



## **Bedre mobiltjenester på tog**

Rapport utarbeidet for  
Samferdselsdepartementet

Offentlig versjon  
30. april 2015

*Om rapporten*

Oppdragsgiver: Samferdselsdepartementet  
Leveransedato: 30. april 2015  
Versjon: 1.0A  
Forfattere: Amund Kvalbein (prosjektleder)  
Mikael Christiansson  
Tronn Skjerstad  
Harald Wium Lie

Arbeidet med rapporten er gjennomført i perioden desember 2014 til april 2015.

*Om Nexia DA*

Nexia DA er et rådgivningsselskap med spisskompetanse innen telekommunikasjon og IKT infrastruktur.

Våre kunder er nye og etablerte virksomheter innen bredbånd, mobilkommunikasjon, fasttelefoni og nye elektroniske informasjons- og kommunikasjonstjenester. Vi bistår også myndigheter, utstyrsleverandører og bransjeorganisasjoner.

Våre oppdrag spenner fra strategisk og finansiell rådgivning til operativ bistand av teknologisk, markedsmessig og regulatorisk art.

## Oppsummering og anbefalinger

Nexia har på oppdrag fra Samferdselsdepartementet foretatt en vurdering av mulige tekniske og merkantile løsninger for mobiltjenester på tog. Rapporten inneholder følgende hovedelementer.

- En diskusjon av hvilke mobiltjenester og hvilken kapasitet som bør tilbys togpassasjerer.
- En gjennomgang og vurdering av ulike tekniske løsninger som er mulige for å realisere disse tjenestene. Diskusjonen omfatter ulike alternativer for både *aksessnett* (til og fra toget) og *sprednett* (internt på toget).
- En beskrivelse av nåsituasjonen for mobiltjenester på tog, inkludert en detaljert kartlegging av opplevd mobildekning på tog.
- En vurdering av to ulike hovedmodeller for å tilby mobiltjenester på tog, kalt Togoperatørmodellen (TOM) og Mobiloperatørmodellen (MOM). I TOM er det togoperatøren som tilbyr nettilgang om bord, mens i MOM forholder passasjerene seg til sin egen mobiloperatør.
- En analyse av kostnader forbundet med å oppgradere tilbudet om mobiltjenester på tog langs de viktigste togstrekningene i Norge. Kostnadsanalysen ser på ulike ambisjonsnivåer og estimerer kostnader for henholdsvis TOM og MOM.

Basert på analysen presentert i denne rapporten har Nexia følgende anbefalinger for videre arbeid med mobiltjenester på tog:

**Etablering av utstyr om bord er det mest effektive tiltaket for bedre mobiltjenester.** Som diskutert i kapittel 3.2, dempes radiosignaler kraftig i moderne togkarosserier. Det er derfor nødvendig å installere utstyr som regenererer radiosignalene om bord i togene for å få til en kostnadseffektiv utbygging. Slikt utstyr kan være wifi eller signalforsterkere. Wifi er allerede etablert på flertallet av NSBs tog, og samarbeidsavtalen mellom Telenor og NSB omtalt i kapittel 5.3 innebærer at det i tillegg vil etableres signalforsterkere i et økende antall togsett. Effekten av denne etableringen bør evalueres gjennom fortsatte målinger, og ytterligere tiltak for å forsere utbyggingen bør ses i lys av denne evalueringen.

**Utbygging av radiodekning langs jernbanen bør i hovedsak skje i regi av kommersielle mobiloperatører.** Det finnes flere eksempler på at togselskaper har investert i dedikerte radionett for å tilby mobiltjenester på tog [1], [2]. Argumentet for slike utbygginger har vært at kommersielle mobilnett ikke kan tilby den nødvendige kapasiteten. Introduksjonen av nyere teknologi (4G) i mobilnettene gjør at dette argumentet er mindre gyldig i dag. I tillegg til å kreve store initielle investeringer, vil et dedikert radionett stå i fare for å bli utdatert og fraløpt av den teknologiske utviklingen. Bruken av kommersielle mobilnett gir en viss garanti for at nettet oppgraderes i takt med teknologiutviklingen.

**Både TOM og MOM vil være del av løsningen i overskuelig framtid.** Fordeler og ulemper med TOM og MOM diskuteres i kapittel 6. I områder med tungt trafikkgrunnlag, vil MOM kunne gi passasjerene den mest fleksible løsningen med høyest kapasitet. MOM stimulerer også til konkurranse mellom mobiloperatørene, og gir dermed klarere insentiver for utbygging. Et (gratis) tilbud om wifi om bord vil redusere trafikkgrunnlaget for mobiloperatørene noe, og kan dermed virke

dempende på mobilutbyggingen. Det er imidlertid ikke realistisk at alle mobiloperatører skal bygge ut god radiodekning langs jernbanen utenfor sentrale strøk på kort eller mellomlang sikt. På slike strekninger med sporadisk dekning vil TOM kunne spille en viktig rolle som et basistilbud til de reisende. TOM fyller også et viktig behov for brukere med terminaler som ikke kan koble seg direkte til mobilnettene.

**Tilgang til GSM-R infrastruktur er det mest effektive bidraget Jernbaneverket kan gi.** En stor del av kostnadene ved å etablere radiodekning er passivt utstyr som master, radiohytter og strømframbføring til basestasjoner. Jernbaneverket har allerede etablert slik infrastruktur langs hele jernbanenettet for sitt GSM-R nett, og utbygging av kommersiell mobildekning kan gjøres mer kostnadseffektivt dersom denne stilles til rådighet. Jernbaneverket bør aktivt legge til rette for gjenbruk av GSM-R infrastruktur, og etablere et effektivt regime for oppfølging og feilretting på delte lokasjoner.

**Utbygging i tunneler bør fokuseres på strekningene med tyngst trafikk.** Tunneldekning er viktig for å gi en sammenhengende tjeneste til de reisende. Samtidig er utbygging i tunneler kostbart forhold til andre mulige tiltak for å utbedre mobildekningen. Våre beregninger viser at tunneldekning vil utgjøre 65-80% av kostnadene ved å etablere full 4G dekning langs alle hovedstrekninger i Norge. Kostnaden drives opp særlig på grunn av begrenset sportilgang. Innsatsen på dette området bør derfor i første rekke fokuseres på strekningene med det tyngste trafikkgrunnlaget. I tillegg bør man foreta utbygging i nye tunneler og i forbindelse med utbygging av Nødnettdekning eller generelle oppgraderinger der tunneler likevel er stengt for togtrafikk.

**Omvendte auksjoner kan brukes for å øke hastigheten i utbyggingen.** TOM åpner for at det offentlige kan inngå avtaler med mobiloperatører om å etablere dekning langs utvalgte strekninger. Slik dekning vil da komme den aktuelle mobiloperatørens kunder til gode, samtidig som den vil garantere et visst tjenestenivå for en wifiløsning. I områder der utbygging ikke kan forsvares på rent kommersielle vilkår, vil man gjennom en omvendt auksjon kunne forsere utbyggingen.

**Det kommersielle potensialet for mobiltjenester på tog må synliggjøres.** De siste årene har vi sett en sterk passasjervekst på tog, og togreisende representerer en stor og attraktiv kundegruppe for mobiloperatørene. Kartlegging og dokumentasjon av togreisendes kommunikasjonsbehov kan være med på å synliggjøre potensialet for en kommersiell utbygging langs de mest trafikkerte banestrekningene.

**Satellitt bør vurderes som et supplement der utbygging av mobildekning ikke er realistisk.** Som diskutert i kapittel 4.1, kan satellitt fungere som et fleksibelt supplement til landbasert kommunikasjon mellom tog og kjernenett. Særlig på regiontog kan dette være et aktuelt alternativ. Dette krever imidlertid en grundig kartlegging av satellittskygge sett opp mot eksisterende og fremtidige dekningshull langs jernbanen, for å kunne evaluere hvilken øket nytte som vil oppnås.

## Innhold

Oppsummering og anbefalinger.....	3
Innhold .....	5
1 Innledning .....	6
1.1 Hva er mobiltjenester på tog .....	7
2 Bakgrunn.....	7
2.1 Togstrekninger behandlet i denne rapporten .....	7
2.2 Trafikk og passasjergrunnlag .....	8
2.3 Bruksscenarier og kapasitetsbehov .....	11
2.4 Bruk av dagens wifi-løsning .....	12
3 Utfordringer for gode mobiltjenester på tog .....	14
3.1 Radiodekning langs jernbanen .....	14
3.2 Dempning i togkarosseriet .....	15
3.3 Interferens med GSM-R.....	16
4 Vurdering av tekniske løsninger.....	17
4.1 Aksessnett.....	17
4.2 Spredenett.....	21
5 Dagens situasjon for mobiltjenester på tog .....	24
5.1 Mobildekning langs jernbanen .....	25
5.2 Spredenett.....	29
5.3 Samarbeidsavtale for bedre mobiltjenester på tog .....	31
6 Hovedmodeller for mobiltjenester på tog .....	33
6.1 Togoperatørmodellen (TOM) .....	33
6.2 Mobiloperatørmodellen (MOM) .....	35
6.3 Hybridmodeller TOM og MOM .....	36
7 Kostnader ved forbedret tilbud om mobiltjenester .....	37
7.1 Parametere og datagrunnlag .....	38
7.2 Resultater.....	41
8 Diskusjon og anbefalinger.....	43
8.1 Merkantile evalueringskriterier .....	43
8.2 Anbefaling og videre prosess.....	45
Referanser .....	47
Bidragstyttere.....	48

## 1 Innledning

Brukeres forhold til mobiltjenester har endret seg radikalt i løpet av få år. Introduksjonen av smarttelefoner og utbyggingen av nye generasjoner mobilnett med høy datakapasitet har endret måten folk kommuniserer og konsumerer digitalt innhold. Mens mobilnettene viktigste tjeneste tradisjonelt har vært linjesvitsjet tale, er det i dag datatjenester som dominerer bruken av mobilnettene.

Endringene i bruk har også endret forventningene til mobilnettene tilgjengelighet og kapasitet. Mobilnettene er i ferd med å bli en av de viktigste kanalene for tilgang til nettverksbaserte tjenester, og folk forventer i økende grad at de skal være tilgjengelige overalt og med god kapasitet.

Tilgang til gode mobiltjenester på tog utgjør en vesentlig merverdi for togreisende, og en stor mulighet for å gjøre tog til et mer attraktivt transportmiddel. Et godt tilbud om bord på toget kan gjøre reisetiden til produktiv arbeidstid for mange pendlere og andre reisende. Tilgang til gode mobiltjenester er derfor viktig for å bevare og utvikle toget som et attraktivt transportmiddel også i framtiden.

- For reisende på korte lokaltogstrekninger kan tilgang til innholdstjenester som for eksempel nettaviser og sosiale medier gjøre at reisetid på tog oppleves som mer avslappende og meningsfull enn tilsvarende tid i bil.
- For pendlere i Intercitytriangelet kan en internettforbindelse gi tilgang til tjenester som epost, skytjenester, samhandlingsverktøy og private nett, og dermed gjøre reisetiden om til produktiv arbeidstid.
- For reisende over lengre distanser vil nettilgang og innholdstjenester som for eksempel film og musikk være med på å gjøre toget til et mer attraktivt valg i konkurranse med fly.

Denne rapporten diskuterer utfordringer og løsninger for å forbedre tilbudet om mobiltjenester på tog.

- I resten av dette kapittelet diskuteres hva som er de viktigste mobiltjenestene på tog, og hvordan teknologiutviklingen er med på å endre dette.
- Kapittel 2 gir bakgrunn om togstrekninger, passasjergrunnlag og kapasitetsbehov for mobiltjenester.
- Kapittel 3 diskuterer særskilte utfordringer for å etablere gode mobiltjenester på tog.
- Kapittel 4 beskriver og diskuterer ulike tekniske løsninger for å etablere mobiltjenester på tog.
- Kapittel 5 beskriver dagens situasjon, inkludert en detaljert kartlegging av mobildekning langs de viktigste jernbanestrekningene i Norge.
- Kapittel 6 introduserer og diskuterer to hovedmodeller for tjenester til de reisende, hvor henholdsvis togoperatør og mobiloperatør eier kundeforholdet til de reisende.
- Kapittel 7 presenterer en kostnadsanalyse av ulike tilnærminger og ambisjonsnivåer for et forbedret tilbud om mobiltjenester på tog.
- Kapittel 8 diskuterer merkantile aspekter ved de ulike tilnærmingene, og presenterer anbefalinger for videre arbeid med mobiltjenester på tog.

## 1.1 Hva er mobiltjenester på tog

Mens mobiltjenester tidligere i hovedsak dreide seg om tale og SMS, er datatrafikk i dag i ferd med å overta som den viktigste tjenesten. Det er særlig tilgang til internett og internettbaserte tjenester som driver den sterke veksten i mobil datatrafikk. Et stadig økende behov for datakapasitet driver mobiltilbydernes nettverksutbygging, og er også en stadig viktigere inntektskilde. Der det meste av datatrafikken i mobilnettene tidligere gikk gjennom egne dataabonnement, med egne modemer for mobil datatilgang, er veksten i datatrafikk i dag dominert av direkte tilkoblede enheter som smarttelefoner og nettbrett.

Det skjer samtidig en utvikling mot en mer enhetlig tjenesteproduksjon i mobilnettene. Mens taletjenester i 2G og 3G nettverk produseres separat fra datatjenester, er 4G (LTE) mobilnettverk rene datanettverk. Dette innebærer at tale i 4G nettverk også realiseres som en datatjeneste, gjennom såkalt Voice over LTE (VoLTE) teknologi. Denne teknologien er på full fart inn i mobilnettene, og Telenor rekrutterer allerede testbrukere til sin VoLTE tjeneste. De fleste nye telefoner som selges i dag har støtte for VoLTE.

Introduksjonen av VoLTE er med på å bygge ned skillet mellom tale- og datatjenester. Teknisk sett er veien fra VoLTE til Voice over wifi kort, og det er allerede mulig å ringe med et vanlig telefonnummer over wifi hos noen utenlandske operatører [3][4]. Når denne rapporten omtaler mobiltjenester på tog, siktes det i hovedsak til tilgang til datatjenester, og da primært tilgang til internett. Løsninger som ikke støtter tradisjonelle taletjenester (mobiltelefoni) er derfor inkludert i vår diskusjon.

Så godt som all utbygging av mobilnettverk i dag er 4G, og det er ventet at 4G-dekningen over tid vil nærme seg dagens 2G-dekning. I den grad mobiltjenester på tog skal baseres på kommersielle mobilnett, vil det i all hovedsak være realisert gjennom 4G teknologi. I kapittel 4.1 diskuteres også andre måter å realisere dataforbindelser til tog.

## 2 Bakgrunn

I dette kapittelet ser vi på trafikkgrunnlaget på forskjellige banestrekninger i Norge, og gir grove anslag over kapasitetsbehovet for mobiltjenester.

### 2.1 Togstrekninger behandlet i denne rapporten

Det norske jernbanenettet består av om lag 4000 km spor. Spor, jernbanestasjoner, signalanlegg og annen infrastruktur knyttet til togframføring forvaltes av Jernbaneverket, som ble skilt ut av NSB i 1996. En rekke togoperatører kjører tog på jernbanenettet. NSB er den klart største togoperatøren innen persontrafikk.

I denne rapporten deler vi jernbanenettet inn i ulike deler basert på hva slags trafikk som dominerer på ulike strekninger. Disse kategoriene, vist i Tabell 2.1, benyttes i beregningen av dagens mobildekning langs jernbanen og i kostnadsestimater for å øke dekningen. Merk at vår definisjon av kategorien "Lokal" er noe smalere enn

området der NSB driver lokaltogtrafikk. Med vår definisjon har vi ønsket å fokusere på strekningene med det tyngste passasjergrunnlaget.

Kategori	Strekninger
<b>Lokal</b>	Oslo-Eidsvoll Oslo-Drammen Oslo-Moss Stavanger-Nærbø Bergen-Arna
<b>Intercity</b>	Oslo-Lillehammer Oslo-Skien Oslo-Halden
<b>Regional</b>	Oslo-Stavanger Oslo-Bergen Oslo-Trondheim (via Dombås) Trondheim-Bodø

*Tabell 2.1 - Kategorier av jernbanestrekninger*

## 2.2 Trafikk og passasjergrunnlag

Passasjertrafikken på norske tog har vist en økning de senere årene. I 2009 ble det foretatt om lag 58 millioner reiser. I 2013 hadde dette tallet steget til om lag 67 millioner. Tabell 2.2 viser noen nøkkeltall for passasjertrafikken i 2013. Som tabellen viser, foregår det meste av persontransporten i sentrale strøk rundt de store byene, og da særlig Oslo. 69% av alle reiser (39% av alle reiste kilometer) foretas med lokaltogene rundt Oslo inkludert flytoget. Dersom også Intercity inkluderes, øker denne andelen til 82% (60%).

