



# Norske mobilnett i 2015

**CRNA** Centre for Resilient  
Networks & Applications

[ **simula** . research laboratory ]



# Norske mobilnett i 2015

Tilstandsrapport fra  
Centre for Resilient Networks and Applications

**Ansvarlig for årets rapport** Dr. Ahmed Elmokashfi  
**Bidragstere** Dr. Amund Kvalbein (Nexia Management Consulting)  
Džiugas Baltrūnas

**Omslag** Image Communication  
**Publiseringsdato** 11. april 2016  
**ISBN** 978-82-92593-16-5

**Økonomiske bidragstere** Samferdselsdepartementet  
Norges Forskningsråd  
Telia Norge  
Ice Norge

# Innhold

<b>1</b>	<b>Innledning og hovedfunn</b>	<b>3</b>
1.1	Tilnærming . . . . .	4
1.2	Hovedresultater . . . . .	5
1.3	Begrensninger . . . . .	6
<b>2</b>	<b>Måleinfrastrukturen - Nornet Edge</b>	<b>8</b>
2.1	Mobilnettene vi måler . . . . .	11
2.2	Nornet Edge målenoder . . . . .	12
2.3	Server-side infrastruktur . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>14</b>
3.1	Mobile bredbåndsnett . . . . .	14
3.2	Rammeverk for måling av robusthet . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Stabilitet i tilkoblingen</b>	<b>17</b>
4.1	Analyse av stabilitet i tilkoblingen . . . . .	19
4.2	Utvikling over tid . . . . .	19
<b>5</b>	<b>Stabilitet i dataplanet</b>	<b>23</b>
5.1	Tapsrate . . . . .	23
5.2	Utvikling over tid . . . . .	24
<b>6</b>	<b>Større hendelser</b>	<b>27</b>
<b>7</b>	<b>Stabil ytelse</b>	<b>30</b>
7.1	Feilrate for nedlastinger . . . . .	30
7.2	Stabilitet i båndbredde . . . . .	32
<b>8</b>	<b>Mobiltjenester på tog</b>	<b>33</b>
8.1	Mobildekning på tog . . . . .	33
8.1.1	Mobildekning per banestrekning . . . . .	35
8.1.2	Utvikling i mobildekning gjennom 2015 . . . . .	37
8.1.3	Innføring av signalforsterkere på togsett . . . . .	37
8.2	HTTP nedlastinger på tog . . . . .	43
8.2.1	Feilrate i nedlastinger . . . . .	43
8.2.2	Nedlastingshastighet . . . . .	44
<b>9</b>	<b>Oppsummering og veien videre</b>	<b>45</b>

# 1. Innledning og hovedfunn

Denne rapporten er utarbeidet av Center for Resilient Networks and Applications (CRNA), som er en del av Simula Research Laboratory. CRNA driver grunnleggende forskning innen robusthet og sikkerhet i nettverk med mandat og finansiering fra Samferdselsdepartementet. Som en del av sin aktivitet vedlikeholder CRNA Nornet<sup>1</sup> [1, 2], en omfattende infrastruktur for å utføre målinger og eksperimenter i operative kommunikasjonsnettverk. Senteret skal som en del av sitt mandat produsere en årlig rapport om tilstanden i den norske kommunikasjonsinfrastrukturen, basert på disse målingene. To slike rapporter har kommet ut tidligere [3, 4], og årets rapport er dermed den tredje i rekken.

Nytt av året er at vi også inkluderer målinger av mobildekning og opplevd ytelse om bord på tog, basert på målinger fra 7 av NSBs regiontog. Disse togene dekker de mest sentrale jernbanestrekningene i Norge, med unntak av Vestfoldbanen. Disse nodene foretar de samme målingene som de stasjonære målenodene. Mobile noder gjør det mulig å sammenligne dekningsforhold langs jernbanen mellom de ulike operatørene. Basert på disse målingene presenterer vi en kartlegging av mobildekningen og nedlastingshastighet langs jernbanen i kapittel 8.

