være avgjørende for en tjeneste. Dette er spesielt viktig når hastigheten til kjøretøyene er høye. Om man kjører i 80 km/t beveger man seg 36 meter per sekund. Avstanden i bevegelse i latenstiden vil for UMTS da være 18 meter, mens den for WiMAX og Wi-Fi er fra 1-5 meter. Dette kan være kritisk ved informasjon om trafikk eller føreforhold.

	Overførings- hastighet	Forsinkelse	Mobilitet i høy fart	Passende overføringsteknologi
eCall	Lav	Middels	Lav	UMTS, alternativt CDMA450, WiMAX og Wi-Fi
preCrash	Middels	Høy	Høy	WiMAX eller Wi-Fi
Styring av variable veiskilt	Lav	Lav	Lav	Alle, WiMAX og Wi- Fi mer tilrettelagt for slike dataoverføringer
Trafikkinformasjon	Middels	Middels	Høy	WiMAX og Wi-Fi

Tabell 18 - Tjenestenes krav og passende teknologier

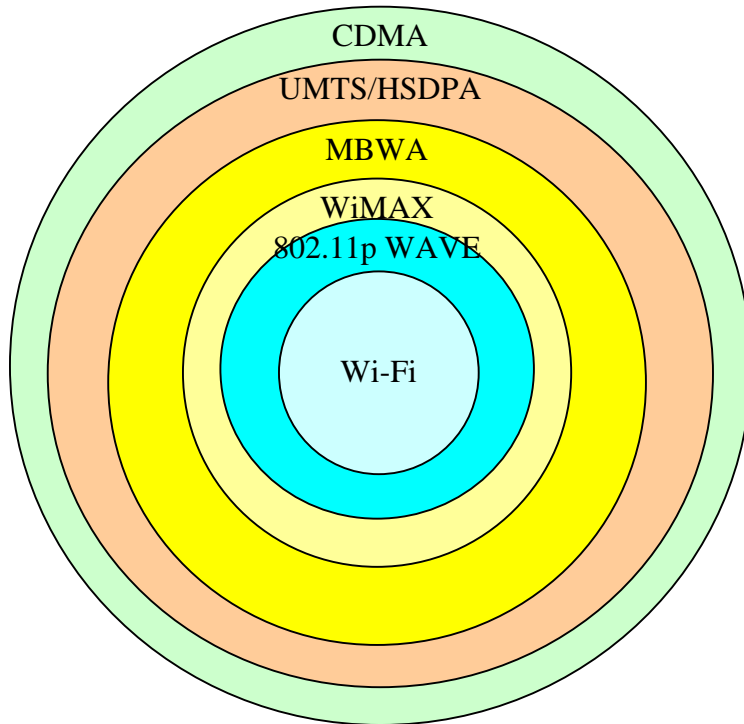
Tabell 18 oppsummerer hva jeg anser som passende overføringsteknologi for de presenterte tjenestene, basert på den foregående diskusjonen.

8.3 Wi-Fi, WiMAX, UMTS, CDMA450 vs 4g og NGN

Framtidas teknologier vil være forbedringer av nåtidens teknologier. Flere ser for seg en konvergering mot ett nett. Dette vil trolig være basert på IP, slik CVIS ser for seg, men at aksessteknologien vil være forskjellig. Som figur 16 i kapittel 3 viser, vil alle teknologiene komme med forbedringer som går inn i, eller mot 4g-betegnelsen. Ingen teknologi som er på markedet i dag har fortrinn på alle kriterier, slik at et soleklart førstevalg er vanskelig å se. Slik vil det trolig være også i framtiden. Noen har fordel når det gjelder tale, noen med dataoverføring, andre igjen med rekkevidde eller pålitelighet og sikkerhet.

Selv om det kommer utstyr som stadig forbedres viser historien at selv teknologi med dårligere ytelse kan leve lenge og ha meget stor nytteverdi. UMTS har vært på markedet i flere år, likevel er det GSM som blir mest brukt på mobilmarkedet til nå. Dette skyldes at brukerterminalen er mer vanlig og billigere, samt at bruk også er rimeligere enn ved UMTS. Slik vil det trolig være i inngangen til enda nyere teknologier også. Selv om man gjør en utbygging nå med teknologi som kan bli utkonkurrert, vil ikke alle investeringene være tapte. Kostnaden for tilknytning til transportnettet er en svært stor kostnadsdriver. Hvis man for

eksempel må legge ny fiber inkludert graving står dette for en stor del av kostnadene knyttet til utbyggingen. Estimerer i kapittel 5 som viser at graving og legging av fiber utgjør 70 % og 83 %, noe som stemmer overens med annen litteratur på området [46]. Denne fiberen eller tilknytningen til transportnettets vil naturligvis kunne brukes om igjen.