Strekning	Togtype	Passasjerer (påstigninger)	Passasjerkm	Km per passasjer	Passasjerer per avgang	Avganger per dag	Passasjerer per km/dag
Flytoget	Lokal	6 540 930	330 251 556	50	116	154	9 782
Lokaltog Oslo	Lokal	39 313 051	911 724 532	23	255	423	8 190
InterCity - Oslo-Skien	Intercity	4 056 000	274 875 267	68	285	39	4 537
InterCity - Oslo-Lillehammer	Intercity	2 683 008	235 104 066	88	215	34	3 539
InterCity - Oslo-Halden	Intercity	2 182 660	173 770 967	80	202	30	2 800
Lokaltog Stavanger	Lokal	3 455 045	70 025 162	20	164	58	2 460
Flåmsbanen	Region - kort	718 197	15 800 334	22	151	13	2 122
Bergensbanen	Natt/fjern	1 018 671	301 188 562	296	331	8	1 650
Dovrebanen	Natt/fjern	675 237	253 577 663	376	229	8	1 432
Gjøvikbanen	Lokal	1 299 978	63 624 931	49	103	35	1 411
Sørlandsbanen	Natt/fjern	941 655	248 633 053	264	268	10	1 135
Lokaltog Bergen	Lokal	1 630 443	48 640 704	30	145	31	849
Lokaltog Trondheim	Lokal	1 050 012	60 643 612	58	93	31	613
Øvrige regiontog - korte strekninger	Region - kort	303 586	21 559 836	71	21	40	591
Nordlandsbanen	Natt/fjern	460 240	151 019 890	328	205	6	570
Rørosbanen	Region - kort	433 088	54 759 591	126	122	10	393
<b>Sum ex. grensekryssende tog</b>		<b>66 761 801</b>	<b>3 215 199 726</b>	<b>48</b>	<b>197</b>	<b>928</b>	

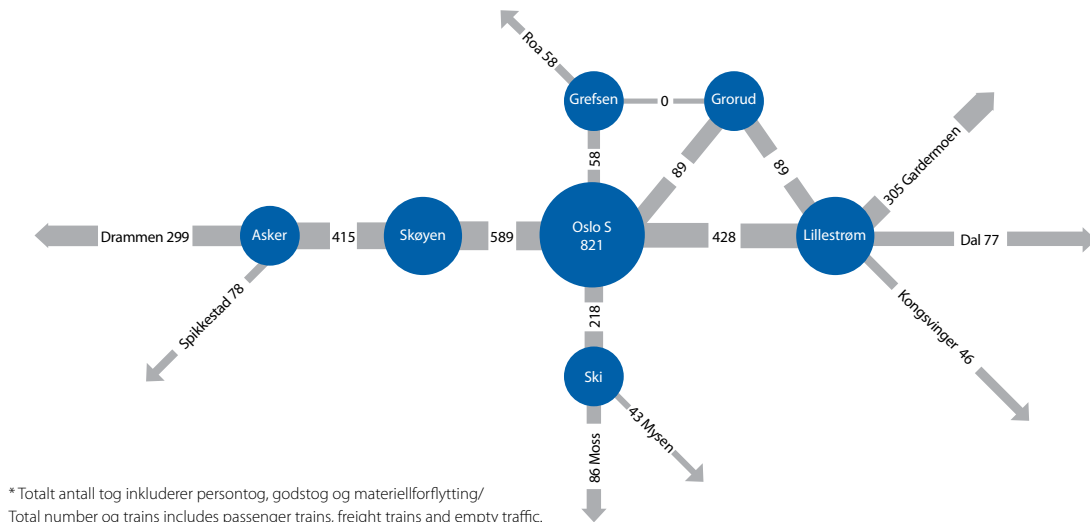
*Tabell 2.2 - Nøkkeltall for passasjertrafikk (Kilde: SSB, Jernbaneverket, Nexia)*

Tabellen ovenfor er sortert etter gjennomsnittlig antall passasjerer som reiser over hver kilometer av strekningen hver dag. Merk at disse tallene kun gjelder for den angitte togtypen. På noen strekninger går det for eksempel både flytog, lokaltog og intercitytog, og tallene for disse må da legges sammen. Disse tallene viser at det på



mange strekninger er et betydelig antall reisende hver dag, som igjen driver et høyt behov for mobiltjenester.

Figur 2.2 og Figur 2.1 illustrerer antall tog som passerer over ulike banestrekninger hver dag. Figurene bekrefter igjen at ulike deler av jernbanenettet har en svært ulik trafikkbelastning. Dette vil igjen virke inn på trafikkgrunnlaget for mobiltjenester på tog, og dermed på hvor attraktivt det vil være for kommersielle aktører å etablere mobildekning langs disse strekningene.



**Figur 2.1 - Antall passasjertog per døgn rundt Oslo. Kilde: Jernbaneverket [5]**

Mobiloperatørens inntekter er knyttet til volumet av datatrafikk, og deres insentiver for å etablere mobildekning er tett knyttet til passasjergrunnlaget på de ulike jernbanestrekningene. I områder med mye trafikk vil det være attraktivt for mobiltilbydere å bygge ut god dekning, mens det i områder med mindre trafikkgrunnlag kan være nødvendig med offentlig finansiering dersom man ønsker å oppnå et godt tilbud om mobiltjenester.

**- Nexia -**  
Bedre mobiltjenester på tog



Figur 2.2 – Tog per døgn på forskjellige strekninger 2013. Kilde: Jernbaneverket [5]

## 2.3 Bruksscenarioer og kapasitetsbehov

Datatrafikken i mobilnettene har vokst kraftig siste årene, og det kan argumenteres for at mobilnettene er i ferd med å bli de viktigste aksessnettene for innhold på internett. Telenor meldte i august 2014 at datatrafikken i deres mobilnett hadde mer enn doblet seg på ett år<sup>1</sup>. Cisco estimerer at datatrafikken i mobilnett kommer til å fortsette å vokse med 55% per år globalt de neste 5 årene [6]. Over halvparten av datatrafikken i mobilnett er i dag video, og denne andelen forventes å stige.

Veksten i mobil datatrafikk skyldes både et økende antall brukere med smarttelefoner og andre terminaler som kan konsumere mye trafikk, og økt bruk hos den enkelte bruker.

Endringene i brukervaner fører også med seg en økt forventning om å kunne aksessere internett overalt og med god kvalitet. Også på tog har folk en klar forventning om en god internettforbindelse, og bruken av dagens wifi-baserte tilbud øker kraftig.

### 2.3.1 Estimerte kapasitetsbehov på tog

Som et bakteppe for diskusjonen om tekniske løsninger for mobiltjenester på tog i kapittel 17, presenterer vi her enkle estimater av kapasitetsbehov fra tog i dag. Estimaten er delvis basert på statistikk fra dagens wifi om bord løsning. Det er viktig å huske på den sterke trafikkveksten, som gjør at kapasitetsbehovet vil bli vesentlig høyere i løpet av de neste årene.

	Lokal	Intercity	Regional
<b>Reiselengde</b>	15 – 45 minutter	45 minutter – 2,5 timer	2 – 7 timer
<b>Passasjerprofil</b>	Jobb, studenter, elever	Jobb, studenter, fritid	Studenter, turister, fritid
<b>Type bruk</b>	Websurfing, underholdning, sosiale medier, spill	Kontorapplikasjoer, websurfing, synkronisering, underholdning	Websurfing, underholdning, sosiale medier, film
<b>Antall passasjerer</b>	150 - 350	100 - 350	50 - 350
<b>Andel aktive brukere</b>	40%	40%	25%
<b>Intensitet</b>	2 MB/min per bruker	2,5 MB/min per bruker	2 MB/min per bruker
<b>Totalt kapasitetsbehov per tog</b>	<b>30 Mbit/s i rushtiden</b>	<b>40 Mbit/s i rushtiden</b>	<b>20 Mbit/s i rushtiden</b>

Tabell 2.3 - Estimerte kapasitetsbehov

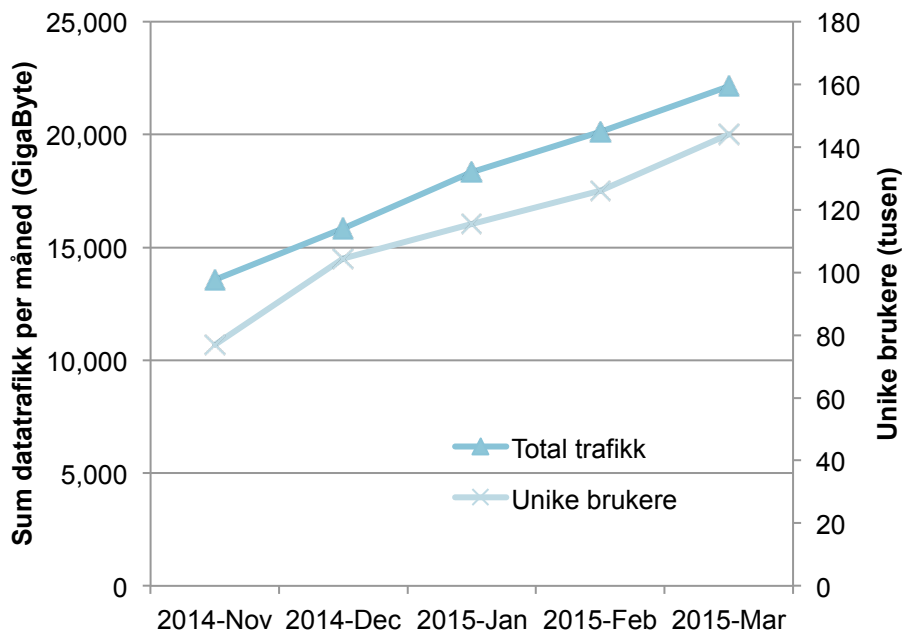
<sup>1</sup> <http://www.tu.no/it/2014/08/12/mer-enn-doblet-bruk-av-mobildata-pa-ett-ar>

Som vist i Tabell 2.3, antar vi at kapasitetsbehovet er noe høyere på intercitytog enn på lokaltog og regiontog. Dette skyldes primært en høyere andel jobbpendlere som er aktive brukere av kontorapplikasjoner på disse togene.

## 2.4 Bruk av dagens wifi-løsning

Det er finnes i dag et wifi-tilbud som gjør det mulig for passasjerer å knytte seg til internett på de fleste av NSBs Region- og Intercitytog, og på mange av Lokaltogene. Totalt er løsningen installert på 176 togsett. Wifi-løsningen beskrives nærmere i kapittel 5.2. Nexia har fått tilgang til statistikk fra Nomad Digital, som opererer denne løsningen på vegne av NSB.

### 2.4.1 Utvikling i total databruk



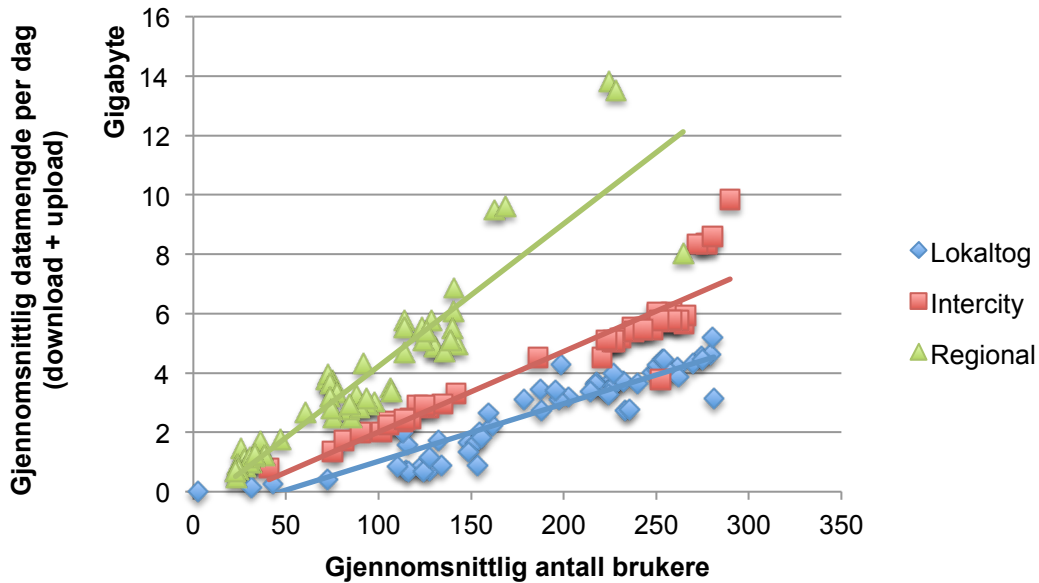
Figur 2.3 - Trafikkutvikling i dagens wifi-løsning

Figur 2.3 viser utviklingen i antall brukere og total datamengde som er sendt gjennom NSBs wifi-løsning i perioden november 2014 til mars 2015. Datatrafikken er sum av opplastet og nedlastet trafikk fra alle tog, og inneholder både brukertrafikk og telemetridata fra togene.

Både datamengde og antall brukere har økt kraftig i perioden, og i mars 2015 ble det i alt sendt mer enn 22 TB data til og fra togene. Dette tilsvarer etter noen estimater den samlede månedlige internettrafikken i amerikanske kjernenett i 1994 [7].

### 2.4.2 Databruk fordelt på togtyper

Figur 2.4 viser gjennomsnittlig antall unike brukere og gjennomsnittlig total datamengde per dag for hvert tog som har installert wifi-løsningen i februar og mars 2015. Hvert punkt i grafen tilsvarer et tog, og ulike togklasser er representert med ulike farger.



Figur 2.4 - Datamengde og brukere per togklasse

Togene med høyest totalt dataforbruk er regiontog mellom Oslo og Trondheim. Blant intercitytogene skiller noen av togene mellom Oslo og Halden seg ut med spesielt høyt dataforbruk. En annen observasjon er at intercitytogene har et like høyt antall brukere hver dag som lokaltogene, selv om lokaltogene har flere unike passasjerer i løpet av en dag. Dette kan skyldes at bruken av wifi er mer innarbeidet på intercitytogene.

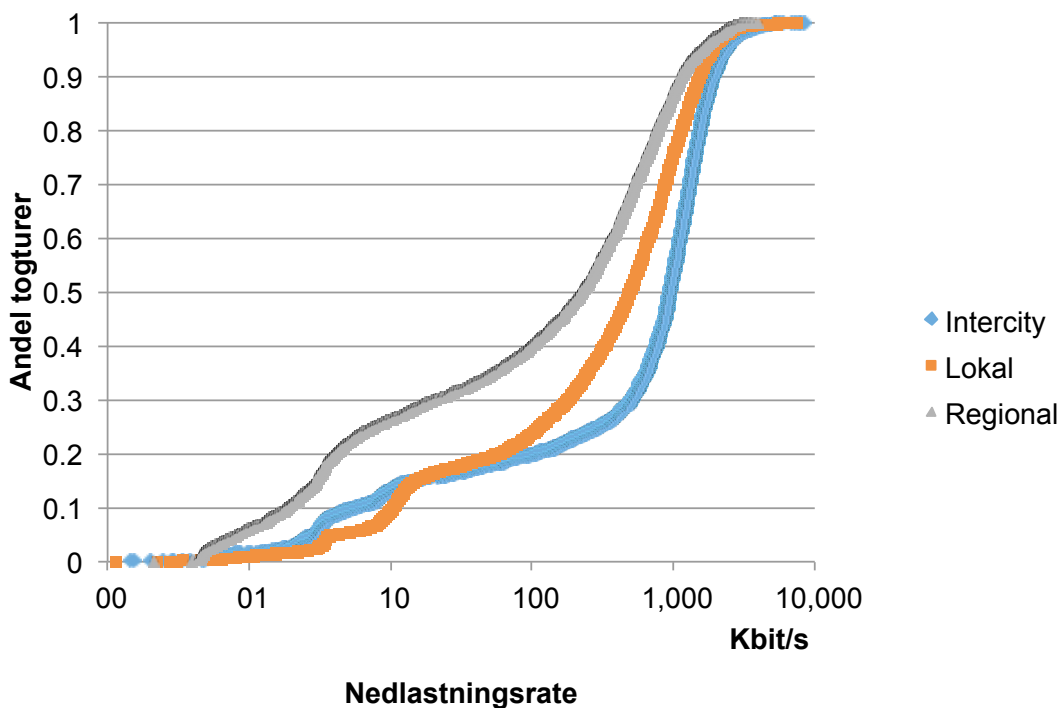
Stigningstallet til de angitte trendlinjene indikerer datamengde per unike bruker. Det er naturlig at brukere på regiontogene har et høyere dataforbruk, siden de oppholder seg lenger på toget.

#### 2.4.3 Gjennomsnittlig datarate per togtur

Figur 2.5 viser gjennomsnittlig nedlastningsrate for alle togturer i mars 2015. Tallene representerer summen av alle brukere på en togtur, og figuren viser den gjennomsnittlige bitraten for hele togturen. Antall brukere vil variere underveis i løpet av hver tur.

Grafen viser en såkalt kumulativ distribusjonsfunksjon, og skal leses som at y% av togturene hadde en gjennomsnittlig nedstrøms bitrate *under* x%. For eksempel hadde om lag 40% av turene med regionaltog en gjennomsnittlig nedstrøms bitrate på under 100 kbit/s. For å gjøre figuren mer leselig, er det brukt en logaritmisk skala på x-aksen.

Intercitytogene har jevnt over en noe høyere nedlastingsrate enn lokaltogene, som igjen har en høyere rate enn regiontogene. 47% av intercityturene hadde en gjennomsnittlig nedstrøms bitrate over 1 Mbit/s gjennom hele turen. På noen turer er gjennomsnittlig nedstrøms bitrate over 8 Mbit/s for intercity og over 7 Mbit/s for lokaltog. De høyeste observerte oppstrøms bitratene ligger rundt 2 Mbit/s som gjennomsnitt for en togtur.



Figur 2.5 - Gjennomsnittlig nedlastingsrate per togtur

Tallene presentert her er oppnådde gjennomsnittlige hastigheter over hele turens varighet. Intensiteten i datatrafikk varierer sterkt over tid, og maksimal nedstrøms bitrate vil ligge vesentlig høyere enn dette. Den oppnådde hastigheten vil også ofte være begrenset av den tilgjengelige båndbredden. Tallene presentert her må derfor ikke tolkes som å representere kapasitetsbehovet til et tog.

### 3 Utfordringer for gode mobiltjenester på tog

En rekke tekniske utfordringer må løses for å etablere gode mobiltjenester på tog. Det må etableres god nok dekning langs jernbanesporet, og det må finnes løsninger for å motvirke demping av radiosignaler i togkarosseriet. En tilfredsstillende løsning må også kunne håndtere et høyt antall samtidige brukere som beveger seg i høy fart.

#### 3.1 Radiodekning langs jernbanen

Gitt togenes mobile natur, må kommunikasjon mellom toget og omverdenen være radiobasert. En forutsetning for gode mobiltjenester på tog er derfor at det etableres ett eller flere radionett som kan formidle signaler til og fra togsettet. Den mest aktuelle teknologien for å formidle disse signalene er de kommersielle mobilnettene. Andre teknologier som satellit og wi-fi kan også spille en rolle, og vil bli diskutert nærmere i kapittel 4. En detaljert kartlegging av dekningsforholdene langs de ulike hovedbanestrekningene presenteres i kapittel 5.