Med denne rapporten ønsker vi å bidra til økt oppmerksomhet om robusthet i norske mobilnett. Mobilnettene har i løpet av de siste ti årene blitt *kritisk infrastruktur*, og spiller en sentral rolle for privatpersoner, offentlige instanser og næringsliv i hverdag og krise. Vi forventer at mobilnettenes rolle vil fortsette å øke i omfang og viktighet etterhvert som mobilkommunikasjon blir stadig tettere integrert i produkter, tjenester og andre infrastrukturer. Det er derfor nødvendig med økt kunnskap om styrker og svakheter i dagens nettverk, for å kunne vurdere hvilke tiltak som kan settes inn for å øke robustheten. Vi har erfart at tidligere års rapporter har bidratt med kunnskap som er nyttig i dette henseende, og som har hjulpet operatørene til å utvikle enda bedre tjenester.

Mange av målingene som presenteres i denne rapporten er de samme som i tidligere års rapporter, og de fleste resultatene er direkte sammenlignbare. Vi kommenterer og diskuterer endringer fra tidligere år, men vi gjentar bare i begrenset grad tidligere resultater. Dersom man ønsker å gjøre en mer detaljert sammenligning, kan det være en fordel å laste ned tidligere års rapporter, som er tilgjengelige på våre nettsider.

---

<sup>1</sup><http://nornet-testbed.no>

## 1.1 Tilnærming

Robusthet er en kompleks størrelse, og det finnes foreløpig ingen entydig og allment akseptert metode for å måle og kvantifisere robusthet i mobilnett. Arbeidet ved CRNA er i så måte nybrottsarbeid. Feilfrekvens i ulike nettverkskomponenter og støttesystemer, endringer i dekningsforhold, vedlikeholdsrutiner, stabilitet i tilkoblingen til nettet, pakketap, og stabilitet i ytelse er alle parametere som sier noe om den totale robustheten i et mobilnett.

Målet for denne rapporten er å gi et realistisk bilde av hvilken stabilitet og kvalitet en sluttbruker kan forvente fra mobilnettene. Rapporten bygger derfor på målinger fra et brukerperspektiv, og ikke på en teoretisk analyse av ulike komponenter og feilkilder i et mobilnettverk. Begge disse tilnærmingene er verdifulle, og de kan begge bidra til å gi en bedre forståelse av robusthet og sårbarheter. Det vil imidlertid aldri være mulig å gi et fullstendig bilde av brukeropplevelsen uten representative ende-til-ende målinger. Til det er kompleksiteten i systemene for stor, og modellene for hvordan dekning, interferens og trafikk mønstre samvirker for unøyaktige.

Denne rapporten presenterer aktive og passive målinger av mobilt bredbånd fra 4 mobiloperatører i Norge: **Telenor**, **Telia**, **Tele2** og **Network Norway**. Målingene er foretatt kontinuerlig gjennom hele 2015, fra målenoder spredt over det meste av landet, med en hovedvekt på tettsteder og større byer. Vi benytter standard sluttbrukerutstyr for mobilt bredbånd, tilsvarende det som tilbys av operatørene som måles. Datasettet består av målinger over 431 forbindelser fordelt på 219 målenoder i 72 kommuner<sup>2</sup>. I tillegg er 7 målenoder plassert om bord på NSBs regiontog. 86% av målenodene har modemer som støtter 2G, 3G og 4G, mens de siste 14% kun støtter 2G og 3G. Målingene fokuserer kun på datatrafikk ("mobilt bredbånd"), og ikke på andre tjenester mobilnettene tilbyr (tale og SMS/MMS). En nærmere beskrivelse av infrastrukturen som er brukt for å foreta målingene gis i kapittel 2.

Oppløvd stabilitet måles på fire ulike nivåer i denne rapporten.