Figur 38- Oversikt over nåværende og framtidige teknologiers rekkevidde.

Figur 38 viser hvordan kommende teknologier plasserer seg når kriteriet er rekkevidde. Det vil komme flere aksessteknologier med overlappende bruksområde. 802.11p (WAVE) er tenkt som løsning i CVIS [16]. Både for kjøretøy til kjøretøy, ved at hver bil har en basestasjon, og ved infrastruktur til kjøretøy kommunikasjon. Fordelen er at den er laget for nettopp mobilitet, har høy overføringshastighet og lav forsinkelse [16]. Selv om WiMAX kan se ut som et godt alternativ både med tanke på kostnader og overføringshastighet i dag, er det også det alternativet som kommer til å møte flere overlappende teknologier framover. Det ser ut til at WAVE vil kunne konkurrere og være bedre på mange områder når man relaterer til ITS.

Et annet punkt å merke seg er de fleste 4g-standardene som er under utarbeidelse (LTE fra UMTS, UMB fra CDMA2000, samt MBWA og WRAN) skal benytte seg av eller støtte ulike versjoner av OFDMA. I tillegg har det allerede vært en utvikling mot IP som transportelement, og dette ser ut til å fortsette.

Frekvensressurser kan også føre til en forsinkelse i utviklingen siden flere store operatører har lagt store penger spesielt i UMTS konsesjonen, men også WiMAX. Det er flere som eier frekvenser tiltenkt begge teknologiene, og det at de vil ha avkasting på sin UMTS satsing, kan føre til at de ikke er like raske med å bygge ut en teknologi som WiMAX, som på en del områder kan være en direkte konkurrent til UMTS.

”Alltid best tilkoblet” er et prinsippet hvor brukere kan roame sømløst mellom forskjellige nett, slik at man alltid er tilkoblet det nettet som gir best tilkobling [38]. Dette er et prinsipp som kan være veldig nyttig for sluttbruker, og har potensial for å forandre foretningsmodeller med tanke på Service Level Agreement (SLA). Med forskjellige eier av nettene, er det komplekse avtaler som må innføres med tanke på hvem som skal få betalt om sluttbrukeren selv ikke bare betaler en sum for å være tilkoblet.

8.4 SAMORDNINGSGEVINSTER

Flere store prosjekter er under utbygging eller i planleggingsfasen. GSM-R, det nye nødnettet TETRA, Digitalt bakkenett for TV, UMTS-utbygging og CDMA450-utbygging er noen utbygginger som bruker radiobasert aksess til sluttbrukerne. Teleplan slår fast i en rapport om nødnettprosjektet at gevinstene med en samordnet utbygging vil være begrensede [46]. Teleplan estimerte samordningsgevinstene til mellom NOK 13 millioner og 26 millioner per år [46]. Forutsetningen virker derimot uklare, noe også Post og Teletilsynet påpeker i sine merknader til denne rapporten [64]. Når man ser på kostnadsestimatene for Wi-Fi og WiMAX, ser man at om det må graves grøft for å legge kabler, vil dette utgjøre rundt 80 % av den totale kostnadene. Om samme grøfter, og av å til samme fiber kan brukes, vil dette redusere kostnadene mye. For eksempel koster en WiMAX utbygging rundt 1,2 millioner NOK om infrastrukturen til transportnettet allerede er utbygd. Om det må graves grøft og legges kabel øker utgiftene til rundt 6,7 millioner. Dette gjelder en veistrekning på bare 10 kilometer. Spesielt infrastruktur rundt togsatsingen på GSM-R, samt TETRA utbyggingen kan være aktuelle å samordne opp mot et fremtidsperspektiv der det ligger fiber langs store deler av stamveisystemet i Norge. Man kan likevel legge egne fiber slik at ønsket kapasitet blir opprettholdt. Som nevnt i kapittel 3 synes fiber å være en sikker og fornuftig løsning for tilkobling til transportnettet. Flere ser for seg mangel på radiofrekvenser i framtiden, slik at disse frekvensene først og fremst bør brukes i aksessnettet, og ikke over lange avstander i

transportdelen av nettet [65]. En samordning for fiberinfrastruktur vil derfor kunne gi betydelige besparelser under en utbygging.

Det vil også være samordningsgevinster ved å legge til rette for trådløse nettverk ved utbygging av nye veianlegg. Dette gjøres ved å legge fiber eller trekkrør langs veien, og kummer for uttak.