Det er både tekniske og merkantile utfordringer forbundet med å etablere god mobildekning langs jernbanen. Her diskuterer vi noen av dem.

**Jernbanen går ofte gjennom tynt befolkede områder.** Når mobiloperatørene planlegger og bygger sine nett, fokuserer de først på hovedfartsårer og områder med stor befolkningstetthet. Jernbanen er bygget for transport over lange avstander, og store deler av jernbanenettverket går gjennom ubebygde områder. I slike områder er mobilnettene ofte dårlig utbygd.

**Jernbanen går ofte i skjæringer, lavt i terrenget eller i tunnel.** Radiosignaler blokkeres, dempes og reflekteres fra terreng, bygninger, trær og andre objekter. Mobiloperatørene bruker en kombinasjon av ulike radiofrekvenser og sektorisering/polarisering av antenner for å sikre dekning. I rurale områder er basestasjoner ofte plassert høyt i terrenget for å gi størst mulig flatedekning. I urbane strøk benyttes ofte basestasjoner med mindre rekkevidde og smalere dekningsområde for å sikre dekning på mindre tilgjengelige steder. Jernbanen går ofte i skjæringer eller tunneller, hvor signaler fra basestasjoner langt unna sporet ikke når fram. For å dekke slike områder er det nødvendig å sette opp dedikert infrastruktur spesifikt for å gi dekning langs sporet. Dette har i liten grad blitt gjort så langt.

**Trafikkmønsteret gjør en dedikert utbygging langs jernbanen krevende.** Der mobiloperatørene bygger dedikert infrastruktur for dekning langs jernbanen, må basestasjonene ofte håndtere et krevende trafikkmønster. Et tog kan ha et hundretalls passasjerer med kommunikasjonsbehov om bord. Det vil dermed være behov for relativt høy kapasitet på basestasjonen når et tog er innenfor dekningsområdet, som diskutert i kapittel 2.3. Når ingen tog er i nærheten, vil basestasjonen bli stående ubrukt. Den gjennomsnittlige lasten vil dermed ofte være lav på mindre trafikkerte strekninger. Dette fører igjen til at mobiloperatørene ofte prioriterer å bygge ut i andre områder der trafikkbeklastningen er jevnere. På mer trafikkerte strekninger, med høyere frekvens på togene, kan en kommersiell utbygging lettere forsvares.

**Det kreves kontinuerlig dekning for å tilby en god tjeneste.** Mange mobiltjenester, særlig synkroner tjenester som tale, krever kontinuerlig dekning for at kvaliteten skal oppleves som god. Selv mindre dekningshull vil føre til brutte samtaler eller avbrudd i tjenesten. Man oppnår i begrenset grad øket kundetilfredshet ved klattvis/delvis utbygging. Kravet til kontinuerlig dekning gjør at den initiale investeringen som behøves blir større.

### 3.2 Dempning i togkarosseriet

Dekning langs jernbanen er ikke tilstrekkelig for å sikre gode mobiltjenester på tog. Dempning av radiosignalene i togkarosseriet fører til at selv om det er normalt god dekningsforhold i friluft, vil signalkvaliteten inne i toget ikke være tilstrekkelig til å støtte en god brukeropplevelse. Togsettet vil vil i mange tilfeller opptre som et Faradaybur, som effektivt blokkerer radiosignalene. Særlig moderne togsett gir sterk demping av signaler. Krav til støydemping, solskjerming og redusert varmetap gjør at disse har en tett konstruksjon med metallfilm i vinduene. Eldre togsett har ofte større vinduer uten metallfilm, og demper signalet i mindre grad.

Graden av dempning er også avhengig av frekvensen til radiosignalene. Lavere frekvenser trenger lettere gjennom togkarosseriet, mens høyere frekvenser stoppes mer effektivt.

NSB har gjennomført målinger av hvor mye mobilsignaler dempes i togkarosseriet for ulike togtyper og radiofrekvenser. Målingene er enkeltmålinger gjennomført i Lodalen utenfor Oslo S, og vil i noen grad være avhengige av dekningsforholdene der og tilfeldige variasjoner i målingene<sup>2</sup>. De gir likevel en god indikasjon på dempningseffekten.

Togtype	Dempning 800MHz	Dempning 2100 MHz
Type 74/75	9-16 dB	5-15 dB
Type 73	9-19 dB	15-24 dB
Type 70	13-15 dB	15-18 dB
Type 69G	9 dB	5 dB
Vogn B7	14 dB	11 dB
Vogn FR5	14 dB	15 dB

Tabell 3.1 - Dempning i signalstyrke for ulike togtyper

Denne dempningen vil ha betydelig innvirkning på kvaliteten til mobiltjenester. En dempning på 3dB betyr at radiosignalet utenfor toget må være dobbelt så sterkt for å gi en tilsvarende tjeneste. En dempning på 10 dB betyr at styrken på radiosignalet må være 10 ganger så sterkt, mens en dempning på 20dB betyr at det må være 100 ganger så sterkt. Det er dermed svært vanskelig å bygge radiodekning langs jernbanen som skal gi en tilstrekkelig tjenestekvalitet uten å installere utstyr som skal motvirke dempningen i karosseriet. En slik utbygging vil bli uforholdsmessig dyr.

### 3.3 Interferens med GSM-R

Jernbaneverkets eier og opererer et radionett for kommunikasjon mellom lokfører og togleder. Dette nettet er basert på GSM-R standarden, som er nært beslektet med GSM. GSM-R har i tillegg til standard GSM funksjonalitet også noen funksjoner utviklet spesielt for jernbaneformål, i hovedsak knyttet til effektiv gruppekommunikasjon og prioritet for nødsamtaler. Jernbaneverkets GSM-R nett sto ferdig i 2006. Det består av om lag 550 basestasjoner med tilhørende transmisjon, og dekker hele det norske jernbanenettet.

GSM-R opererer i 900 MHz-båndet, på frekvenser som ligger nært opptil frekvenser benyttet av kommersielle mobiloperatører. I Norge er det Tele2 (nå TeliaSonera) som har operert i frekvensbåndet nærmest GSM-R. Nærheten til kommersielle mobilnett kan i noen tilfeller føre til interferensutfordringer. Dette er særlig et problem når kommersielle nett har høy sendestyrke på punkter langs jernbanen som ligger langt fra en GSM-R basestasjon. Jernbaneverket bygger hvert år 10-15 GSM-R basestasjoner for å motvirke interferens fra kommersielle nett.

<sup>2</sup> Slike tilfeldige variasjoner fører for eksempel til at målingene i noen tilfeller viser høyere dempning for lave frekvenser enn for høye frekvenser, noe som er i strid med teorien.

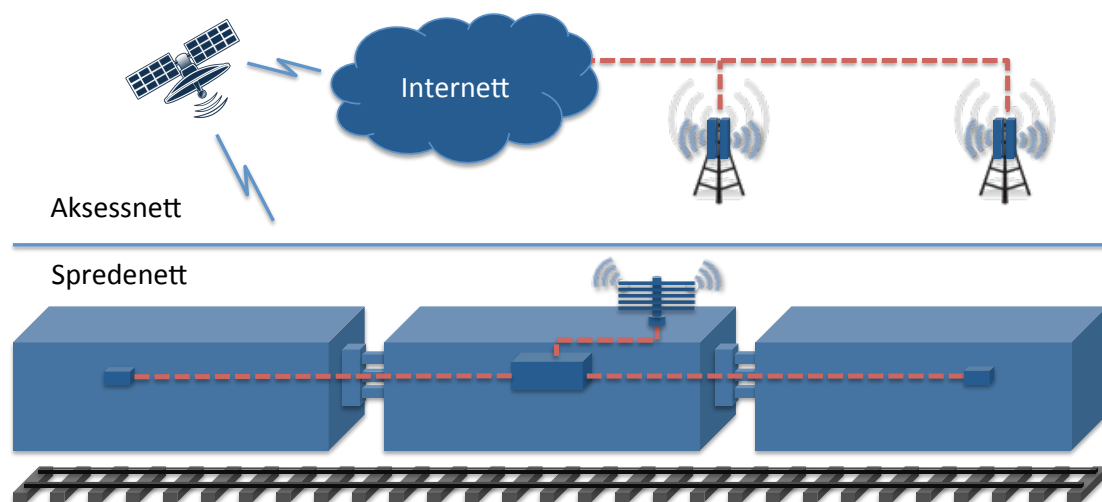


Interferens på grunn av kommersielle mobilnett er hovedsaklig et problem når disse sender på nærliggende frekvenser i 900 MHz-båndet. Foreløpig har dette frekvensbåndet kun blitt benyttet til 2G og 3G, men det er naturlig å tro at operatørene over tid også vil ta det i bruk til 4G. Interferens er ikke et problem når kommersielle operatører innplasserer sendeutstyr på GSM-R lokasjoner.

I Sverige har Trafikverket foretatt en utredning av interferensproblemer og sameksistens mellom GSM-R og kommersielle mobilnett i 900 MHz båndet [8]. Utredningen konkluderer med at sameksistens er mulig, men at det bør innføres klare retningslinjer for hva som er akseptable nivåer av lekkasje til tilstøtende frekvensbånd.

## 4 Vurdering av tekniske løsninger

Mobiltjenester på tog kan realiseres ved hjelp av ulike tekniske løsninger, både for *aksessnett* (forbindelsen mellom toget og omverdenen) og *spredennett* (distribusjon av signaler om bord). Valg av løsning for aksessnett vil også være styrende for valg av spredennett. Her diskuterer vi ulike mulige løsninger og ser på hvor de har blitt tatt i bruk i andre land.



Figur 4.1 - Aksessnett og spredennett

### 4.1 Aksessnett

Det finnes ulike måter å etablere forbindelse mellom toget og omverdenen. Disse kan grovt klassifiseres som dedikerte nett, eksisterende nett og satellitt [9]. Valg av modell vil ha betydning for kapasitet, dekning og kundeforhold.

#### 4.1.1 Dedikerte nett for mobiltjenester på tog

En mulig løsning for å tilby mobiltjenester på tog er å bygge et eget dedikert radionett langs jernbanen. Et slikt nett kan bygges og opereres av Jernbaneverket på samme måte som GSM-R, og kan gjenbruke mye av infrastrukturen fra dette nettet.

Det finnes flere eksempler på dedikerte nett for å kunne tilby internett på tog.

- I Tyskland opererer Deutsche Telekom et dedikert nettverk basert på Flash-OFDM teknologi for å tilby wifi om bord på Deutsche Bahns ICE-tog [2]. Dette nettet opererer i 450 MHz frekvensbåndet, som gjør det mulig å dekke store områder med et begrenset antall basestasjoner. Kapasiteten i dette nettet er imidlertid begrenset, og det er varslet at det skal fases ut.
- I England har Southern Rail bygget et nettverk basert på WiMax-standarden for å tilby internett på sine tog mellom London og Brighton [1]. Nettverket opererer i 5,4 GHz frekvensbåndet, og trenger dermed et høyt antall basestasjoner for å gi kontinuerlig dekning.
- I USA satser Amtrak på å bygge et dedikert nettverk for å tilby mobiltjenester på sine tog i den såkalte North East Corridor mellom Boston og Washington [10]. Et krav til utbyggingen er at hvert tog skal kunne motta minst 25 Mbit/s i en hastighet av 250 km/t.

Hovedargumentet for å bygge et dedikert aksessnettverk for mobiltjenester på tog er at eksisterende nettverk ikke har tilstrekkelig dekning og/eller ikke kan tilby de hastigheter som kreves. Introduksjonen av nyere teknologi (4G) i mobilnettene gjør at dette argumentet er mindre gyldig i dag.

Et ankepunkt mot dedikerte aksessnett er høy etableringskostnad. Det vil kreve store investeringer å etablere et høykapasitets nettverk langs hele jernbanenettet. Selv en begrenset etablering i de mest trafikkerte områdene vil kreve etablering av et eget driftsapparat, og være kostbart. En begrenset etablering i de mest trafikkerte områdene vil også kun gi dekning i de samme områdene hvor mobilnettene har best dekning.

Et dedikert aksessnett impliserer bruk av wifi i sprednettet, siden brukerterminaler normalt ikke vil kunne kommunisere direkte med det dedikerte nettet.

Nexia anser utbygging av et eget dedikert aksessnett for mobiltjenester på tog som lite aktuelt, og har ikke tatt dette alternativet med i kostnadsanalysen i kapittel 7.

#### 4.1.2 Bruk av eksisterende landbaserte nett

Et mer aktuelt alternativ er å basere mobiltjenester på tog på eksisterende landbaserte aksessnett. Alle typer nett kan i prinsippet benyttes, men de kommersielle mobilnettene vil være de viktigste på grunn av deres utbredelse og tilgjengelighet. Et tilbud om internettilknytning på tog basert på kommersielle mobilnett er i dag i drift i en lang rekke land, inkludert Norge.

Nexia anser kommersielle mobilnett som den mest effektive måten å dekke behovet for kommunikasjon til tog. Disse nettene er i stadig utvikling, og dekning og kapasitet forbedres kontinuerlig. Her diskuterer vi ulike teknologivalg og aspekter ved bruk av mobilnettene som aksessnett til tog i Norge.

Det finnes i dag tre operatører av kommersielle mobilnett i Norge; Telenor, TeliaSonera (Netcom) og Ice. Telenor og TeliaSonera opererer landsdekkende nett basert på 3GPP-familien av standarder. Begge operatørers nett er en miks av forskjellige generasjoner av mobilstandarder, kjent som 2G (GSM), 3G (UMTS) og

4G (LTE). 2G- og 3G-nettene har per i dag høyest dekningsgrad, men det meste av ny utbygging skjer på 4G. Det er ventet at 4G-dekningen over tid vil nærme seg dagens 2G-dekning. Ice opererer i dag et nett basert på CDMA standarden, men har annonsert at de skal migrere til LTE.

Mobilnettene realiseres i ulike frekvensblokker, ofte omtalt som 450 MHz-båndet, 800 MHz-båndet, 900 MHz-båndet, 1800 MHz-båndet, 2100 MHz-båndet og 2600 MHz-båndet. Ulike radiofrekvenser har ulike propagasjonsegenskaper. Med lavere frekvenser er det mulig å dekke et større geografisk område per basestasjon. Ice oppgir for eksempel med sitt nettverk i 450 MHz-båndet at de dekker 75% av Norges landareal med om lag 450 basestasjoner. Hver basestasjon har imidlertid en begrenset kapasitet, så den opplevde overføringshastigheten vil henge sammen med tettheten av basestasjoner.

I dagens mobilnett er kun 4G som kan tilby den nødvendige kapasiteten for å tilby gode mobiltjenester på tog. Som diskutert i kapittel 2.3, vil et tog i dag ofte ha et kapasitetsbehov på 20-40 Mbit/s, og dette behovet vil øke i årene som kommer. Samtidig går jernbanen ofte gjennom tynt befolkede områder, med få andre brukere av mobiltjenester. For å få til en effektiv utbygging av mobildekning med god dekning og tilstrekkelig kapasitet anser Nexia derfor 800 MHz og 900 MHz båndene som best egnet. Av disse brukes kun 800 MHz-båndet til 4G i dag, men det er naturlig å tro at denne teknologien også vil bli tatt i bruk i 900 MHz-båndet i løpet av få år. Der det er behov for øket kapasitet, kan en tettere etablering av basestasjoner i 1800 MHz og 2100 MHz båndene være aktuelt.

450 MHz båndet kan også spille en rolle for å sikre dekning der det foreløpig ikke er bygget ut på høyere frekvenser. Denne frekvensen støttes imidlertid ikke av vanlige brukerterminaler, og kan derfor kun brukes sammen med en wifi-basert løsning i sprednettet om bord på toget.

I tillegg til mobilnettene kan også eksisterende wifi-nett kunne spille en rolle for å gi passasjerene et bedret tilbud når togene er inne på stasjoner. Jernbaneverket tilbyr gratis wifi på en rekke stasjoner. Dette wifi-nettet kan også benyttes av passasjerer på tog, enten direkte eller som aksessnett for en wifi om bord løsning.

#### 4.1.3 Satellittbaserte løsninger

Satellitt kan fremstå som en attraktiv løsning for å sikre kapasitet der det ikke finnes bakkebaserte alternativer. En fordel med satellittbaserte løsninger er en relativt beskjeden investeringskostnad, siden det ikke kreves egen infrastruktur langs jernbanen. Alt som behøves er antenne og satellittmodem om bord på toget, samt en sentral satellitthub som tar i mot og sender signaler til toget. En slik sentral funksjon tilbys av de fleste satellittoperatører, og trenger ikke etableres spesielt for mobiltjenester på tog.

Det finnes en rekke installasjoner av satellittbasert bredbånd på tog, og flere leverandører har spesialisert seg på dette segmentet. Noen eksempler på eksisterende installasjoner er:

- 21Net leverer systemer som er i produksjon på Thalys sine tog mellom Frankrike, Tyskland og Belgia [1]. Den samme løsningen brukes også på strekninger i India og Italia.
- Et konsortium av blant annet Eutelsat og Orange leverer en løsning som er i drift på en del av SNCF sine høyhastighetstog mellom Frankrike og Tyskland [11]. Den totale båndbredden er på 30 Mbit/s fordelt på alle togene på denne linjen.
- Gilat Satellite Networks leverer løsninger til togselskaper blant annet i Russland og Kazakhstan.

Ved bruk av satellittbaserte løsninger vil togoperatøren typisk kjøpe en fast kapasitet av en satellittpoperatør. Denne kapasiteten kan så fordeles på alle togene med tilgjengelig mottakerutstyr, så lenge disse opererer innenfor satellittens dekningsområde.