1. *Stabil dekning* er en forutsetning for all kommunikasjon. Vi måler hvilke teknologier som er tilgjengelige om bord på tog på ulike jernbanestrekninger.
2. *Stabilitet i tilkoblingen* fanger opp hvor ofte og hvor lenge en mobilforbindelse mister kontakten med mobilnett.
3. *Stabilitet i dataplanet* fokuserer på evnen til å sende data gjennom mobilnett når kontakten er etablert.
4. *Stabilitet i ytelse* beskriver evnen til å levere en jevn og forutsigbar ytelse til typiske applikasjoner som bruker mobilnett.

Denne tilnærmingen presenteres nærmere i kapittel 3.

Et eksempel på en annen tilnærming til robusthet i mobilnett er Post- og Teletilsynets rapport fra 2012 [5], som gir en bred analyse av tekniske og organisatoriske forhold som kan bidra til økt sårbarhet i norske mobilnett. På europeisk nivå publiserer European Union Agency for Network and Information

---

<sup>2</sup>Ikke alle noder har vært aktive gjennom hele året.

Security (ENISA) årlige hendelsesrapporter basert på meldinger om større utfall i kommunikasjonsnettverk i medlemslandene [6].

Våre målinger har pågått i sin nåværende form siden juli 2013. Dette gir oss grunnlag for å begynne å analysere utvikling i robusthet over tid. Gjennom denne måleperioden kan vi observere flere konkrete endringer og trender i stabilitet og ytelse i mobilnettene. Vi belyser og diskuterer en del av disse endringene.

## 1.2 Hovedresultater

En hovedobservasjon er at den positive trenden i brukeropplevd stabilitet som vi observerte fra 2013 til 2014 har fortsatt også i 2015. Målingene viser jevnt over noe færre brudd i tilkoblingene, noe lavere pakketap og noe høyere og mer stabil ytelse enn i 2014. Antall større hendelser, hvor et stort antall forbindelser opplever problemer samtidig, har også gått ned, og var svært lavt i 2015.

Andre viktige funn som presenteres i rapporten er:

### Mobiltjenester på tog

- I årets rapport presenterer vi for første gang målinger av mobildekning og ytelse på tog. Målingene er foretatt om bord på 7 av NSBs regiontog, og tilsvarende dermed den opplevde dekningen inne i togsettet.
- Vi rapporterer 2G-, 3G- og 4G-dekningen hos **Telenor** og **Telia**, fordelt på ulike jernbanestrekninger. Vi deler banestrekningene opp i 1km intervaller, og viser den typiske dekningen i hvert intervall langs de viktigste jernbanestrekningene i Norge.
- Generelt er det store huller i mobildekningen langs jernbanen. Verst stilt er Nordlandsbanen, der kun 2% (**Telia**) til 8% (**Telenor**) av strekningen har 4G-dekning, mens 59% (**Telenor**) til 73% (**Telia**) av strekningen ikke har mobildekning i det hele tatt.
- Mobildekningen på tog er bedre i sentrale strøk: både **Telenor** og **Telia** har 3G- eller 4G-dekning på om lag 90% av lokaltogstrekningene rundt Oslo og Stavanger.
- Mens 3G-dekningen er relativt lik hos de to operatørene, har **Telenor** vesentlig bedre 4G-dekning langs jernbanen.
- Vi måler en kraftig økning i 4G-dekningen hos begge operatører i løpet av 2015. For eksempel har begge operatører økt 4G-dekningen med om lag 15%-poeng på Intercity-strekningene i løpet av året.
- Den opplevde stabiliteten er langt lavere om bord på tog enn for stasjonære forbindelser. Når vi forsøker å laste ned en fil på 4MB, varierer andelen mislykkede forsøk fra 3% i sentrale strøk til 20% i områder med dårligere dekning.
- **Telia** oppnår gjennomgående noe lavere feilrate og noe høyere nedlastingshastighet enn **Telenor**.