9 KONKLUSJON

Stadig økende transport langs veinettet stiller krav til økt trafikksikkerhet og effektivitet. ITS kan bidra til å løse noen av de utfordringene dette fører med seg. Oppgaven har vist at det teknologisk sett er mulig å realisere et kontinuerlig nett langs vei for ITS-bruk. I dag er Wi-Fi, WiMAX, UMTS og CDMA450 teknologier som kan gi kontinuerlig nett langs vei med akseptable overføringshastigheter. Min gjennomgang viser at ingen av de nevnte teknologiene er betydelig bedre enn de andre når kriterier som rekkevidde, overføringshastighet, mobilitet og kostnader sammenlignes. Løsninger vil derfor være en trade-off mellom disse kriteriene. Case oppgaven viser hvordan et kontinuerlig nett kan realiseres på strekningen Trondheim-Værnes med Wi-Fi og WiMAX. Nettet som er foreslått kan brukes i tjenester som CAVIS foreslår for CALM M5-mediene.

Kostnadsestimatene viser at et kontinuerlig nett med WiMAX vil være rimeligere enn med Wi-Fi. Case-oppgaven med detaljerte beregninger på strekningen Trondheim-Værnes underbygger dette. Selv om kapasiteten er lavere, vil WiMAX på grunn av sine egenskaper med rekkevidde, skalerbarhet, QoS og mobilitet, være et kostnadseffektivt valg ved utbygging av høyhastighetsnett langs veien. Å bygge ut 3g nettene UMTS og CDMA450 til å gi like store overføringshastigheter som WiMAX, vil ikke være kostnadseffektivt. Likevel vil 3g nettene spille en rolle i kommunikasjon på grunn av sine lange rekkevidder og den allerede gode dekningen i Norge, samt i områder der det tar tid eller ikke vil være behov for å bygge ut annet nett. Oppgaven har vist at infrastruktur og tilkobling til transportnettet er de største kostnadsdriverne. Selve aksessnettet består bare av 10-20 % av utgiftene om man også må grave grøfter og legge kabler for tilgang til transportnettet. Det vil derfor være betydelige samordningsgevinster ved å planlegge infrastrukturen på tvers av utbygginger som nå er i startfasen eller under planlegging, slik at kostnaden kan deles.

I framtiden vil dagens teknologier forbedres i form av 802.11p, 802.16m, LTE og UMB, og enkelte nye teknologier, som MBWA og WRAN utvikles. Dette vil øke mulighetene for ITS. Selv om det teknologisk sett ser ut til å gå mot en samling med IP som transportbærer, og med forskjellige typer av OFDMA som multippel aksess-teknikk, vil det bli flere alternativer for valg av aksessnett. Samspill mellom nettene og ”best tilkoblet”-prinsippet vil derfor være viktig i kommunikasjon i ITS. Utbygging av ITS berører mange fagfelt. Det er der derfor komplekst å utvikle, men potensialet er også stort.

10 VIDERE ARBEID

ITS er et stort felt som berører mange fagområder. Utbyggingen i CVIS-prosjektet på de forskjellige teststedene i Europa er på teststadiet. Denne oppgaven har pekt på fordeler og ulemper med de ulike teknologiene som ble valgt som aktuelle for CALM M5-medier. Videre arbeid ved å realisere et nett vil være interessant. Det bør jobbes videre med ITS både som studentoppgaver, og gjennom samarbeid mellom ulike aktører. Et teststed i Trondheim vil som nevnt kunne være et samarbeid mellom Statens Vegvesen, NTNU, Trådløse Trondheim, Sintef og Qfree. Det er mange spennende oppgaver i mange fagfelt.

Samspeillet mellom teknologier gjør at det vil kreve mye samarbeidsvilje mellom konkurrenter for å realisere sømløs overgang. En aktuell studentoppgave kan derfor være å se på mulige SLA for kontinuerlige nett langs vei. Samtidig er det spennende oppgaver knyttet til ruterer som foreslås i CVIS, og at den må sørge for sømløs overgang mellom teknologiene.