Det finnes flere mulige tekniske løsninger for hvordan satellittkommunikasjonen implementeres. Moderne løsninger basert på DVB-RCS2 standarden tillater at både nedstrøms- og oppstrømskapasiteten kan deles dynamisk basert på behovet i det enkelte togsett. Det er for eksempel mulig å kun benytte satellittkapasitet for togsett som er i trafikk, og som ikke har tilstrekkelig annen dekning. Teknisk gjøres dette ved at alle togsettene mottar all nedstrømsdata fra satellitten, og deretter henter ut den relevante informasjonen. For opplasting av data, benyttes en dynamisk tilordning av tidsluker til de togene som har størst behov.

Et ankepunkt mot satellittbaserte løsninger er høye driftskostnader. I 2008 ble SNCFs kostnad for 36MHz, som kunne gi en total kapasitet på rundt 20 Mbit/s fordelt på en flåte av 20 tog, oppgitt til ”over 3 millioner Euro per år” [12]. Prisen for satellittbåndbredde har gått noe ned siden 2008, og ligger i dag på om lag 5-6000 USD per MHz/mnd.

I tillegg til pris er det også noen praktiske utfordringer med satellittbasert bredbånd på tog. For det første kreves det relativt store antenner for å sikre gode nok mottaksforhold. Disse antennene må spesialtilpasses til det aktuelle toget og tverrsnittet på tunneler. Det finnes i dag satellittløsninger som opererer i et høyere frekvensspekter enn tidligere. Dette gjør at det er mulig å redusere størrelsen på antenner noe.

Satellittbaserte løsninger krever direkte sikt mellom antenne og satellitt. Dermed gir de ingen dekning i tunneler og ved andre hindringer som høye bygninger langs jernbanen. I tillegg finnes det områder som ligger i såkalt satellittskygge, det fjell eller annet terreng blokkerer for signalene. Bruk av satellitt krever derfor en grundig kartlegging av satellittskygge sett opp mot eksisterende og fremtidige dekningshull langs jernbanen, for å kunne evaluere hvilken øket nytte som vil oppnås.

#### 4.1.4 Tiltak som kan fremme mobildekningen langs jernbanen

Nexia anser kommersielle mobilnett som den mest aktuelle teknologien for å etablere tilstrekkelig kapasitet i aksessnett. Her diskuterer vi tiltak som kan gjøre utbygging av mobildekning mer kostnadseffektiv.

En stor del av kostnadene ved å etablere mobildekning er passivt utstyr som master, radiohytter og strømfråmføring til basestasjoner. Jernbaneverket har allerede etablert slik infrastruktur langs hele jernbanenettet for sitt GSM-R nett, og utbygging av kommersiell mobildekning kan gjøres mer effektivt dersom denne stilles til rådighet. Vi anslår at kostnadene ved å etablere en basestasjon kan mer enn halveres ved innplassering i GSM-R lokasjoner sammenlignet med etablering av egen lokasjon.

GSM-R basestasjoner er som regel bygget slik at det skal være plass til fremtidige installasjoner fra kommersielle nett. I mange tilfeller vil det imidlertid være behov for å øke transmisjonskapasiteten til basestasjonene. GSM-R basestasjoner har ofte en transmisjonskapasitet på 2 Mbit/s, noe som langt fra dekker behovet til en 4G basestasjon. Der Jernbaneverket har etablert fiber til GSM-R basestasjoner, bør det vurderes om denne kan benyttes også av de kommersielle operatørene.

En effektiv utnyttelse av GSM-R infrastruktur krever et godt samarbeid mellom Jernbaneverket og mobiloperatørene. Jernbaneverket må etablere enkle rutiner for å behandle søknader om innplassering, og det må være klare ansvarsforhold med tanke på tilgang til og vedlikehold av delt infrastruktur.

Det er også lang tradisjon for samlokalisering av basestasjoner mellom mobiloperatørene. På den måten kan store deler av etableringskostnaden deles mellom flere operatører. Det finnes eksempler på større prosjekter der en mobiloperatør har stått for hele etableringen av radiodekning på vegne av flere operatører. Utbyggingen av 4G-dekning i tbane-tunnelene i Oslo og på Gardermoen er eksempler på slike ordninger. I begge tilfeller har Telenor stått for utbyggingen, mens kostnadene har blitt delt mellom alle mobiloperatørene.

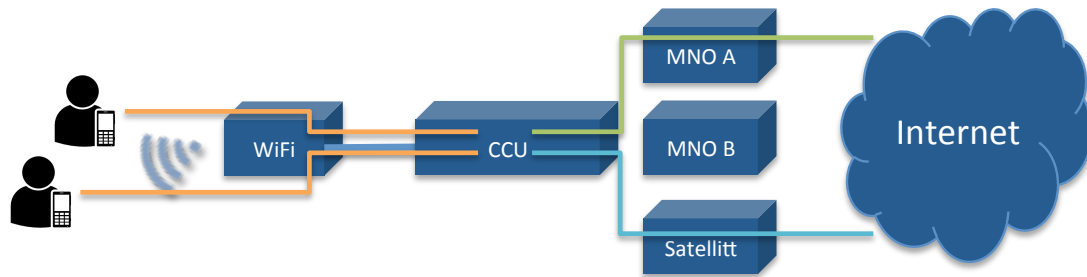
## 4.2 Spredenett

Som diskutert i kapittel 3.2 dempes radiosignaler betydelig i togkarosseriet. Det er derfor nødvendig å forsterke eller regenerere signalet inne i toget. Dette gjøres ved å etablere et spredenett i toget. Et spredenett består av en eller flere antenner på taket av toget, en sentral enhet inne i toget, og antenner eller aksesspunkter i alle kupéer.

Et viktig skille er mellom spredenett som terminerer en forbindelse fra utsiden og setter opp en ny forbindelse inne i toget (typisk wifi), og løsninger som kun forsterker det originale utvendige signalet inne i toget (signalforsterkere).

### 4.2.1 Wifi

Tradisjonelt har de fleste forsøk på å tilby internett på tog benyttet wifi som grensesnitt mot passasjerene. I denne arkitekturen monteres det et (eller ofte to) wifi aksesspunkt i hver kupé. Disse er knyttet til en sentral enhet (Central Control Unit – CCU) i toget gjennom et kablet nettverk. CCU styrer alle aksesspunktene, og er knyttet til ett eller flere modemer som terminerer forbindelsene inn til toget. Som diskutert over kan disse forbindelsene være av ulike typer: mobilnett, satellitt, wifi eller andre tilgjengelige teknologier.



Figur 4.2 - Spredenett realisert over wifi

I en wifi-løsning har CCU full kontroll over alle forbindelser mellom passasjerer og internett. Kommunikasjonen mellom brukerterminaler og CCU går over wifi/ethernet, mens kommunikasjonen mellom CCU og verden utenfor toget kan gå over en hvilken som helst av de tilgjengelige teknologiene, som illustrert i Figur 4.2. Passasjer A sin forbindelse kan gå gjennom et mobilnett, mens passasjer B sin forbindelse går over satellitt.

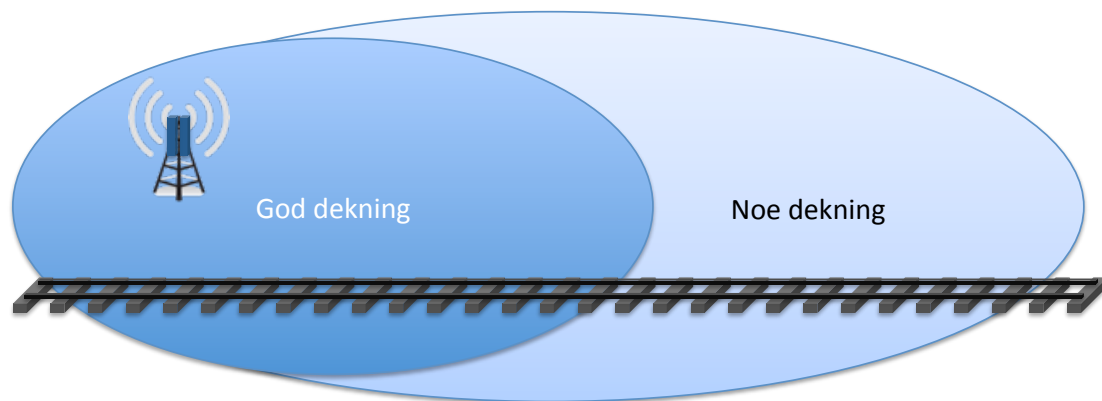
En styrke med denne løsningen er den nærmest universelle utbredelsen av wifi-teknologien. De fleste brukerterminaler, som smarttelefoner, nettbrett og bærbare datamaskiner, støtter wifi. En wifi-løsning skjuler den underliggende teknologien i aksessnettet. Dermed kan alle brukerterminaler kommunisere over ulike teknologier, som 3G, 4G, CDMA eller satellitt, uten å måtte støtte denne teknologien selv.

En wifi-løsning åpner også for at CCU kan distribuere trafikklasten over de ulike tilgjengelige nettverkene på en intelligent måte. Dersom flere nettverk er tilgjengelige, vil den totale kapasiteten som deles mellom brukerne være summen av de enkelte nettverkens kapasitet.

En ulempe med en wifi-løsning er at den per i dag ikke støtter tradisjonell telefoni. Dette vil kreve at mobiloperatørene åpner opp for såkalt voice-over-wifi i sine nett. Enkelte mobiloperatører tilbyr allerede denne tjenesten [3] [4]. I tillegg kan en wifi-basert løsning ha begrensninger på grunn av manglende kapasitet i selve spredenettet.

#### 4.2.2 Signalforsterkere

En annen måte å motvirke dempningen i togkarosseriet er å montere signalforsterkere (repeatere) om bord. Effekten av signalforsterkere er å utvide det effektive dekningsområdet for basestasjoner. Uten signalforsterkere kreves det svært god dekning langs jernbanen for å kunne kommunisere med ønsket kvalitet på tross av dempningen i togkarosseriet. Signalforsterkere gjør det mulig å kommunisere også der dekningen er svakere, som illustrert i Figur 4.3.



Figur 4.3 - Signalforsterkere utvider området der dekningen kan benyttes effektivt

Signalforsterkere er ikke involvert i protokollene som setter opp forbindelsen mellom brukerterminaler og internett. Deres eneste rolle er å fange opp radiosignaler utenfor (innenfor) togkarosseriet og repetere det samme signalet innenfor (utenfor) karosseriet. Figur 4.4 illustrerer hvordan den enkelte passasjers forbindelse går direkte gjennom signalforsterkeren, uten at denne spiller en aktiv rolle på protokollnivå i datautvekslingen. Brukerterminalene må selv etablere og vedlikeholde forbindelsen til radionettet utenfor toget.



Figur 4.4 – Forbindelser gjennom signalforsterkere

Signalforsterkere forholder seg ikke til hvilken teknologi forbindelsene går over. De opererer på radionivå og forsterker alle radiosignaler som fanges opp innenfor definerte frekvensområder. Alle signaler forsterkes, både signaler fra basestasjoner, interferens og annen støy. En signalforsterker vil dermed fungere for alle teknologier, slik som 2G, 3G, 4G og CDMA. Signalforsterkere vil primært brukes til å forsterke signaler fra mobilnettene, men kan i teorien også forsterke signaler fra andre teknologier som WiMax eller wifi.

En signalforsterker kan fungere i flere frekvensbånd samtidig, og kan dermed forsterke signaler fra flere ulike mobiloperatører. De kan også utstyres med GPS, og dermed konfigureres til å forsterke ulike frekvensbånd på ulike lokasjoner. Dette kan særlig være aktuelt for tog som opererer i flere land.

Dersom signalforsterkere er satt til å forsterke signalet for sterkt, kan dette føre til problemer med "lekkasje" av signaler og forurensning av frekvensspekteret utenfor toget. Sendestyrken bør derfor begrenses til å gi den samme signalstyrken inne i toget som utenfor.

Med signalforsterkere er det en direkte sammenheng mellom den enkelte mobiloperatørs dekning og deres kunders brukeropplevelse. Brukerterminaler vil være direkte knyttet til mobiloperatørens nett. Dersom denne operatøren ikke har dekning, vil deres kunder ikke kunne kommunisere, selv om andre operatører har dekning. I motsetning til en wifi-løsning kan derfor ikke et sprednett basert på signalforsterkere utnytte summen av ulike operatører og teknologiers dekning for å gi passasjerene et bedre tilbud. Den vil heller ikke gi noe tilbud til brukerterminaler som ikke kan knytte seg direkte til mobilnettene, som for eksempel mange bærbare datamaskiner.

En styrke med et sprednett basert på signalforsterkere er at den også forbedrer kvaliteten på tradisjonell telefoni.

En god og stabil løsning basert på signalforsterkere krever et godt regime for overvåkning og vedlikehold av utstyret. En utfordring her er avstanden mellom de som eier kundeforholdet til endebrukerne (mobiloperatørene) og de som vedlikeholder utstyret om bord (togoperatør med samarbeidspartnere).

#### 4.2.3 Småceller

Et tredje alternativ for sprednett vil være såkalte småceller. Småceller er små basestasjoner som sender i mobiloperatørens lisensierte frekvensområder. De er primært utviklet for å gi bedre dekning og kapasitet innendørs, og sender med lavere effekt enn tradisjonelle basestasjoner. Siden de sender i lisensierte frekvensbånd, må småceller opereres av en mobiloperatør eller i forståelse med en mobiloperatør. Det finnes i dag småceller som støtter to samtidige mobiloperatører, slik at den samme cellen kan benyttes av ulike operatørers kunder.

Det finnes småceller både for 3G og 4G teknologi. Dagens 3G småceller støtter typisk 16 eller 32 samtidige tale- eller databrukere, mens 4G småceller kan støtte 64 samtidige brukere. Et sprednett basert på småceller hvor det installeres en basestasjon i hver togvogn vil derfor kunne gi en tilfredsstillende kapasitet. Dempning av radiosignaler i togkarosseriet er i denne sammenhengen en fordel, siden den vil begrense lekkasjen av signaler fra basestasjoner om bord, som ellers kunne skape interferensproblemer i mobilnettene utendørs.

Småceller er fleksible med hensyn til hva slags oppstrøms forbindelse som benyttes mot det sentrale mobilnettet. Både mobilnett og satellittlink vil kunne brukes som aksessnett i kombinasjon med småceller. En fordel med å bruke småceller om bord, er muligheten for å støtte tradisjonelle taletjenester.

## 5 Dagens situasjon for mobiltjenester på tog

Gode mobiltjenester på tog krever samarbeid mellom tilbydere av mobilkommunikasjon, togoperatører og infrastruktureiere. I Norge har det i lengere tid vært en dialog mellom mobiloperatører (i hovedsak representert ved Telenor Mobil), NSB og Jernbaneverket. Gjennom diskusjoner har disse partene kommet fram til en ansvarsfordeling som i hovedsak går ut på at



- Mobiloperatørene har ansvaret for å etablere dekning langs jernbanen utenfor tunneler
- Jernbaneanverket har ansvaret for å etablere dekning i tunneler
- Togoperatør har ansvaret for å gjøre signalene tilgjengelige om bord, ved å installere nødvendig utstyr som motvirker demping i togkarosseriet

På tross av enighet om denne modellen, er det en utbredt oppfatning at mobiltjenester på tog ikke er gode nok i dag. En del av utfordringen har vært ulike syn på hva slags sprednett som er best egnet, noe som også har implikasjoner for kundeforhold og konkurransesituasjon, som vi skal se i kapittel 6. I tillegg har det vært utfordrende å finne gode modeller for overvåkning og drift av utstyr i tunneler og på tog.

## 5.1 Mobildekning langs jernbanen

Det finnes mobildekning langs mye av jernbanen, særlig i sentrale strøk, men dekningen er sjeldent sammenhengende over lange strekninger. Dagens dekning er i stor grad et produkt av tilfeldigheter. Mobiloperatørene har i hovedsak fokusert på utbygging der folk bor samt langs viktige veier. I den grad det finnes dekning langs jernbanen, er dette som regel en sideeffekt av utbygging mot andre markeder.

Vi har som en del av arbeidet med denne rapporten kartlagt dagens mobildekning langs jernbanen. Kartleggingen omfatter dekningen for de to viktigste mobilnettene – Telenor og Netcom. I tillegg til disse tilbyr også Ice mobiltjenester basert på egen infrastruktur. Ice opererer i dag et nett i 450 MHz-båndet basert på CDMA-teknologi. Ice har annonsert at de skal erstatte det nåværende nettet med et nytt nett basert på LTE-teknologi. Det nye nettet vil kunne være en del av en framtidig løsning for mobiltjenester på tog, i første rekke som en bærer for en wifi-om bord løsning.

### 5.1.1 Målinger av mobildekning

Grunnlaget for denne kartleggingen er målinger gjennomført av Robuste Nett senteret ved Simula i samarbeid med NSB. Målingene er gjennomført ved å plassere dedikerte målenoder på en håndfull tog. Togene med målenoder er regiontog som benyttes på strekningene Oslo-Stavanger, Oslo-Bergen, Oslo-Trondheim og Trondheim-Bodø. Utstyret har samlet målinger gjennom en periode på omtrent 6 måneder gjennom høsten 2014 og vinteren 2015.

Noen banestrekninger er ikke dekket av togene med målenoder. Av disse er særlig Vestfoldbanen (Drammen-Skien) og Østfoldbanen (Oslo-Halden) viktige strekninger med tungt trafikkgrunnlag. For disse har Nexia sammen med Simula og NSB gjennomført ad hoc målinger med samme type målenoder som ellers i landet. Andre banestrekninger, som Rørosbanen, Gjøvikbanen, Raumabanen og Østfoldbanens østre linje har vi ikke målinger for.

Måleutstyret er plassert innendørs i togsettet, uten bruk av ekstra intern eller ekstern antenne. Det er heller ikke installert signalforsterkere eller annet aktivt utstyr fra operatørene på de aktuelle togsettene. Radiosignalene som når målenodene er derfor dempet av togkarosseriet som beskrevet i kapittel 3.2. Målingene reflekterer derfor brukeropplevelsen slik den framstår for passasjerer i dag.