REFERANSER

1. Jørgen Rødseth; Den instrumenterte veg, (2006) <http://www.sintef.no>,
2. Sintef; WiseCar - Intelligente førersystem, (2008) http://www.leksviktek.no/nedlasting/Faktaark_Wisecar.pdf, Sist besøkt: 16-5-2008
3. ITS Norge; WiseCar, (2008) <http://www.itsnorway.no/?nid=5377&lcid=1044>, Sist besøkt: 16-5-2008
4. Ron Olexa; Implementing 802.11,802.16, and 802.20 Wireless Network, (05)
5. Statens vegvesen; ITS-strategi for Statens Veivesen, (2007) http://www.vegvesen.no/cs/Satellite?blobcol=urlpdf&blobheader=application%2Fpdf&blobheadername1=Content-Disposition%3A&blobheadervalue1=attachment%3Bfilename%3Dpdf_Statens_vegvesen.pdf&blobkey=id&blobtable=SVVvedlegg&blobwhere=1201765279057&ssbinary=true,
6. Ivar Christiansen; Intelligente Transportsystemer (ITS) - Nye løsninger for effektiv, sikker og miljøriktig transport, (2007)
7. Statens vegvesen; Ulykkesutvikling 2007, (2008) http://www.vegvesen.no/fakta/statistikk/ulykkesutvikling/arkiv/2007_12/image/s/kvartalsvis_utv_drepne.gif, Sist besøkt: 12-4-2008
8. Jan Audestad; A Side Mirror View to Road Telematics, (2003) http://www.telenor.com/elektronikk/volumes/pdf/1.2003/Page_002-010.pdf, Sist besøkt: 20-5-2008
9. Bob Williams; The CALM handbook, (2004) <http://calm.hu/>, Sist besøkt: 25-4-2008
10. Liv Signe Navarsete; ITS i transportpolitikken, (13/2/07) http://www.regjeringen.no/nb/dep/sd/dep/Samferdselsminister_Liv_Signe_Navarsete/taler_artikler/2007/ITS-i-transportpolitikken.html?id=450780,
11. Einar Flydal; ITS is an Application Area of the New Telco Core, (2003) http://www.telenor.com/elektronikk/volumes/pdf/1.2003/Page_011-018.pdf,
12. J.C.Miles and A.J.Walker; The potential application of artificial intelligence in transport, (2006) <http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10767/36019/01706434.pdf?tp=&arnumber=1706434&isnumber=36019>, Sist besøkt: 3-4-2008
13. Eivind Greve Aubert; Teknologivalg ved utbygging av ITS-nettverk, (29-6-2007)
14. ITS Japan; System Architecture for ITS in Japan -Detailed Materials-, (2008) http://www.its-jp.org/english/arch_e/index.htm, Sist besøkt: 5-5-2008

-
15. CVIS; CVIS homepage, (2008) <http://www.cvisproject.org/>, Sist besøkt: 25-2-2008
 16. EC Sixth Framework Programme; Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems, (2006) http://www.item.ntnu.no/kollokvium/old/2007/presentations/SteinarAndresen/CVIS_Annex%20I_Final_as%20amended_060531.pdf, Sist besøkt: 24-2-2008
 17. Datatilsynet; eCall, (2008) http://www.datatilsynet.no/templates/article_1827.aspx, Sist besøkt: 24-4-2008
 18. Coopers; Summary Report on Safety Standards and Indicators to Improve the Safety on Roads, (2008) http://www.coopers-ip.eu/fileadmin/temp/D5-A2100_approved_2.pdf, Sist besøkt: 24-4-2008
 19. Lawrence Landweber and Jun Murai; Multiplex, duplex and multiple access, (1999) <http://www.soi.wide.ad.jp/class/99007/slides/09/06.html>, Sist besøkt: 19-2-2008
 20. Lillian Goleniewski; Telecommunications Essentials, (2002)
 21. Connie Ribeiro; Bringing Wireless Access to the Automobile: A Comparison of Wi-Fi, WiMAX, MBWA, and 3G., (2005) http://www.rh.edu/~rhb/cs_seminar_2005/SessionB3/ribeiro.pdf, Sist besøkt: 10-4-2008
 22. Clint Smith and John Meyer; 3G Wireless with WiMAX and Wi-Fi, (2004)
 23. Srikanth S and Kumaran V m.fl; Orthogonal Frequency Division Multiple Access: Is it the Multiple Access System of the Future?, (2007) http://comm.aukbc.org/Docs/Tutorials/OFDMA_BCW_cv6.pdf,
 24. Samtaler med Thomas Jelle; Utbygging av nett - kostnader,
 25. Jeffrey Andrews, Arunabha Ghosh, and Rias Muhamed; Fundamentals of WiMAX, (2007)
 26. Post- og teletilsynet, (2008) <http://www.npt.no>,
 27. Alvarion; Comparing WiMAX vs 3g, (2008) http://www.wimax-industry.com/wp/papers/Comparing_WiMAX_vs_3G_White_Paper.pdf, Sist besøkt: 1-5-2008
 28. Jernbaneverket; Jernbanen sitt mobilnett GSM-R, (2008) http://www.jernbaneverket.no/marked/gsmr_mobiltenester/jernbanens_mobilnett_gsmr/, Sist besøkt: 8-5-2008
 29. Clint Smith and Daniel Collins; 3G WIRELESS NETWORKS, (2007)
 30. ice.no; Om Ice-teknologien: CDMA2000, (2007) www.ice.no/Admin/Public/DWSDownload.aspx?File=%2FFiles%2FFiler%2F2008ICE%2FOmTehnologien.pdf, Sist besøkt: 1-5-2008