Målenodene er koblet til de ulike mobilnettene (Telenor og Netcom) ved hjelp av modemer for mobilt bredbånd tilsvarende de som selges til forbrukere i dag. Fire ganger i minuttet rapporterer en målenode status for forbindelsen til hvert mobilnett. I denne analysen ser vi på hvilken teknologi forbindelsen går over. Dette kan være 4G (LTE), 3G, 2G eller Ingen tjeneste. Målenodene vil automatisk velge det beste tilgjengelige teknologien.

I vår analyse av målingene deler vi banestrekningene opp i 500 meters intervaller, og slår sammen alle måleravlesningene i hvert intervall. Generelt har vi 10-50 avlesninger for hvert nett i hvert intervall – antallet vil variere med togsettenes reisemønster. For hvert intervall beregner vi den *typiske* dekningen og den *optimistiske* dekningen. Den typiske dekningen er definert som den teknologien som er observert flest ganger i det geografiske intervallet, mens den optimistiske dekningen er definert som den høyeste teknologien som er observert i minst 10% av målingene. Et eksempel er gitt i Tabell 5.1, som viser alle avlesningene gjort i et intervall ved Heimdal stasjon sør for Trondheim.

	<b>Operatør A</b>	<b>Operatør B</b>
Avlesninger LTE	5	0
Avlesninger 3G	27	9
Avlesninger 2G	0	0
Avlesninger Ingen	14	33
<b>Typisk dekning</b>	<b>3G</b>	<b>Ingen</b>
<b>Optimistisk dekning</b>	<b>LTE</b>	<b>3G</b>

*Tabell 5.1 – Dekningsmålinger ved Heimdal stasjon*

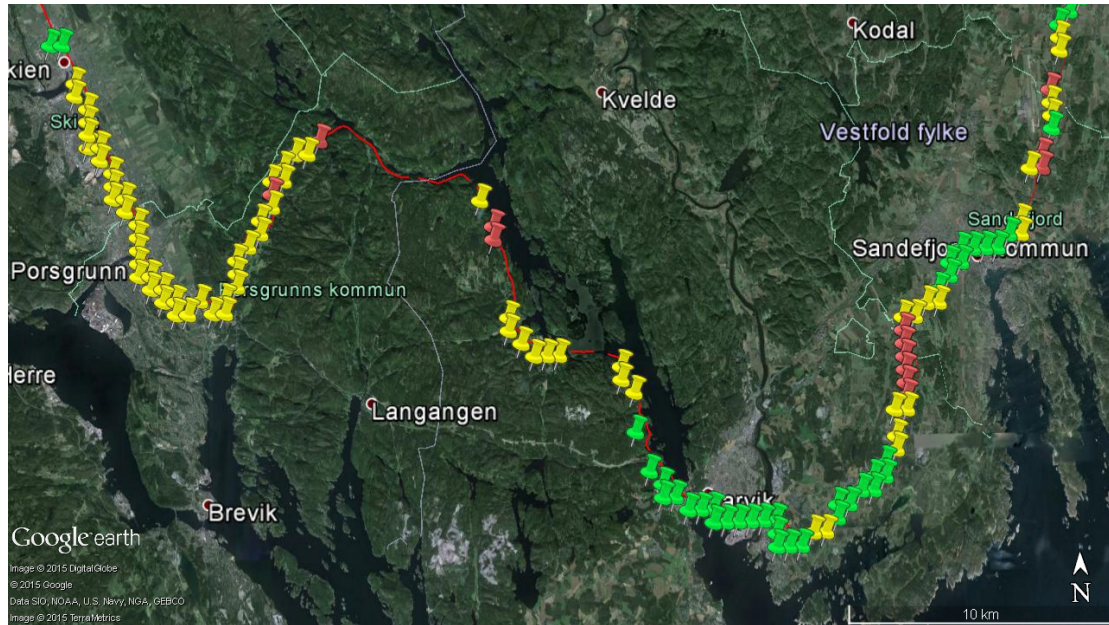
### 5.1.2 Generelt om dekning

Mobildekningen langs jernbanen avhenger i stor grad av hvorvidt sporet går i nærheten av bebyggelse eller hovedveier. Der dette er tilfelle er dekningen ofte god, siden mobiloperatørene har fokusert på slike områder i sin utbygging. Der jernbanen går gjennom ubebygde områder og langt fra veinettet er dekningen ofte sparsom.

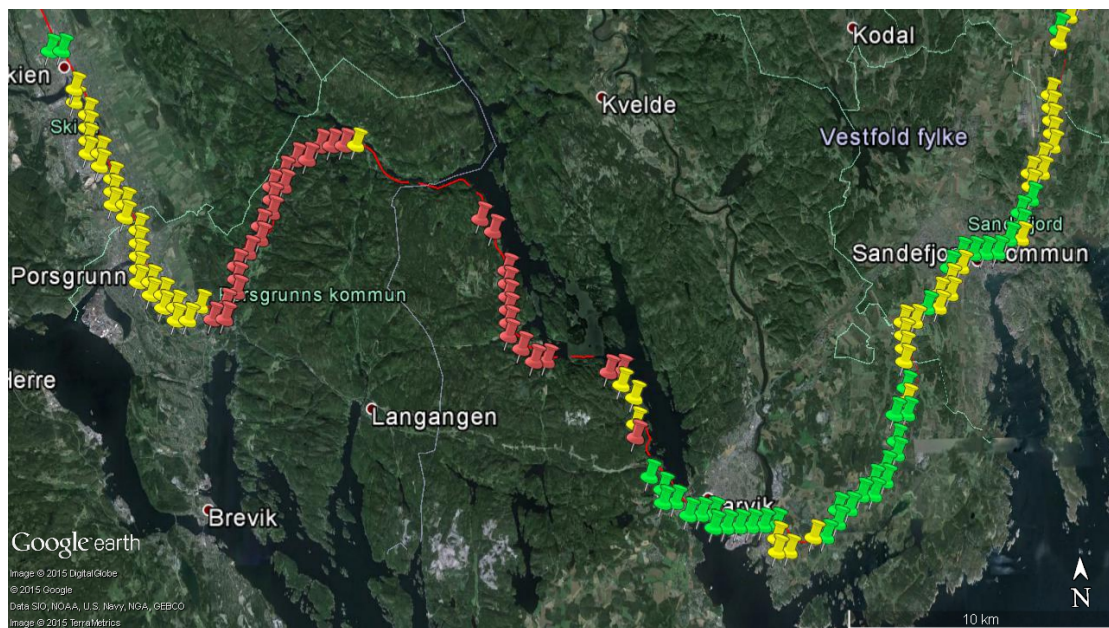
Generelt er kun en svært liten del av jernbanenettet dekket av 4G. Denne dekningen er stort sett konsentrert rundt byer og andre sentrale områder. Dekningen er imidlertid sporadisk, og brukerterminaler med 4G støtte vil derfor oppleve hyppige skifter mellom 4G og andre teknologier, noe som vil påvirke brukeropplevelsen negativt.

3G er i dag den viktigste teknologien for å gi mobile datatjenester langs jernbanen. Store deler av jernbanenettet har i dag 3G-dekning, særlig i sentrale og tungt trafikkerte områder. Mobildekningen langs jernbanen er imidlertid fortsatt mangelfull i mange områder. Under halvparten av det totale jernbanenettet er dekket av 3G eller 4G (målt inne i togsettet).

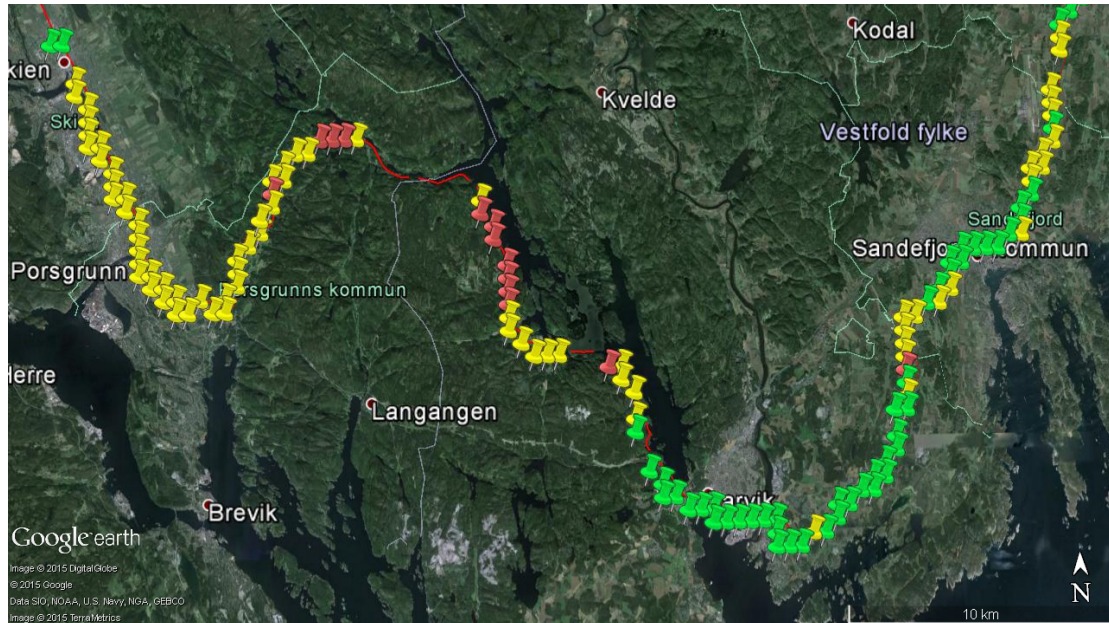
- Nexia -  
Bedre mobiltjenester på tog



Figur 5.1 - Netcoms dekning på deler av Vestfoldbanen (Rød=2G, Gul=3G, Grønn=4G)



Figur 5.2 - Telenors dekning på deler av Vestfoldbanen (Rød=2G, Gul=3G, Grønn=4G)



Figur 5.3 - Beste dekning på deler av Vestfoldbanen (Rød=2G, Gul=3G, Grønn=4G)

Figur 5.1 – 5.3 viser et utsnitt av den typiske mobildekningen på den sørlige delen av Vestfoldbanen. Figurene viser at selv om det er stor grad av overlapp i dekningen mellom Telenor og Netcom, er det likevel vesentlige forskjeller mellom operatørene. Figur 5.3 viser unionen av de to operatørenes dekning, altså den høyest mulige dekningen på hvert punkt langs sporet. Denne figuren illustrerer potensialet for bedre dekning gjennom bruk av flere operatører i parallell. Merk at dekningen gjengitt her er målt inne i togsettet. Effekten av å montere eksterne antenner og regenerere signalet inne i toget diskuteres i kapittel 5.3.

### 5.1.3 Dekning per banestrekning

Tabell 5.2 – 5.4 viser den typiske dekningen for de ulike teknologier fordelt på ulike regioner og banestrekninger. I tabellene angir "Høy" dekningen for mobiloperatøren med den høyeste dekningen på den aktuelle strekningen, mens "Lav" angir dekningen for mobiloperatøren med lavest dekning. Merk at hvilken operatør som har høyest eller lavest dekning varierer mellom banestrekninger og teknologier.

Disse tallene inkluderer ikke tunneldekning. Tabellene viser at det er store forskjeller mellom de ulike regionene. Særlig er 3G (og delvis 4G) dekningen vesentlig bedre i sentrale områder enn på lengre distanser.

4G	Regional	InterCity	Local	Oslo-Bergen	Oslo-Stavanger	Oslo-Trondheim	Trondheim-Bodø
Høy	5%	15%	14%	7%	4%	3%	5%
Lav	1%	8%	5%	1%	1%	1%	1%

Tabell 5.2 - 4G dekning inne i togsettet

3G	Regional	InterCity	Local	Oslo- Bergen	Oslo- Stavanger	Oslo- Trondheim	Trondheim- Bodø
Høy	43%	78%	87%	61%	51%	54%	27%
Lav	38%	73%	80%	50%	47%	44%	22%

Tabell 5.3 - 3G eller 4G dekning inne i togsettet

2G	Regional	InterCity	Local	Oslo- Bergen	Oslo- Stavanger	Oslo- Trondheim	Trondheim- Bodø
Høy	58%	87%	90%	72%	58%	68%	48%
Lav	49%	79%	82%	70%	56%	52%	32%

Tabell 5.4 - 2G, 3G eller 4G dekning inne i togsettet

Detaljerte kart som viser dekningen for hver teknologi og hver mobiloperatør på disse strekningene er utarbeidet som en del av denne rapporten. Kartene er tilgjengelige i elektronisk format.

#### 5.1.4 Dekning i tunneler

Jernbaneverket har tatt et hovedansvar for å bygge ut mobildekning i tunneler. Dette innebærer at Jernbaneverket installerer utstyr som antenner og signalforsterkere i tunneler, og lar mobiloperatørene koble sitt utstyr til dette. For dekning i tunneler benyttes som regel såkalt strålekabel som monteres på veggen i hele tunnelens lengde. Dette er en type perforert koaksialkabel som kan sende og motta signaler og dermed erstatter tradisjonelle antenner. Kortere tunneler kan også dekkes med rettede antenner i tunnelåpningen, slik at man slipper kostbart installasjonsarbeid inne i tunnelen. Jernbaneverkets tunnelutbygging er teknologi- og operatørnøytral. Det er likevel visse begrensninger i hvilke frekvenser som kan benyttes. I utbygde tunneler har man lagt til rette for mobilsignaler i 450MHz, 800MHz, 900MHz, 1800MHz og 2100MHz frekvensbåndene.

Det finnes 733 jernbanetunneler i Norge [5]. Av disse har 53 en lengde på over 1000 meter. Særsklit utbygging av mobildekning kreves dersom tunnelens lengde overstiger 100-120 meter. Det anslås at om lag 370 tunneler ville kreve utbygging for å få full dekning i alle tunneler.

I dag er kun et fåtall tunneler utbygd. Jernbaneverket har fokusert sin innsats på strekningen Tønsberg-Eidsvoll. Nær alle tunneler på denne strekningen er utbygd, totalt 18 tunneler. Unntakene er Oslotunnelen og Romeriksporten. I disse to tunnelene finnes det etablert strålekabel, men det er ikke satt inn utstyr som gir 4G-dekning. Utenom strekningen Tønsberg-Eidsvoll har vi ikke identifisert noen utbygde tunneler. En del nye tunneler er under bygging, hovedsakelig på Vestfoldbanen, og åpnes i 2018. I disse er mobildekning med fra starten.

## 5.2 Spredenett

Som diskutert i kapittel 3.2, er demping av signaler i togkarosseriet en betydelig utfordring for gode mobiltjenester. For å sikre gode mobiltjenester, bør mobilsignaler hentes inn via en ekstern antenne og distribueres videre internt i toget. Dette kan

gjøres ved hjelp av signalforsterkere som forsterker mobilsignalet, eller ved at det etableres et trådløst nettverk om bord.

#### 5.2.1 Signalforsterkere om bord

Det finnes i dag signalforsterkere på en del tog, men disse har bare blitt brukt til å forsterke 2G (primært taletrafikk). Et problem med dagens forsterkerløsning er at ansvaret for overvåking og vedlikehold av disse har vært uklart. Dette har ført til en situasjon der det er uklart hvor mange av disse signalforsterkerne som er operative.

#### 5.2.2 Wifi om bord

NSB tilbyr i dag internetttilgang til sine reisende på de fleste tog. Dette gjøres gjennom en wifi-løsning levert av det britiske selskapet Nomad Digital. Internetttilgang for de reisende er en del av et større system som også inkluderer funksjoner for oppdatert passasjerinformasjon, overvåking av komponenter på toget, passasjertelling med mer.

Teknisk består Nomad-løsningen av wifi aksesspunkter plassert i hver vogn i togsettet. Disse kontrolleres av en sentral ruter, som er koblet til Internett gjennom modemer fra flere mobiloperatører. Det benyttes i dag modemer fra Telenor, Netcom og Ice. Modemene er koblet til eksterne antenner på taket av toget, slik at demping i karosseriet unngås. Systemet vil dynamisk distribuere trafikk på de tilgjengelige nettverkene, slik at summen av tilgjengelig kapasitet kan benyttes.

Datakapasiteten ut av toget er en begrenset ressurs som må deles av alle brukere på toget. Wifi-løsningen gjør det mulig å kontrollere bruken i noen grad for å gi en mer rettferdig fordeling av tilgjengelig kapasitet mellom brukerne. Dette gjøres ved å begrense datamengden her enkelt passasjer kan sende og motta i løpet av et tidsintervall, samt ved helt å blokkere tilgangen til noen båndbreddeintensive tjenester inkludert populære videostrømmingstjenester. Dagens løsning inneholder en sentral komponent i NSB sitt nett som all trafikk fra togene rutes gjennom. Dette gir NSB ytterligere mulighet til å kontrollere trafikkstrømmen, men kan samtidig gi utfordringer med tanke på kapasitet og kvalitet/forsinkelse.

Nomad-løsningen er i dag installert på regiontog, intercitytog og noen lokaltog. Totalt er det tilbud om wifi i 167 togsett, og det er planlagt videre utbygging i alle nyere togsett. Wifi-løsningen gir et visst tilbud om internetttilgang, men den har eller har hatt en del begrensninger som reduserer nytten for de reisende:

- Påloggingen til wifi-nettet har blitt oppfattet som tungvint. Løsningen krever at brukerne registrerer seg og autentiserer seg før bruk. Tidligere versjoner av påloggingssystemet har vært tungvint og lite fleksiblet. I framtiden planlegges det å tilby løsninger som ikke krever pålogging.
- Driftsstabiliteten til systemet har vært for lavt. Mange passasjerer rapporterer om at tilgjengeligheten av systemet oppleves som varierende.
- Tilbudet begrenses av manglende mobildekning. Manglende mobildekning langs sporet begrenser verdien av systemet. Der det ikke finnes mobildekning, eller der kapasiteten i de tilgjengelige nettene er for lav, vil verdien av tjenesten være begrenset.

- Mobilabonnementene som brukes i løsningen hadde tidligere begrensede datakvoter, noe som har ført til at tilgjengelig kvote fra enkelte tilbydere har blitt brukt opp tidlig i måneden. Dette problemet har senere blitt løst.

### 5.3 Samarbeidsavtale for bedre mobiltjenester på tog

I mars 2015 ble det annonsert at NSB, Telenor og Jernbaneverket har inngått en avtale om samarbeid for å bedre mobildekningen på tog. Avtalen innebærer at aktørene skal koordinere sin innsats og blant annet prioritere de samme banestrekningene ved utbygging. For 2015-2016 er det enighet om å prioritere følgende banestrekninger:

- Oslo-Lørenskog-Gardermoen (Hovedbanen)
- Oslo-Fredrikstad (Østfoldbanens vestre linje)
- Oslo-Tønsberg (Drammensbanen/Vestfoldbanen)
- Stavanger-Bryne (Jærbanen)

Det viktigste elementet i samarbeidsavtalen er at NSB skal installere signalforsterkere om bord i togsettene som trafikkerer de prioriterte strekningene. Dette utstyret skal finansieres av NSB, som også vil være ansvarlige for drift og vedlikehold. Det vil etableres et samarbeid med Telenor og eventuelt andre mobiloperatører om overvåking av tilgjengeligheten til utstyret.

Som diskutert over er en vellykket løsning basert på signalforsterkere avhengig av et tett samarbeid mellom de som eier kundeforholdet til endebrukerne (mobiloperatørene) og de som vedlikeholder utstyret om bord (togoperatør med samarbeidspartnere). Ofte er det mobiloperatørene gjennom sine kunder som vil oppdage et problem, mens feilretting må foretas av leverandør på vegne av togoperatør. Et slikt samarbeid krever etablering av gode prosesser på tvers av organisasjoner for å oppdage, rapportere, diagnostisere og utbedre feil og mangler med utstyret om bord. Etter Nexias vurdering vil dynamikken i dette samarbeidet være det viktigste suksesskriteriet i den inngåtte avtalen.

Samarbeidet mellom NSB og Telenor er ikke eksklusivt, og NSB uttrykker håp om at også Netcom vil benytte anledningen til å styrke sin dekning langs jernbanen. Utstyret som installeres vil være agnostisk i forhold til nettverksoperatør, og kan forsterke radiosignaler for alle operatører som sender i de aktuelle frekvensene.

Som diskutert i denne rapporten er forsterkning av radiosignaler viktig for å motvirke effekten av demping i togkarosseriet. Denne avtalen er derfor et viktig steg i retning av gode mobiltjenester på tog. Samtidig innebærer den en viktig endring i NSB sitt tilbud til sine passasjerer. Mens tilbudet tidligere har vært begrenset til wifi om bord, går NSB nå aktivt inn og legger til rette for at passasjerene også lettere kan benytte sitt private telefonabonnement på toget. I et eventuelt framtidig scenario der det åpnes for økt konkurranse om togdrift, bør det vurderes om også andre togoperatører kan innlemmes i avtalen.

### 5.3.1 Estimert dekning ved etablering av signalforsterkere

Etableringen av signalforsterkere på tog vil ha en sterk innvirkning på den opplevde dekningen om bord på toget. Dekningsmålingene presentert så langt i denne rapporten representerer mobildekning slik den vil oppleves i dag inne i togsettet. Når de planlagte signalforsterkerne er på plass, vil det føre til vesentlig bedre dekning om bord. Som beskrevet i kapittel 3.2, utgjør dempingen i karosseriet om lag 15 dB for de togsettene vi har måledata fra.

For å ta hensyn til den planlagte oppgraderingen, presenterer vi her nye estimater for mobildekningen slik de kan fremstå etter at signalforsterkere er etablert.

Dekningstallene angitt i kapittel 5.1 er basert på den *typiske* dekningen, altså den forbindelsestypen som har blitt observert flest ganger på en gitt lokasjon. For å estimere opplevd dekning med signalforsterkere om bord, rapporterer vi i stedet den *optimistiske* dekningen. Den optimistiske dekningen angir den høyeste forbindelsestypen som har blitt observert på lokasjonen i minst 10% av tilfellene. Dersom det for eksempel har blitt observert 4G-dekning på en lokasjon ved minst 10% av målingene, sier vi at denne lokasjonen vil ha 4G dekning, selv om flertallet av målinger angir 3G-dekning.

Dette estimatet av framtidig opplevd dekning er beheftet med en del usikkerhet. Det kan være til dels store variasjoner i dekning innenfor en strekning på 500 meter, som er granulariteten på våre dekningsmålinger. Det er rimelig å anta at signalforsterkere vil gi et godt signal om bord dersom signalet i utgangspunktet er godt nok til å opprette en forbindelse selv uten forsterkning. Det er imidlertid ingen garanti for at signalet alltid vil være godt. På tross av denne usikkerheten mener vi at denne framgangsmåten vil gi et rimelig estimat av hvilken dekning man kan forvente.

Tabellene under viser estimert dekning for ulike teknologier etter etablering av signalforsterkere om bord. I tillegg til dekningen for Høy og Lav viser tabellen også unionen av disse to operatørens dekning. Unionen angir andelen av hver strekning der minst en av operatørene har dekning. Som diskutert i neste kapittel viser dette hvor en wifi om bord løsning vil kunne ha dekning fra disse to operatørene.

4G	Regional	InterCity	Local	Oslo-Bergen	Oslo-Stavanger	Oslo-Trondheim	Trondheim-Bodø
Høy	14%	32%	49%	26%	18%	11%	11%
Lav	6%	23%	30%	6%	6%	9%	4%
Union	17%	44%	60%	28%	20%	18%	13%

Tabell 5.5 - Estimert 4G dekning med signalforsterkere

3G	Regional	InterCity	Local	Oslo-Bergen	Oslo-Stavanger	Oslo-Trondheim	Trondheim-Bodø
Høy	60%	86%	93%	72%	76%	75%	39%
Lav	58%	84%	93%	61%	73%	71%	39%
Union	68%	93%	97%	74%	82%	87%	44%



Tabell 5.6 - Estimert 3G eller høyere dekning med signalforsterkere

2G	Regional	InterCity	Local	Oslo- Bergen	Oslo- Stavanger	Oslo- Trondheim	Trondheim- Bodø
Høy	92%	95%	97%	92%	95%	94%	89%
Lav	87%	92%	94%	89%	93%	87%	82%
Union	95%	97%	97%	95%	98%	98%	93%

Tabell 5.7 - Estimert 2G eller høyere dekning med signalforsterkere

Sammenlignet med tabellene i kapittel 5.1 viser disse tabellene en klar forbedring av dekningen. For eksempel øker 3G-dekningen fra 78/73% til 86/84% for Høy/Lav på Intercitystrekningene, og fra 43/38% til 60/58% på Regiontogstrekningene. For 4G er økningen i noen tilfeller enda sterkere, fra 15/8% til 32/23% på Intercity og fra 5/1% til 14/6% på Region for henholdsvis Høy og Lav.

## 6 Hovedmodeller for mobiltjenester på tog

For å strukturere den videre diskusjonen presenterer vi to hovedalternativer for hvordan mobiltjenester leveres til reisende. Disse omtales som *Togoperatørmodellen (TOM)* og *Mobiloperatørmodellen (MOM)*. I dette kapitlet presenterer vi de to hovedmodellene og diskuterer fordeler og begrensninger i hver av dem.

### 6.1 Togoperatørmodellen (TOM)

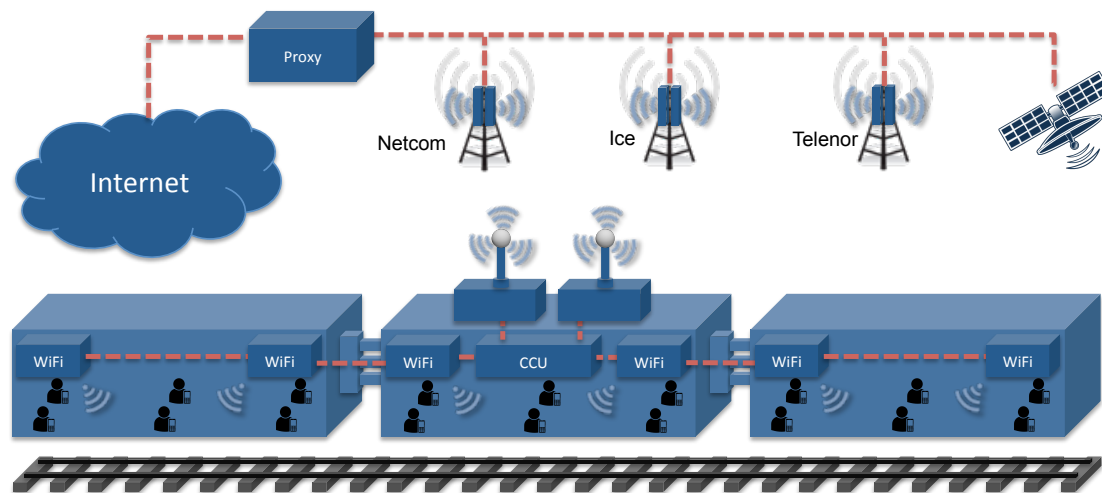
I TOM forholder de reisende seg til togoperatøren som leverandør av internettforbindelse. Et trådløst lokalnett (wifi) som eies av togselskapet brukes som sprednett om bord i toget. Togoperatøren kontrollerer det tilbudte produktet, og kan velge å integrere tilleggstenester som ruteinformasjon og lokalt innhold. Togoperatøren kan også velge å begrense hvilke tjenester og hvilken kapasitet hver bruker har tilgang til, for å sikre en mer rettferdig utnyttelse av nettverkskapasiteten.

Sprednettet henter sin oppstrømsforbindelse fra ulike tilbydere av mobilt bredbånd. Disse forbindelsene realiseres gjennom et eller flere modemer fra hver tilbyder. Modemene mottar signaler gjennom antenner som er plassert på utsiden av togsettet. Løsningen kan også inkludere satellittbasert bredbånd og bruk av wifi-nett på stasjoner.

Historisk har det meste av innsats som er gjort for å tilby internettaksess på tog vært basert på ulike former av TOM [2]. Dette skyldes først og fremst at de kommersielle mobilnettene verken har hatt den nødvendige dekningen eller den nødvendige kapasiteten til å gi et tilstrekkelig tilbud.

TOM åpner for at Jernbaneverket kan ta en aktiv rolle for å framskynde utbygging gjennom å inngå avtaler med mobiltilbydere om å etablere dekning langs utvalgte jernbanestrekninger. Dette kan for eksempel bety at Jernbaneverket innhenter tilbud fra mobiloperatørene på å etablere dekning med en viss kapasitet og kvalitet på en strekning. Denne dekningen vil da komme den aktuelle mobiloperatørens kunder direkte til nytte, og samtidig være med på å gi kapasitet til en wifi-løsning på toget.

Siden TOM kan benytte alle mobilnett om hverandre, kan en slik avtale om utbygging inngås separat med forskjellige tilbydere på forskjellige strekninger.



Figur 6.1: Tekniske komponenter i TOM

#### 6.1.1 Fordeler med TOM

Den største fordelen med TOM er muligheten for å utnytte dekning og kapasitet fra alle operatører. I tillegg til de tradisjonelle mobiltilbyderne kan man i TOM også supplere med kapasitet fra Ice i 450 MHz-båndet og med satellitt. Gjennom denne fleksibiliteten får man på en god måte utnyttet alle de investeringer som allerede er gjort i ulike nett og infrastrukturer

I tillegg åpner TOM for en del tjenester som ikke like lett lar seg realisere i MOM. Blant annet kan man benytte wifi-nettet på toget til å tilby lokalt innhold som ruteopplysninger og annen informasjon om reisen, nyheter, film eller reklame. TOM har også den fordelen at den gir et tilbud til reisende med brukerterminaler som ikke kan koble seg direkte til mobilnettene. Dette gjelder for eksempel de fleste bærbare datamaskiner og nettbrett. Med en wifi-løsning kan disse også få et tilbud om internettilknytning. Det samme gjelder for utenlandske passasjerer, som ofte vil være restriktive med bruk av datatjenester fra mobiloperatører på grunn av høye kostnader (selv om disse stadig reduseres som følge av EU-regulering).

En siste fordel med TOM sett fra et brukerperspektiv er pris. Bruk av dagens wifi-om bord løsning fra NSB er gratis, og brukere trenger derfor ikke å belaste sitt eget mobilabonnement med kostnader for datatrafikk fra toget. En praktisk fordel med TOM er at den allerede er installert og i produksjon i mange av NSB sine tog, som beskrevet i kapittel 5.2.

#### 6.1.2 utfordringer med TOM

TOM har også utfordringer og begrensninger. En klar begrensning med dagens teknologi er manglende støtte for tradisjonell mobiltelefoni. Per i dag er det ikke mulig å ringe ut eller bli oppringt på et vanlig telefonnummer over wifi i Norge. I stedet må passasjerene bruke såkalte over-the-top IP-telefonitjenester for talekommunikasjon. Eksempler på slike tjenester er Skype, Viber, Whatsapp, Facetime og Google Talk. Det er imidlertid mulig at denne begrensningen vil forsvinne over tid. Den planlagte

innføringen av VoLTE vil gjøre også tradisjonell mobiltelefoni til en pakkebasert tjeneste. Veien derifra til også å kunne tilby tale over wifi er teknisk sett ikke lang, og noen operatører har allerede introdusert dette i markedet [3] [4].

En annen utfordring med TOM er begrenset kapasitet. Det vil ofte være vanskelig for en wifi-løsning å effektivt utnytte den tilgjengelige kapasiteten fra alle tilgjengelige nettverk. Dette kan være på grunn av hastighetsbegrensninger i sprednettet, eller fordi det er vanskelig å utnytte kapasiteten fra flere tilgjengelige basestasjoner med et eller få modem. Videre kan togoperatøren legge begrensninger på hvor mye trafikk hver bruker kan sende for å sikre rettferdig fordeling mellom brukerne eller på grunn av begrensninger i sitt eget dataabonnement. Slike begrensninger er ikke gjeldende i MOM.

En potensiell utfordring med TOM er at den kan motvirke mobiloperatørens insentiver for å bygge ut bedre dekning langs jernbanen. Med TOM vil alle passasjerer oppleve et like godt tilbud, uavhengig av hvilken mobiloperatør de selv er kunde av. Dette kan redusere verdien av god dekning langs jernbanen som et konkurransefortrinn. Operatørene er også avhengige av trafikkvolum i nettene for å forsvare utbygging. Dersom for mye av datatrafikken går gjennom togoperatøren, kan dette være med på å redusere trafikkgrunnlaget.

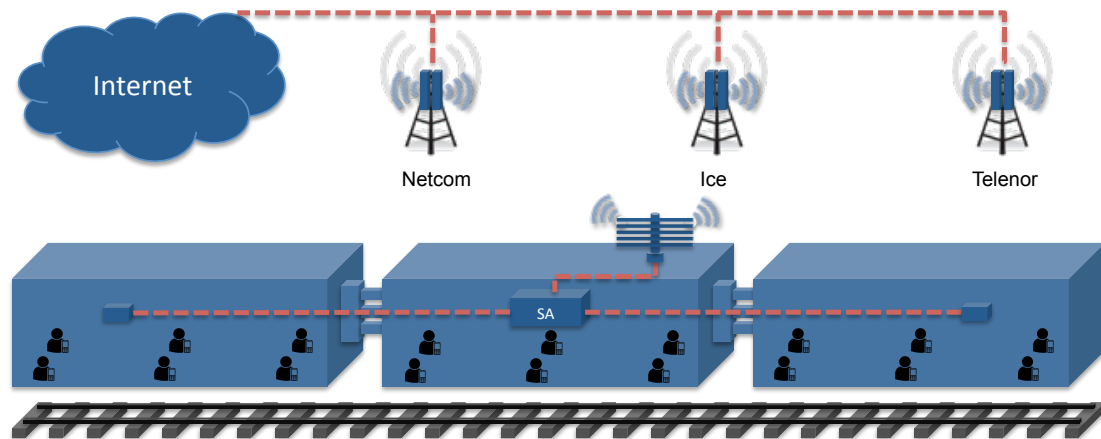
En wifi-løsning som i TOM står også i fare for å virke tungvint fra et brukerperspektiv. En del brukere har normalt ikke wifi slått på på sin telefon, og pålogging kan være en irriterende barriere for bruk.

## **6.2 Mobiloperatørmodellen (MOM)**

I MOM forholder de reisende seg til sin egen mobiloperatør som leverandør av internettforbindelse og andre mobiltjenester. Tilgang til internett styres av den enkeltes avtale med sin operatør, samt operatørens dekning.

Signalkvaliteten kan økes i MOM ved å installere en signalforsterker om bord i togsettet, som diskutert i kapittel 4.2. En signalforsterker kan benytte en ekstern antenne, og unngår dermed dempingen fra karosseriet i toget. En signalforsterker kan forsterke signal fra flere tilbydere, og det er ikke nødvendig å installere eget utstyr for hver tilbyder.

MOM har inntil nylig ikke vært et reelt alternativ for å tilby internettaksess på tog, på grunn av manglende dekning og kapasitet i mobilnettene. Innføringen av nyere teknologi (4G) og en sterk utbygging av mobilnettene er i ferd med å endre dette bildet, og MOM (med signalforsterkere) kan i dag gi et godt tilbud på store deler av jernbanenettet.



Figur 6.2: Tekniske komponenter i MOM

### 6.2.1 Fordeler med MOM

En fordel med MOM er at den stimulerer til konkurranse mellom mobiloperatørene. I denne modellen vil hver brukers opplevelse avhenge av hvor god dekning hennes mobiloperatør har langs jernbanen. God dekning kan dermed bli et viktig konkurransefortrinn for en mobiloperatør.