-
31. Wikimedia; Bilde over spredningskode i CDMA, (2008)
http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/2/28/Generation_of_CDMA.jpg.jpg,
Sist besøkt:
 32. Telenor; Stadig bedre 3G-dekning, (2008)
<http://www.telenor.no/privat/mobil/dekning/dekning3g.jsp>, Sist besøkt: 17-4-2008
 33. Telenor; Turbo 3G dekning, (2008)
<http://www.telenor.no/privat/mobil/dekning/dekningturbo3g.jsp>, Sist besøkt: 17-4-2008
 34. Per Andreas Alnes; Hvordan oppnå tilgang til bredbåndstjenester for alle, (2004)
 35. http: and www.nera.no/; Radiolinker - hjemmeside, (2008) <http://www.nera.no/>, Sist besøkt: 8-5-2008
 36. Analysys Research Limited; Global Mobile Broadband: Market potential for 3G LTE (Long Term Evolution), (08) http://www.umts-forum.org/component/option,com_docman/task,cat_view/gid,327/Itemid,12/,
 37. Erik Dahlman and Hannes Ekstrøm m.fl.; The 3G Long Term Evolution - Radio Interface Concepts and Performance Evaluation, (2006)
http://www.ericsson.com/technology/research_papers/wireless_access/doc/the_3g_long_term_evolution_radio_interface.pdf, Sist besøkt: 14-4-2008
 38. IPKompetanse; UMTS Long Term Evolution, (2008) www.ipkompetanse.no, Sist besøkt: 5-5-2008
 39. IEEE; WRAN, (2008) <http://ieee802.org/22/>, Sist besøkt: 3-5-2008
 40. Espen Swang; Mobilt bredbånd blir personlig, (2008)
http://www.mobilen.no/wip4/mobilt_bredbaand_personlig/d.epl?id=27275,
Sist besøkt: 8-5-2008
 41. Ingvar Henne; Fullverdig trådløst internett, (2007)
http://www.wimax.no/ressurser/artikler/Fullverdig_traadlost_Internett.pdf, Sist besøkt: 8-5-2008
 42. Thomas Jelle; Fremtidens informasjonsforsyning - modeller for fiberrealiseringer, (2004)
 43. Asgeir Torstensen; Design of Backbone for Wireless Citywide Networks like Wireless Trondheim, (2006) <http://daim.idi.ntnu.no/>, Sist besøkt: 29-4-2008
 44. Lindholmen Science Park; Test Site Sweden, (2008)
<http://www.lindholmen.se/ext/testsitesweden.php>, Sist besøkt: 12-5-2008
 45. Samtaler med Rein Sigve Karlsen; Masteroppgave Mobile WiMAX,(2008)

-
46. Teleplan; Kostnadsestimater for full bredbåndsdekning, (2005)
http://www.regjeringen.no/upload/kilde/fad/prm/2006/0001/ddd/pdfv/268731-bredband_til_alle.pdf, Sist besøkt: 14-4-2008
 47. Inger Texmon; Fortsatt sentralisering - regionale befolkningsframskrivinger 2002-2020, (2007) <http://ssb.no/emner/08/05/10/oa/200304/brunborg.pdf>, Sist besøkt: 16-3-2008
 48. Bjørn-Viggo Hagan; Forretningsmodeller for trådløsutbygging langs vei, (14-6-2007)
 49. Teik-Kheong Tan and Benny Bing; World Wide Wi-Fi - Technological trends and business strategies, (03)
 50. Norsk Naturgass, Norsk Fjernvarme, Telenor, Abelia, Norsk vann, and Energibedriftenes Landsforening; I veien for hverandre - Samordning av rør og kabler i veigrunnen, (2008)
 51. Braithwaite, C.; UMTS network planning and development : design and implementation of the 3G CDMA infrastructure / Chris Braithwaite and Mike Scott, (07)
 52. Klaus Børringsbo; Norges tredje mobile bredbåndsnett, (2008)
<http://forbruker.no/digital/nyheter/mobil/article1358883.ece>, Sist besøkt: 12-4-2008
 53. D.J.Shyy; CDMA2000 Network Repeater Deployment Experience, (2008)
http://wirelessman.org/sg/mmr/contrib/C80216mmr-05_031.pdf, Sist besøkt: 20-5-2008
 54. www.ice.no; Dekningskart, (2008) <http://www.ice.no/Default.aspx?ID=123>, Sist besøkt: 28-4-2008
 55. Doug Gray; Mobile WiMAX: A Performance and Comparative Summary, (2008)
http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/Mobile_WiMAX_Performance_and_Comparative_Summary.pdf, Sist besøkt: 28-4-2008
 56. Knut Evensen; CALM standardisation, (2008)
<http://www.tekna.no/iKnowBase/Content/26548/Evensen.pdf>,
 57. Statens vegvesen; Nasjonal veidatabank, (2008)
<http://svvgw.vegvesen.no/http://svvnvdbappp.vegvesen.no:7778/webinnsyn/anon/index>,
 58. Byplankontoret i Trondheim; Trafikksikkerhetsplan for Trondheim 2008-2011, (2007)
www.trondheim.kommune.no/attachment.ap?id=12156,
 59. Google Inc.; Google Maps - Strekingen Trondheim - Værnes., (2008)
<http://maps.google.no/maps?f=d&hl=no&geocode=15564515858482124435,63.453890,10.919490&saddr=Trondheim&daddr=63.456647,10.92247&mra=dme&mrcr=0&mrsp=1&sz=11&sll=63.43869,10.68906&sspn=0.21769,0.639954&ie=UTF8&z=11>, Sist besøkt: 12-5-2008
-