I tillegg vil MOM ofte kunne tilby hver enkelt bruker mer kapasitet enn TOM. Dagens wifi-løsning er ment som et minimumstilbud for lite kapasitetskrevede applikasjoner som epost og websurfing. Løsningen legger klare begrensninger på hvilke datamengder hver enkelt bruker får legge beslag på. For eksempel vil videostrømming raskt føre til at en bruker mister sin tilkobling. Med MOM er det operatørens dekning og kapasitet sammen med passasjerens abonnement som begrenser bruken.

MOM har også fordelen av enkelhet fra et brukerperspektiv. Passasjerer kan bruke sin mobiltelefon som de er vant til, uten innlogging på et wifi-nettverk. Tradisjonell mobiltelefoni vil også fungere som normalt.

### 6.2.2 utfordringer med MOM

En hovedutfordring med MOM er at hver operatør individuelt må bygge ut dekning for sine kunder. Dermed blir de totale investeringene for å gi alle et tilbud større enn om alle passasjerer kunne benytte ressurser fra alle nett som i TOM. Denne effekten kan i noen grad motvirkes gjennom samarbeid mellom mobiloperatørene. Store deler av kostnadene med å bygge mobildekning går til å etablere master og radiohytter. Det er tradisjon for utstrakt deling av slik infrastruktur mellom operatørene for å redusere kostnader. Langs jernbanen opererer i tillegg Jernbaneverket sitt GSM-R nett. Kostnadene ved mobilutbygging kan reduseres betraktelig ved at mobiloperatørene får enkel og rimelig tilgang til lokasjoner og infrastruktur i GSM-R.

## 6.3 Hybridmodeller TOM og MOM

TOM og MOM er ikke gjensidig utelukkende. Begge modeller kan tas i bruk på samme tog, eller ulike modeller kan brukes på ulike tog.

TOM kan sies å ha sin styrke særlig på tog som går over lange distanser og gjennom tynt befolkede områder. Her er det ofte store huller i mobildekningen fra hver enkelt

operatør, og fordelene med å kunne utnytte alle nett blir viktig. I tillegg gir TOM muligheten til å benytte satellitt som en ekstra forbindelse der ingen operatører har dekning. En del lokalt innhold, som for eksempel strømming av filmer, er også bedre egnet på lange ruter.

MOM på den andre siden, egner seg godt i mer sentrale strøk med større trafikkgrunnlag. I slike områder er det realistisk at alle mobiloperatører vil bygge ut god dekning og kapasitet, slik at gevinsten ved å kunne benytte flere nett reduseres. Der trafikkgrunnlaget er stort nok, vil det være lønnsomt for mobiloperatørene å bygge ut tilstrekkelig kapasitet slik at passasjerene får tilbud om en internettforbindelse uten administrative kapasitetsbegrensninger.

I og med samarbeidsavtalen mellom NSB og Telenor omtalt i kapittel 5.3, er vi i ferd med å få en situasjon der en stor del av togene i trafikkunge områder har utstyr for både en wifi-løsning (TOM) og signalforsterkere (MOM). Dersom denne installasjonen følges opp med målrettet utbygging av mobildekning langs jernbanen, kan dette gi passasjerene et godt tilbud.

## 7 Kostnader ved forbedret tilbud om mobiltjenester

Dette kapittelet presenterer en analyse av kostnadene forbundet med å etablere et forbedret tilbud om mobiltjenester på tog, etter henholdsvis TOM og MOM. Kostnadsanalysen ser kun på etableringskostnader, og gjør ikke beregninger av kostnader ved å vedlikeholde den etablerte infrastrukturen. Analysen er begrenset til å se på mobilnettene som aksessnett.

Kostnader er delt inn i tre hovedkategorier:

- Kostnader ved å etablere forbedret tunneldekning
- Kostnader ved å etablere full mobildekning langs jernbanelinjer utenom tunneler
- Kostnader ved å etablere nødvendig utstyr for å distribuere signaler om bord i togsettene

Videre er kostnader beregnet for to ulike ambisjonsnivåer med hensyn til kapasitet:

- Full mobildekning av 3G eller 4G
- Full mobildekning med kun 4G

Kostnader er også beregnet for to ulike ambisjonsnivåer når det gjelder hvilke tunneler som skal utrustes med egen infrastruktur for mobildekning:

- Alle tunneler over 100 meter. Dette er utbyggingsnivået som i følge Jernbaneverket trengs for å sikre uavbrutt dekning i alle tunneler.
- Alle tunneler over 400 meter. Dette reflekterer et lavere ambisjonsnivå der man aksepterer kortere brudd i mobildekningen for å senke kostnadsnivået.

Kostnadene brytes ned på ulike banekategorier og banestrekninger:

- Lokaltog (som definert i kapittel 2.1)
- Intercity (som definert i kapittel 2.1)

- De fire hovedbanestrekningene
  - Oslo-Stavanger
  - Oslo-Bergen
  - Oslo-Trondheim
  - Trondheim-Bodø
- Regiontog (unionen av de fire hovedbanestrekningene)

## 7.1 Parametere og datagrunnlag

Kostnadsberegningen er basert på en rekke parametere og inputverdier som vi gjør rede for her.

### 7.1.1 Datagrunnlag tunneldekning

Kostnadene for å etablere dekning i tunneler er basert på empiri fra tidligere utbygginger. Som diskutert i kapittel 5.1, har Jernbaneverket bygget ut tunneldekning i 18 tunneler av varierende lengde. Totalkostnaden for denne utbyggingen har vært 120 millioner kroner<sup>3</sup>. Denne summen inkluderer også relatert arbeid som fjerning av gammelt utstyr, målinger etc.

En av de største kostnadsdriverne for utbygging av tunneldekning er begrenset sportilgang. Utbygging må normalt skje nattetid når det ikke går tog i tunnelen. Dette fører til høye kostnader for personell og utstyr, og korte effektive arbeidsøkter. De utbygde tunnelene ligger på tungt trafikkerte strekninger. Vi mener at det er mulig med en noe mer kostnadseffektiv utbygging på mindre trafikkerte strekninger.

Basert på disse vurderingene har vi beregnet kostnader for å etablere mobildekning i tunneler som gitt i Tabell 3.1.

Tunneltype	Lengde	Kostnad
Kort	100-400 meter	3 000 000
Medium	400-1000 meter	6 000 000
Lang	> 1000 meter	13 000 000

*Tabell 7.1 - Kostnad tunnelutbygging*

### 7.1.2 Datagrunnlag dekning utenom tunneler

Dekning utenfor tunneler bygges ut av mobiloperatørene ved å etablere basestasjoner som gir radiodekning langs sporet. Vår tilnærming til å estimere kostnaden ved å etablere full dekning langs sporet består av tre elementer:

1. Identifisere alle huller i dekningen basert på måledataene beskrevet i kapittel 5.1.
2. Beregne antall basestasjoner som må etableres for å dekke de identifiserte dekningshullene.
3. Beregne kostnaden for å etablere de nødvendige basestasjonene.

## Identifisere huller i eksisterende dekning

---

<sup>3</sup> Kilde: Jernbaneverket

Som beskrevet i kapittel 5.3, vil etableringen av signalforsterkere på togene ha en stor innvirkning på den opplevde mobildekningen om bord. I vår kostnadsanalyse har vi benyttet estimert dekning etter etablering av signalforsterkere som grunnlag for beregningene. Som forklart i kapittel 5.3 betyr dette at vi regner en lokasjon som dekket dersom målingene viser dekning uten signalforsterkere i minst 10% av tilfellene.

### **Beregne antall basestasjoner**

Antall basestasjoner som behøves for å dekke de identifiserte dekningshullene vil avhenge sterkt av lokale forhold på de aktuelle strekningene. Særlig vil lokal topografi som fjell, skjæringer og svinger ha stor innvirkning.

I våre beregninger har vi tatt utgangspunkt i at det bygges ut LTE (4G) i 800 MHz båndet, som diskutert i kapittel 4.1. Vi har antatt en celleradius på 4 km, altså at en basestasjon kan gi dekning på 8 km av en jernbanestrekning. Vi mener at dette tallet representerer en fornuftig avveining av flere hensyn. I utgangspunktet kan en LTE basestasjon i 800 MHz båndet ha en celleradius som er vesentlig større enn 4 km og fortsatt levere rimelig kapasitet. Det vil imidlertid ikke alltid være praktisk mulig å plassere basestasjoner på de mest gunstige lokasjonene, noe som vil trekke opp antall basestasjoner som behøves for å gi god dekning. I tillegg kreves en tettere plassering av basestasjoner for å tilby den kapasiteten som behøves.

Jernbanelanternets GSM-R nettverk opererer i 900 MHz båndet, og gir god dekning på 100% av norske jernbanestrekninger. Dette nettet har en gjennomsnittlig celleradius på bare 3 km, altså en basestasjon for hver 6 km. Valget av 4 km celleradius innebærer en avveining av hva Nexia mener er en realistisk kommersiell utbygging. Med en slik tetthet av basestasjoner vil det fortsatt kunne finnes punkter og mindre områder med manglende eller begrenset dekning.

For å beregne antall basestasjoner som må bygges ut har vi gått gjennom kart over de aktuelle banestrekningene og plassert sendere slik at de identifiserte hullene dekkes.

### **Beregne kostnad for utbygging**

Kostnaden for å etablere en basestasjon består av flere elementer. De største utgiftene er som regel etablering av radiomast og utstyrshytte. Framføring av kraft vil også være en stor kostnad dersom det ikke finnes. Transmisjon vil også være en vesentlig kostnad, mens selve radioutstyret er relativt sett rimeligere.

Det vil være stor forskjell på kostnader for å etablere en ny lokasjon versus å oppgradere en eksisterende lokasjon til å støtte en nyere teknologi. Ved oppgradering er det normalt bare behov for å bytte ut elektronikk og antenner, samt eventuelt å oppgradere transmisjonskapasitet.

Langs jernbanen er det også et stort potensiale for å redusere kostnader ved å gjenbruke lokasjoner og infrastruktur fra GSM-R-nettet. Disse har ofte plass til å sette inn ekstra utstyr fra kommersielle operatører. Transmisjonskapasiteten er imidlertid ikke dimensjonert for høykapasitets datatrafikk, og må oppgraderes. I våre

kostnadsberegninger har vi antatt at det er mulig med en relativt høy grad av innplassering i GSM-R. I modellen er det ikke tatt høyde for innplassering av utstyr mobiloperatørene i mellom.

Type installasjon	Kostnad	Andel
Ny lokasjon	1 500 000	30%
Oppgradering	600 000	10%
GSM-R innplassering	600 000	60%

Tabell 7.2 - Kostnader for basestasjoner

Estimerte kostnader for etablering av basestasjoner er gitt i Tabell 7.2. Tallene er delvis basert på opplysninger gitt av mobiloperatørene [13].

### 7.1.3 Datagrunnlag utstyr på tog

Både TOM og MOM forutsetter at det etableres spredenett om bord i togsettene for å motvirke demping i karosseriet. Dette er henholdsvis wifi (TOM) og signalforsterkere (MOM). I begge tilfeller vil en stor del av kostnadene være relatert til strekking av kabler i hele togets lengde og nødvendig ombygging for å få til dette. I tillegg kommer kostnaden for selve utstyret.

I vår analyse setter vi installasjonskostnaden for wifianlegg og signalforsterkeranlegg til samme verdi. Kostnaden er basert på faktiske kostnader for installasjon av wifianlegg, oppgitt av NSB. Ut i fra disse har vi beregnet en kostnad per vogn i et togsett, og deretter beregnet kostnaden for hele togsettet avhengig av antall vogner. I beregningen av installasjonskostnaden for wifibasert spredenett har vi trukket fra kostnader for de 176 togsettene som allerede har etablert slik løsning.

Type installasjon	Kostnad per togvogn
Wifi om bord	114 000
Signalforsterker	114 000

Tabell 7.3 - Kostnader for spredenett

Togtype	Antall togsett	Vogner per togsett
Type 75 (Lokal)	43	5
Type 74 (Intercity)	23	5
Type 69 (Lokal)	82	3
Type 72 (Lokal)	36	4
Type 5 (Regional)	56	4
Type 70 (Intercity)	16	4
Type 73 (Regional)	14	4
Type 73b (Intercity)	6	4
Type 93 (Regional)	15	2
Type 7 (Regional)	8	7
Type 92 (Regional)	14	2
Type 71 (Flytoget)	16	4
Sum	329	1266 totalt

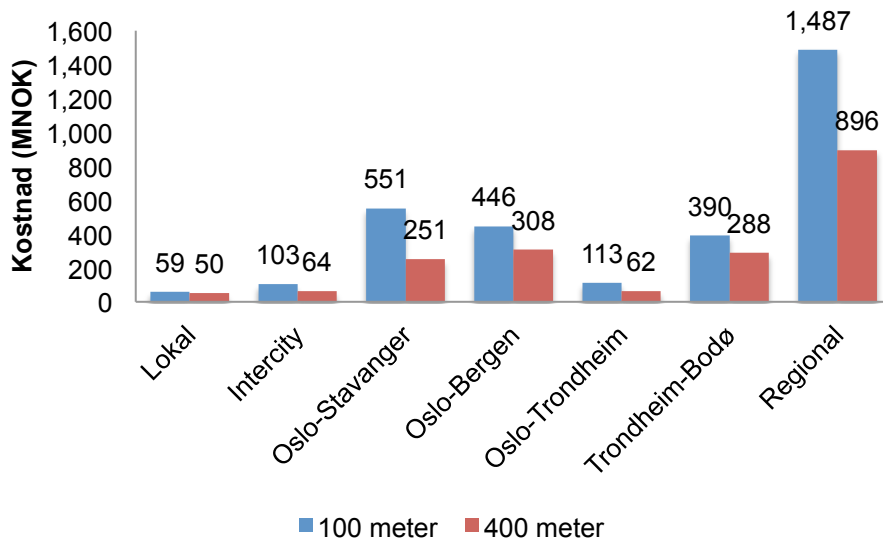
Tabell 7.4 - Antall togsett og vogner



## 7.2 Resultater

Kostnadsestimater presenteres for de ulike kostnadselementene diskutert over.

### 7.2.1 Kostnader for tunneldekning

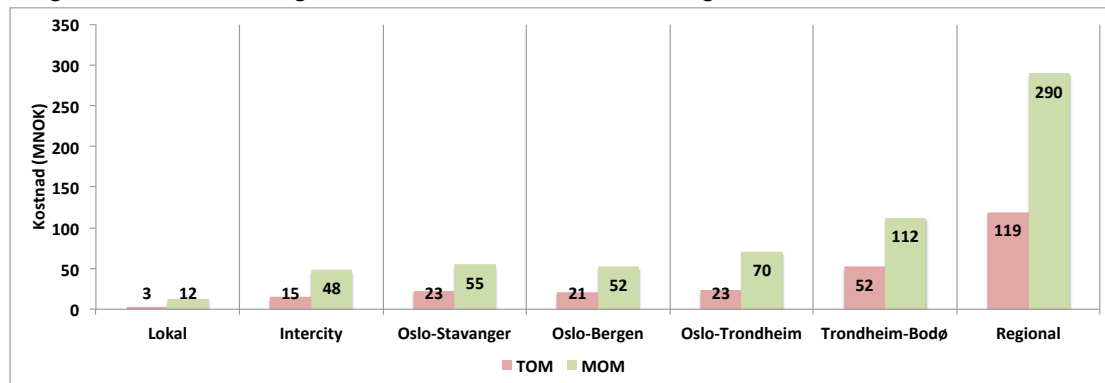


Figur 7.1 - Kostnader for etablering av tunneldekning

Figur 7.1 viser beregnede kostnader for å etablere dekning i tunneler på de ulike strekningene. Kostnadene er beregnet for etablering i alle tunneler over henholdsvis 100 og 400 meter.

### 7.2.2 Kostnader for dekning utenom tunneler

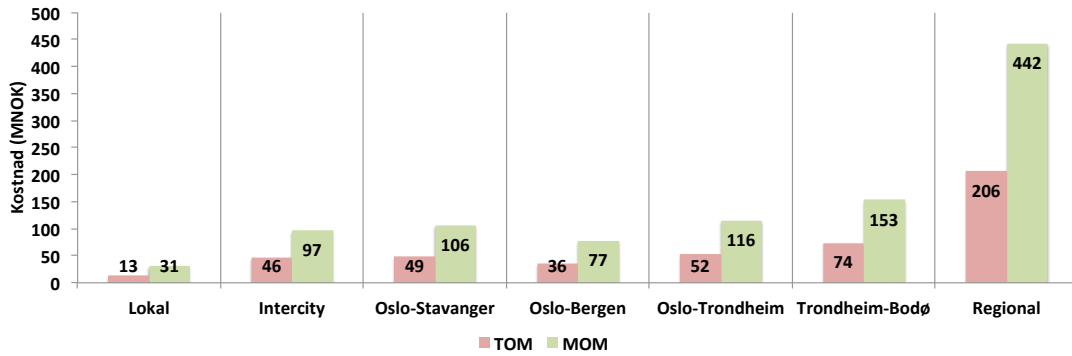
Figur 7.2 og Figur 7.3 viser beregnede kostnader for å etablere full mobildekning langs de ulike banesegmentene for henholdsvis 3G og 4G.



Figur 7.2 - Kostnad for etablering av full mobildekning utenfor tunnel 3G

Dersom man skulle bygge ut full 3G dekning langs alle regionstrekninger, ville kostnaden være 119 MNOK med TOM. MOM krever et høyere antall basestasjoner siden begge operatører må etablere dekning parallelt, og får derfor en høyere total kostnad på 290 MNOK.

**- Nexia -**  
Bedre mobiltjenester på tog



**Figur 7.3 - Kostnader for etablering av full mobildekning utenfor tunnel 4G**

Dersom man skulle bygge ut full 4G dekning langs alle regionstrekninger, ville kostnaden være 206 MNOK med TOM. MOM får en høyere totalkostnad på 442 MNOK.

**7.2.3 Kostnader for utstyr på togsett**

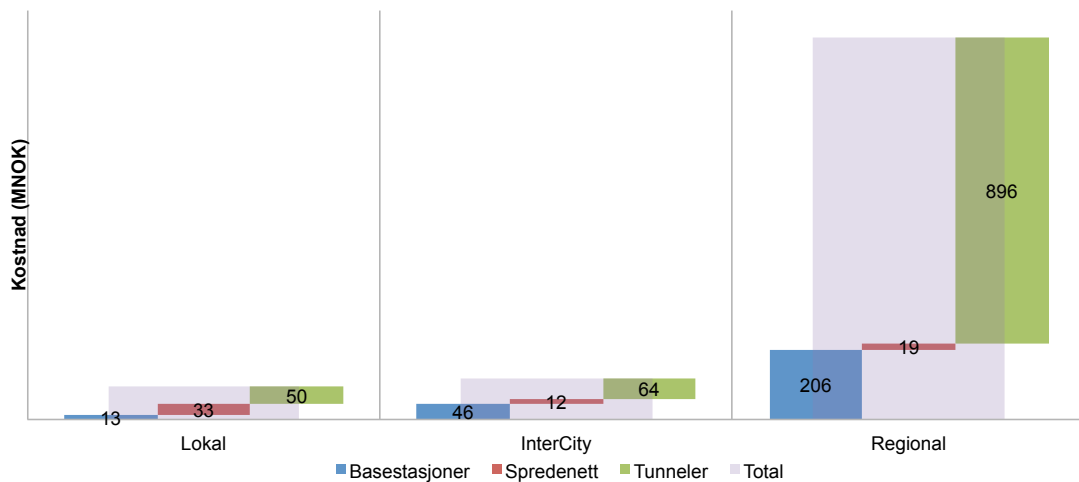
Kostnader for etablering av spredenett er gitt i Tabell 7.5. Kostnadene er beregnet for etablering i alle NSB og Flytoget sine togsett, som angitt i Tabell 7.4.

	MOM	TOM
<b>Lokal (inkl Flytoget)</b>	76 MNOK	33 MNOK
<b>Intercity</b>	23 MNOK	12 MNOK
<b>Regional</b>	45 MNOK	19 MNOK
<b>Sum</b>	144 MNOK	64 MNOK

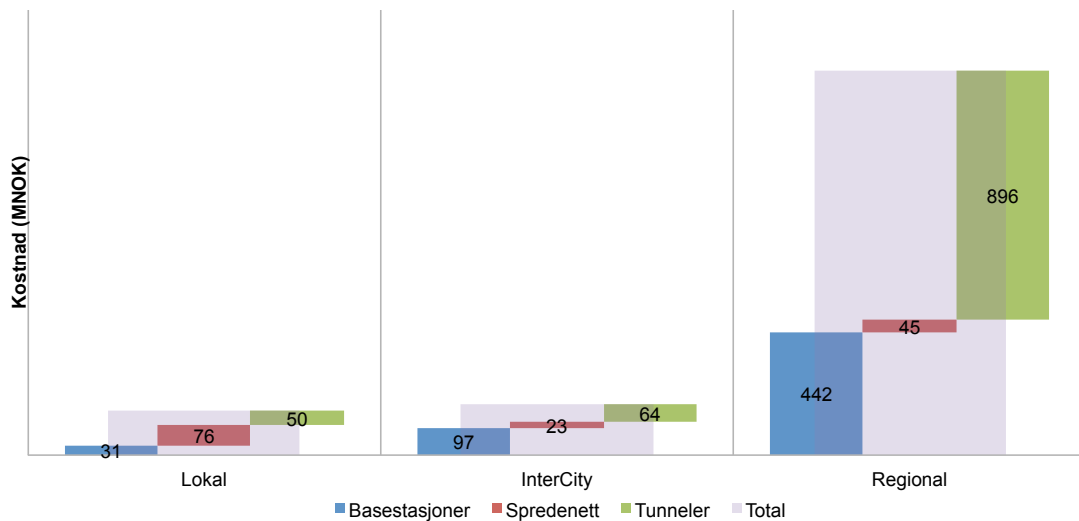
**Tabell 7.5 - Kostnader for etablering av spredenett**

**7.2.4 Samlet oversikt**

Figur 7.4 og Figur 7.5 viser samlede kostnader for etablering av full 4G dekning i henholdsvis TOM og MOM. Disse tallene forutsetter en konservativ utbygging av dekning i tunneler, der kun tunneler med lengde over 400 meter dekkes. Figurene viser klart at etablering av dekning i tunneler likevel er den klart mest kostbare delen av en utbygging.



**Figur 7.4 - Samlede kostnader TOM 4G**



Figur 7.5 - Samlede kostnader MOM 4G

## 8 Diskusjon og anbefalinger

### 8.1 Merkantile evalueringskriterier

Gode mobiltjenester på tog avhenger av et godt samspill mellom mobiloperatører, togoperatører og Jernbaneverket. Selv om alle parter har et ønske om å bidra til best mulige tjenester, representerer kompleksiteten i et slikt samspill en fare for uklare ansvarsforhold og kompliserte beslutningsprosesser.

#### 8.1.1 Aktørenes insentiver for gode mobiltjenester

Mobiloperatørene har en klar interesse av at deres kunder skal ha best mulig mobiltjenester overalt, også på tog. Betalingsmodellene for mobilabonnementer ble for få år siden lagt om, slik at operatørenes inntekter nå i større grad henger sammen med bruk av mobildata. Togreisende er en attraktiv kundegruppe, med høy andel unge brukere med høyt forbruk av datatjenester. Som denne rapporten har dokumentert, er det en sterk vekst både i antall passasjerer og i bruken av mobile datatjenester på tog.

Mobiloperatørenes investeringsbudsjetter vil til en hver tid dreies mot de sektorer og områder der det forventes størst avkastning. I denne sammenheng betyr det at en utbygging spesifikt rettet mot jernbanen først og fremst vil komme i områder med høyt trafikkgrunnlag. Samtidig er sammenhengende dekning på en strekning viktig for kundenes opplevelse av tjenestekvalitet, og mobiloperatørene har derfor en interesse av å fjerne dekningshull.

Gode mobiltjenester er også viktig for togoperatørene. Økende bruk av skytjenester og nettbaserte samhandlingsverktøy gjør at stadig flere arbeidstakere er avhengige av en velfungerende nettverkstilknytning for å arbeide effektivt. Samtidig øker den generelle forventningen om at nettverkstjenester skal være tilgjengelig overalt. Gode mobiltjenester på tog vil derfor være en viktig faktor for å utvikle toget som et

attraktivt transportmiddel i arbeid og fritid. Muligheten til å arbeide effektivt om bord kan i mange tilfeller kompensere for lengre reisetid sammenlignet med andre transportmidler.

#### 8.1.2 Investerings- og kostnadsprofil

De to hovedmodellene over har ulike investerings- og kostnadsprofiler. MOM krever at hver mobiloperatør foretar betydelige investeringer for å sikre sine kunder dekning. Det er usikkert om investeringene i en slik dobbelutbygging vil kunne forsvares økonomisk utenfor de mest trafikkerte strekningene.

TOM krever mindre investeringer, siden passasjerer i denne modellen kan nyte godt av alle operatørers dekning. Dermed kreves det kun at en mobiloperatør bygger ut dekning langs en strekning. Som dokumentert i kapittel 5, finnes det store områder der ingen av mobiloperatørene har dekning i dag. Det vil antakelig i lang tid finnes områder der utbygging ikke er kommersielt interessant. I slike områder åpner TOM for at Jernbaneverket eller annen ansvarlig myndighet kan inngå avtale med en mobiloperatør om etablering av dekning.

Som diskutert i kapittel 6.3, kan hybridmodeller av TOM og MOM være en løsning som reduserer bedrer investerings- og kostnadsprofilen og samtidig gir reisende et godt tilbud. Innenfor MOM kan investerings- og kostnadsprofilen forbedres gjennom en samarbeidsmodell der én operatør bygger ut og gir tilgang til de andre på kostnadsbaserte betingelser. Kostnader kan også reduseres dersom mobiloperatørene sikres enkel og stabil tilgang til Jernbaneverkets GSM-R infrastruktur.

#### 8.1.3 Finansiering og inntektskilder

TOM og MOM skiller seg også med hensyn til finansiering og mulige inntektskilder. Som beskrevet ovenfor, vil en kommersiell utbygging trolig ikke kunne etablere sammenhengende dekning for alle brukere. Offentlig finansiering kan bidra til å rette på dette. En modell med offentlig del-finansiering kombinert med styring i retning av en samarbeidsmodell der én operatør bygger ut for alle vil øke området med gode mobiltjenester.

Én mulig måte å redusere finansieringsbehovet på, kan være å åpne for en inntektskilde. Dette behøver ikke å innebære brukerbetaling for tilgang til internett på tog. Et alternativ kan være å vurdere en reklamefinansiert mediekanal etter modell av Flytoget. Flytogets relativt beskjedne trafikkgrunnlag sammenlignet med NSB gir annonseinntekter på flere millioner kroner pr år. Verdien av en tilsvarende avtale for NSB kunne vært noen titalls millioner kroner pr år. En annen effekt av en digital mediekanal på toget, vil være at etterspørselen etter båndbredde vil reduseres siden mange da heller vil ha oppmerksomheten på den digitale mediekanalen enn sin medbragte smarttelefon, nettbrett eller bærbare datamaskin.

#### 8.1.4 Eierskap til kunde

En vesentlig forskjell mellom TOM og MOM er eierskap til kunde. Her har mobiloperatør og togoperatør motstridende interesser. Under TOM vil togoperatør ha eierskap til kunden – på bekostning av mobiloperatørene. Under MOM vil det være

motsatt: mobiloperatørene vil ha eierskap til kunden og redusere togoperatørens mulighet til dialog med reisende om reiseplanlegging, med videre.

## 8.2 Anbefaling og videre prosess

Gode mobiltjenester på tog er avhengig av mobiloperatørens vilje til å investere i god radiodekning langs jernbanen. En utbygging bør drives av en ”kommersiell motor”, der både mobiloperatører og togoperatører finner det attraktivt å bidra i sine ulike roller. Her diskuterer vi strukturer og tiltak som vi mener er viktige for å sikre en bærekraftig og effektiv utbygging.

**Etablering av utstyr om bord er det mest effektive tiltaket for bedre mobiltjenester.** Som diskutert i kapittel 3.2, dempes radiosignaler kraftig i moderne togkarosserier. Der derfor nødvendig å installere utstyr som regenererer radiosignalene om bord i togene for å få til en kostnadseffektiv utbygging. Slikt utstyr kan være wifi (som i TOM) eller signalforsterkere (som i MOM). Wifi er allerede etablert på flertallet av NSBs tog, og samarbeidsavtalen mellom Telenor og NSB omtalt i kapittel 5.3 innebærer at det i tillegg vil etableres signalforsterkere i økende antall togsett. Et godt samarbeid mellom mobiloperatørene og operatøren av signalforsterkere om overvåkning og drift vil være det mest kritiske punktet for en velfungerende løsning. Effekten av denne etableringen bør evalueres gjennom fortsatte målinger, og ytterligere tiltak for å forsere utbyggingen bør ses i lys av denne evalueringen.

**Utbygging av radiodekning langs jernbanen bør i hovedsak skje i regi av kommersielle mobiloperatører.** Det finnes flere eksempler på at togselskaper har investert i dedikerte radionett for å tilby mobiltjenester på tog [1], [2]. Argumentet for slike utbygginger har vært at kommersielle mobilnett ikke kan tilby den nødvendige kapasiteten. Introduksjonen av nyere teknologi (4G) i mobilnettene gjør at dette argumentet er mindre gyldig i dag. I tillegg til å kreve store initielle investeringer, vil et dedikert radionett stå i fare for å bli utdatert og fraløpt av den teknologiske utviklingen. Bruken av kommersielle mobilnett gir en viss garanti for at nettet oppgraderes i takt med teknologiutviklingen.

**Både TOM og MOM vil være del av løsningen i overskuelig framtid.** Fordeler og ulemper med TOM og MOM ble diskutert i kapittel 6. I områder med tungt trafikkgrunnlag, vil MOM kunne gi passasjerene den mest fleksible løsningen med høyest kapasitet. MOM stimulerer også til konkurranse mellom mobiloperatørene, og gir dermed klarere insentiver for utbygging. Et (gratis) tilbud om wifi om bord vil redusere trafikkgrunnlaget for mobiloperatørene, og kan dermed virke dempende på mobilutbyggingen. Det er imidlertid ikke realistisk at alle mobiloperatører skal bygge ut god radiodekning langs jernbanen utenfor sentrale strøk på kort eller mellomlang sikt. På slike strekninger med sporadisk dekning vil TOM kunne spille en viktig rolle som et basistilbud til de reisende. TOM fyller også et viktig behov for brukere med terminaler som ikke kan koble seg direkte til mobilnettene.

**Tilgang til GSM-R infrastruktur er det mest effektive bidraget Jernbanelivet kan gi.** En stor del av kostnadene ved å etablere radiodekning er passivt utstyr som master, radiohytter og strømfrøring til basestasjoner. Jernbanelivet har allerede etablert slik infrastruktur langs hele jernbanelivet for sitt GSM-R nett, og utbygging av kommersiell mobildekning kan gjøres mer effektivt dersom denne stilles til rådighet. Jernbanelivet bør aktivt legge til rette for gjenbruk av GSM-R infrastruktur, og etablere et effektivt regime for oppfølging og feilretting på delte lokasjoner.

**Utbygging i tunneler bør fokuseres på strekningene med tyngst trafikk.**

Tunneldekning er viktig for å gi en sammenhengende tjeneste til de reisende. Samtidig er utbygging i tunneler kostbart forhold til andre mulige tiltak for å utbedre mobildekningen, særlig på grunn av begrenset sportilgang. Våre beregninger viser at tunneldekning vil utgjøre 65-80% av kostnadene ved å etablere full 4G dekning langs alle hovedstrekninger i Norge. Innsatsen på dette området bør derfor i første rekke fokuseres på strekningene med det tyngste trafikkgrunnlaget. I tillegg bør man foreta utbygging i nye tunneler og i forbindelse med utbygging av Nødnettdekning eller generelle oppgraderinger der tunneler likevel er stengt for togtrafikk.

**Omvendte auksjoner kan brukes for å øke hastigheten i utbyggingen.** TOM åpner for at det offentlige kan inngå avtaler med mobiloperatører om å etablere dekning langs utvalgte strekninger. Slik dekning vil da komme den aktuelle mobiloperatørens kunder til gode, samtidig som den vil garantere et visst tjenestenivå for en wifi-om-bord-løsning. I områder der utbygging ikke kan forsvares på rent kommersielle vilkår, vil man gjennom en omvendt auksjon kunne forsere utbyggingen.

**Det kommersielle potensialet for mobiltjenester på tog må synliggjøres.** De siste årene har vi sett en sterk passasjervekst på tog, og togreisende representerer en stor og attraktiv kundegruppe for mobiloperatørene. Kartlegging og dokumentasjon av togreisendes kommunikasjonsbehov kan være med på å synliggjøre potensialet for en kommersiell utbygging langs de mest trafikerte banestrekningene.

**Satellitt bør vurderes som et supplement der utbygging av mobildekning ikke er realistisk.** Som diskutert i kapittel 4.1, kan satellitt fungere som et fleksibelt supplement til landbasert kommunikasjon mellom tog og kjernenett. Særlig på regiontog kan dette være et aktuelt alternativ. Dette krever imidlertid en grundig kartlegging av satellittskygge sett opp mot eksisterende og fremtidige dekningshull langs jernbanen, for å kunne evaluere hvilken øket nytte som vil oppnås.

## Referanser

- [1] J. P. Conti, “Hot spots on rails [Internet hotspots in high-speed trains],” *Commun. Eng.*, vol. 3, no. 5, 2005.
- [2] D. T. Fokum and V. S. Frost, “A Survey on Methods for Broadband Internet Access on Trains,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 12, no. 2, pp. 171–185, 2010.
- [3] M. Sievert, “Welcome to Wi-Fi Calling!,” *T-Mobile blog post*, 2014. .
- [4] Nick Fox, “Say hi to Fi: A new way to say hello,” *Google Blog*, 2015. .
- [5] Jernbaneverket, “Jernbanestatistikk 2013,” 2014.
- [6] Cisco, “Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2014–2019,” 2015.
- [7] “Minnesota Internet Traffic Studies (MINTS),” *University of Minnesota*. .
- [8] Trafikverket, “Coexistence between GSM-R and 3G/4G-Systems in the 900 MHz Frequency band - Swedish view,” Mar. 2013.
- [9] B. Lannoo, J. Van Ooteghem, D. Pareit, T. Van Leeuwen, D. Colle, I. Moerman, and P. Demeester, “Business model for broadband Internet on the train,” *J. Inst. Telecommun. Prof.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2007.
- [10] Amtrak, “Trackside Wireless Broadband Amtrak’s Northeast Corridor Introduction and Background,” 2014.
- [11] D. Sanz, “Satellite Technologies for Broadband Internet Access Onboard High Speed Trains,” in *7th World Congress on Railway Research*, 2006.
- [12] D. Sanz, P. Pasquet, P. Mercier, B. Villeforceix, and D. Duchange, “TGV Communicant Research Program: from research to industrialisation of onboard broadband Internet services for high-speed trains,” in *9th World Congress on Railroad Research*, 2008.
- [13] B. Amundsen, “Samarbeidsprosjekter med kommune i Norge om mobilutbygging.” Telenor, 2013.

## Bidragstere

Vi retter en stor takk til alle som har bidratt med data og innsikt i produksjonen av denne rapporten.

Data om mobildekning på tog er samlet inn av Simula Research Laboratory.

Personer fra følgende bedrifter og organisasjoner har blitt intervjuet i forbindelse med denne rapporten:

- Jernbaneverket
- NSB
- Telenor
- Ice
- Nomad Digital
- Cloudberry Mobile
- Ansur