-
60. Marius Valle; Alt du trenger å vite om super-3g, (2007)
http://www.amobil.no/artikler/alt_du_trenger_aa_vite_om_super-3g/44846,
Sist besøkt: 16-5-2008
 61. Trådløse Trondheim; Trådløse Trondheim - Dekningskart, (2008)
http://www.tradlosetrondheim.no/sec.php?page=sec_coverage&la=no, Sist
besøkt: 7-5-2008
 62. Statens vegvesen; Tunnell, (2008)
http://www.vegvesen.no/vegenogvi/17_06/skjerm/10.pdf, Sist besøkt: 12-5-
2008
 63. ice.no; Norge Rundt-alternativet, (2008)
<http://www.telenorge.no/wip4/partner/detail.epl?partner=14111&id=14207&>,
Sist besøkt: 20-5-2008
 64. Post- og teletilsynet; Merknader til rapport fra Teleplan, (2006)
[http://www.npt.no/iKnowBase/Content/Teleplanrapport_merknader.pdf?docu
mentID=47304](http://www.npt.no/iKnowBase/Content/Teleplanrapport_merknader.pdf?documentID=47304), Sist besøkt: 16-4-2008
 65. Arne Sjøiland; Mobilt bredbånd tar opp kampen mot Wimax, (19-2-2007)
<http://www.idg.no/bransje/bransjenyheter/article42217.ece>, Sist besøkt: 24-4-
2008
 66. Sintef; ARKTRANS, (2004)
<http://www.sintef.no/units/informatics/projects/arktrans/arktransweb/>,
 67. ITS Norge; ITS i Oslo pakke 3 - En oversikt over muligheter og konsekvenser, (1-8-
2005) [http://www.its-norway.no/default.asp?FILE=items/665/120/ITS_OP3 -
Del 1 Rapport - Trykkeversjon.pdf](http://www.its-norway.no/default.asp?FILE=items/665/120/ITS_OP3_Del_1_Rapport_-_Trykkeversjon.pdf),
 68. Knut Evensen; CALM M5 status and European Activities, (2002)
[http://www.learmstrong.com/DSRC%20Home/Standards%20Programs/Worl
d-Wide/Knut.ppt#289,1,CALM M5 Status and European Activities](http://www.learmstrong.com/DSRC%20Home/Standards%20Programs/World-Wide/Knut.ppt#289,1,CALM_M5_Status_and_European_Activities), Sist
besøkt: 12-4-2008
 69. WiMAX forum; WiMAX, (2008)
<http://www.wimaxforum.org/technology/downloads/>, Sist besøkt: 13-5-2008
 70. Harold Bierman Jr. and Seymour Smidt; The Capital Budgeting Decision, (1993)

Appendiks A: Aktører innenfor ITS i Norge

Statens vegvesen

Statens vegvesen er en etat under Samferdselsdepartementet og har ansvar for planlegging og drift av veier og infrastruktur tilknyttet veiene [5]. De har en egen ITS strategi med fire hovedmål.

- Bedre framkommelighet
- Færre drepte og hardt skadde
- Mer miljøvennlig transportsystem
- Tilgjengelighet for alle

De ser ITS som et virkemiddel for alle disse målene, og spesielt på overvåkningssiden ser de et kortsiktig behov for bedre data slik at planleggingen kan gjøres enda bedre.

[5]. Har bidratt til prosjektet ARKTRANS som er et rammeverk som transportrelaterte systemer skal bygges i henhold til [66].

ITS Norge er en organisasjon som består av over 60 aktører, både private og offentlige i Norge [67]. Blant annet er NTNU telematikk medlem i ITS Norge. Formålet med organisasjonen er å støtte økt anvendelse av ITS i Norsk transport. Videre er ønsket å få transport til å bli en multimodal helhet, der alle transportsektorer som vei, sjø, bane, fly fungerer met effektivt sammen som et transportsystem [67].

Sintef har over en tid arbeidet med ITS. De var med i prosjektet ARKTRANS som ble avsluttet i 2004. Prosjektet den intelligente vei gikk fra 2003 til 2005. prosjektet anbefalte en videreføring med sikte på å realisere den intelligente vei som et ITS- laboratorium. På denne videreføringen ble det i 2006 gjort et forprosjekt som heter den instrumenterte veg [1]. Anbefalingene videre var å gjennomføre flere enkeltprosjekter som kunne sys sammen til et hovedprosjekt etter hvert. Blant annet er grovkalkyler av kostnader for en basis infrastruktur et punkt som er forslått som videre arbeid [1].

NTNU er med institutt for telematikk medlem i ITS Norge, og flere masteroppgaver er gjort rundt forskjellige deler av ITS [48], [13].

Trådløse Trondheim arbeider ikke spesifikt med ITS. Likevel vil Trådløse Trondheim være en naturlig partner i en eventuell utbygging i Trondheim. Trådløse Trondheim har et stort Wi-Fi – nett og eksperimenterer nå med WiMAX teststasjon som skal være i drift i juni 2008 [45].

Appendiks B: CALM M5 tjenester

Liste over noen tjenester tenkt for CALM M5-mediene. Hentet fra Evensen [68].

RED – Long Range Applications (up to 1000 meters)

BLUE – Medium/Long Range Applications (90-300 m)

BLACK – Medium Range Application (Up to 90 meters)

Private:

ACCESS CONTROL
DRIVE-THRU PAYMENT
PARKING LOT PAYMENT
DATA TRANSFER / INFOFUELING
ATIS DATA
DIAGNOSTIC DATA
REPAIR-SERVICE RECORD
VEHICLE COMPUTER PROGRAM UPDATES
MAP and MUSIC DATA UPDATES
VIDEO UPLOADS
DATA TRANSFER / CVO / TRUCK STOP
ENHANCED ROUTE PLANNING and GUIDANCE
RENTAL CAR PROCESSING
UNIQUE CVO FLEET MANAGEMENT
DATA TRANSFER / TRANSIT VEHICLE (yard)
TRANSIT VEHICLE REFUELING MANAGEMENT
LOCOMOTIVE FUEL MONITORING
DATA TRANSFER / LOCOMOTIVE

Offentlig /sikkerhet

APPROACHING EMERGENCY VEHICLE ASSISTANT
EMERGENCY VEHICLE SIGNAL PREEMPTION
VEHICLE BASED PROBE DATA COLLECTION
TRAFFIC INFORMATION
CURVE SPEED ASSISTANCE
STOP LIGHT ASSISTANT – INFRASTRUCTURE
INTERSECTION COLLISION WARNING/AVOIDANCE
COOPERATIVE COLLISION WARNING [V-V]
OPTIMAL SPEED ADVISORY
COOPERATIVE VEHICLE SYSTEM – PLATOON
RAILROAD COLLISION AVOIDANCE
INFRASTRUCTURE BASED TRAFFIC MANAGEMENT –
VEHICLES AS PROBES
WORK ZONE WARNING
ROAD CONDITION WARNING
ROLLOVER WARNING
LOW BRIDGE WARNING

LOCATION BASED PROBE DATA COLLECTION
TRANSIT VEHICLE DATA TRANSFER (gate)
TRANSIT VEHICLE SIGNAL PRIORITY
EMERGENCY VEHICLE VIDEO RELAY
MAINLINE SCREENING
BORDER CLEARANCE
ON-BOARD SAFETY DATA TRANSFER
VEHICLE SAFETY INSPECTION
DRIVER'S DAILY LOG

Appendiks C: Kostnader overføringsutstyr

Noen av de innhentede kostnadene som er brukt som basis for mine estimater.

Kostnader		Kilde
Wi-Fi		
D-Link AirPremier DWL-2700AP Outdoor Wireless Access Point	7792,31 NOK	http://iway.no/catalog/product_info.php/products_id/74693
Aksesspunkt	2500 NOK	Jelle [24]
WiMAX		
Base stasjon	35 000 dollar	WiMAX forum [69]
Annet basestasjon utstyr	15 000 dollar	WiMAX forum [69]
Basestasjon inkludert innstallasjon osv	35 000-50 000 dollar	WiMAX forum [69]
Antenner	7500 NOK	Jelle [24]
Sektorer	35 000 NOK	Jelle [24]
Basestasjon	40 000 NOK	Jelle [24]
Basestasjon	150 000 NOK	Alnes [34]
Leie spektrum	1 dollar per Mhz	WiMAX forum [69]
Leie spektrum	10 000	
Installasjonskostnader	50 000 dollar	WiMAX forum [69]
UMTS		
UMTS basestasjon inklusivt tilknytning kjernenett	800 000 NOK	Teleplan [46]
Annet utstyr og installasjon	5000 NOK	Teleplan [46]
CDMA		
CDMA450 basestasjon inklusivt tilknytning kjernenett	800 000 NOK	Teleplan [46]
Annet utstyr og installasjon	5000 NOK	Teleplan [46]
Basestasjon	215 000 dollar	Shyy [53]
Basestasjon	60 000 NOK	Alnes [34]
Antenneutstyr	40 000 NOK	Alnes [34]
Annet BS-utstyr	100 000 NOK	Alnes [34]
PtP link	100 000 NOK	Alnes [34]
Installasjon	40 000 NOK	Alnes [34]
Backhaul link		
ptp	25 000 dollar -100 000dollar	WiMAX forum [69]
Nera FlexLink 32 Mbps	95 000 NOK	Torstensen [43]
Nera CityLink 155 Mbps	185 000 NOK	Torstensen [43]
Witelcom for links up to 8km 35 Mbps	14 000 NOK	Torstensen [43]
Witelcom for links up to 15 km 35 Mbps	18 000 NOK	Torstensen [43]
OS Spectra Lite 150 Mbps	100 000 NOK	Torstensen [43]

OS Spectra 180Mbps	125 000 NOK	Torstensen [43]
--------------------	-------------	-----------------

Fiber

Legge fiber i trekrør	30 NOK	Torstensen [43]
-----------------------	--------	-----------------

Fiber (G25,9/125 Singelmodus)	35 NOK	Torstensen [43]
-------------------------------	--------	-----------------

Annet utstyr (svitsjer, konvertere,MUX)	100NOK	Torstensen [43]
---	--------	-----------------

Leie fiber

Telenor	30 000 NOK + løpende utgifter	Torstensen [43]
---------	-------------------------------	-----------------

Banetele	50 000 NOK pluss løpende utgifter	Torstensen [43]
----------	-----------------------------------	-----------------

Utsyr samlet under kostnader for "Annet utstyr"

Svitsj	10 000NOK	Jelle [42]
--------	-----------	------------

Gigabit Interface Converter GBIC (1310nm)	5 000NOK	Jelle [42]
---	----------	------------

Gigabit Interface Converter GBIC (1550 nm)	20 000 NOK	Jelle [42]
--	------------	------------

Mux for passive fiber	4000 NOK	Jelle [42]
-----------------------	----------	------------

Terminering av fiber	500NOK	Jelle [42]
----------------------	--------	------------

Graving

Grave grøft	136-300 NOK/m	Telenor m.fl [50]
-------------	---------------	-------------------

Skjæring asfalt	100 NOK/m	Telenor m.fl [50]
-----------------	-----------	-------------------

Reasfaltering	200 NOK/m	Telenor m.fl [50]
---------------	-----------	-------------------

Brudd fiberkabel	50-100 000NOK	Telenor m.fl [50]
------------------	---------------	-------------------

Terminering:

skap	15000 NOK	Jelle [24]
------	-----------	------------

avtapping	3500-4000 NOK	Jelle [24]
-----------	---------------	------------

strøm	2000 NOK	Jelle [24]
-------	----------	------------

Svitsj og annet	5000 NOK	Jelle [24]
-----------------	----------	------------

antenner	1000 NOK	Jelle [24]
----------	----------	------------

kabler	500 NOK	Jelle [24]
--------	---------	------------

frekvenser leier TrT gratis		Jelle [24]
-----------------------------	--	------------

antar pris 75-100 000 NOK i året for 10MHz		Jelle [24]
--	--	------------

Appendiks D: Nåverdimetoden

Nåverdimetoden er en metode der man omregner kostnader og inntekter, ofte kalt kontantstrømmer, til nåverdi [70]. Nåverdi er verdien i dag av de samlede kontantstrømmer. Dette gjøres fordi en krone i dag ikke har samme verdi som en krone om et år. Dette har med inflasjon og at man forventer en avkastning på verdiene sine. Beløpene i de forskjellige tidsperiodene neddiskonteres derfor med en viss rente, kalt diskonteringsrenten. I et prosjekt med en investeringskostnad og løpende driftskostnader og inntekter, kan man si at prosjektet er lønnsomt om nåverdien er positiv, regnet ut etter følgende formel [70]:

$$NV = I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{U_t}{(1+r)^t}$$

Der I_0 er investeringskostnaden i periode 0, U_t er summen av inntekter minus utgifter i periode t . r er diskonteringsfaktoren og n er antall perioder som det summeres over [70].

I denne oppgaven regnes det kun på kostnader, derfor adderes alle tallene. Hadde det vært inntekter med i beregningen er det vanlig å ha negativt fortegn på investeringskostnadene, slik at en positiv nåverdi betyr at et prosjekt går i overskudd gitt det minste avkastningskravet som kreves, r . I denne oppgaven er nåverdimetoden et nyttig verktøy når prosjekter med ulike investeringskostnader og forskjellige løpende utgifter skal sammenlignes. Jeg antar at prisene knyttet til drift øker med 2,5 % per år, og at diskonteringsfaktoren er 5 %.

Filer brukt for utregning av estimater er vedlagt elektronisk.