### Stabilitet i tilkoblingen

- Forbindelsene mellom målenoder og mobilnettet er om lag like stabile i 2015 som i 2014, og betydelig bedre enn i 2013. Mellom 7% (**Telenor**) og 15% (**Network Norway**) av forbindelsene mister tilkoblingen mer enn 10 minutter per dag i gjennomsnitt. Tilsvarende tall for 2013 var 4-14% av forbindelsene avhengig av operatør.
- **Telenor** og **Telia** er nå de operatørene som har de mest stabile tilkoblingene, og det er små forskjeller i stabilitet mellom disse to operatørene. Dette skyldes i hovedsak at feil på forbindelser fra disse operatørene gjenrettes raskere enn feil på forbindelser fra **Tele2** og **Network Norway**.

### Stabilitet i dataplanet

- Reduksjonen i pakketap som vi så fra 2013 til 2014 har fortsatt inn i 2015 for **Telenor** og **Telia**, og i motsetning til tidligere år har disse nettverkene nå det laveste pakketapet blant operatørene vi måler.
- Den observerte reduksjonen i pakketap har sammenheng med utrulling av 4G: vi ser langt lavere pakketap i 4G enn i 3G.
- Vi observerer langt færre *større hendelser* i 2015 enn tidligere. Større hendelser er perioder der mange forbindelser samtidig opplever nedetid eller unormalt høyt pakketap. Hendelsene vi observerer i 2015 er langt mindre alvorlige enn tidligere år.
- For Tele2 og Network Norway har migrasjonen til Telia og utfasingen av deres eget radionett ført til færre hendelser som påvirker trafikkflyten i nettverket.

### Stabilitet i ytelse

- Vi måler stabilitet i ytelse gjennom en test der vi laster ned en fil på 1 MB. Andelen nedlastingsforsøk som feiler er om lag den samme i 2015 som i 2014 for de fleste forbindelser. Vi ser færre forbindelser med mange feil enn i 2014.
- Over 80% av forbindelsene klarer å laste ned filen minst 499 av 500 ganger.
- Færre enn 1 av 20 forbindelser har en feilrate på over 1%. Det er små forskjeller mellom operatørene når det gjelder feilrate for nedlastinger.
- De aller fleste forbindelser oppnår en stabil nedlastingshastighet på over 1 Mbps. **Telenor** opplever oftere enn de andre operatørene å ikke oppnå denne hastigheten.

## 1.3 Begrensninger

Følgende forhold og begrensninger er viktige å være klar over når man leser denne rapporten.

**Måleinfrastrukturen dekker ikke alle deler av landet like godt.** Vår infrastruktur består av i alt 219 dedikerte målenoder spredt omkring i norske kommuner. Antallet aktive noder og plasseringen varierer noe over tid. Tettheten av målepunkter gjenspeiler i noen grad befolkningstettheten, med flest målenoder i noen større byer (Oslo, Bergen, Trondheim). Det er imidlertid deler av landet der det er langt mellom målepunktene, og større regionale hendelser (feks utfall av basestasjoner eller lokale strømbrudd) kan derfor forekomme uten at de fanges opp av våre målinger.

**Dekning måles kun om bord på tog.** Med et hundretalls målepunkter kan vi ikke gi noe komplett bilde av dekkningen til de ulike mobilnettene, som hver for seg består av flere tusen basestasjoner. Slike målinger kan kun gjennomføres med et stort antall mobile målenoder som beveger seg over hele landet. Nytt av årets rapport er at vi rapporterer dekkningen til de to største mobiloperatørene langs viktige jernbanestrekninger. Merk at målingene foretas inne i togene, og vil være til dels vesentlig dårligere enn tilsvarende målinger gjort utendørs langs jernbanen.

## 2. Måleinfrastrukturen - Nornet Edge

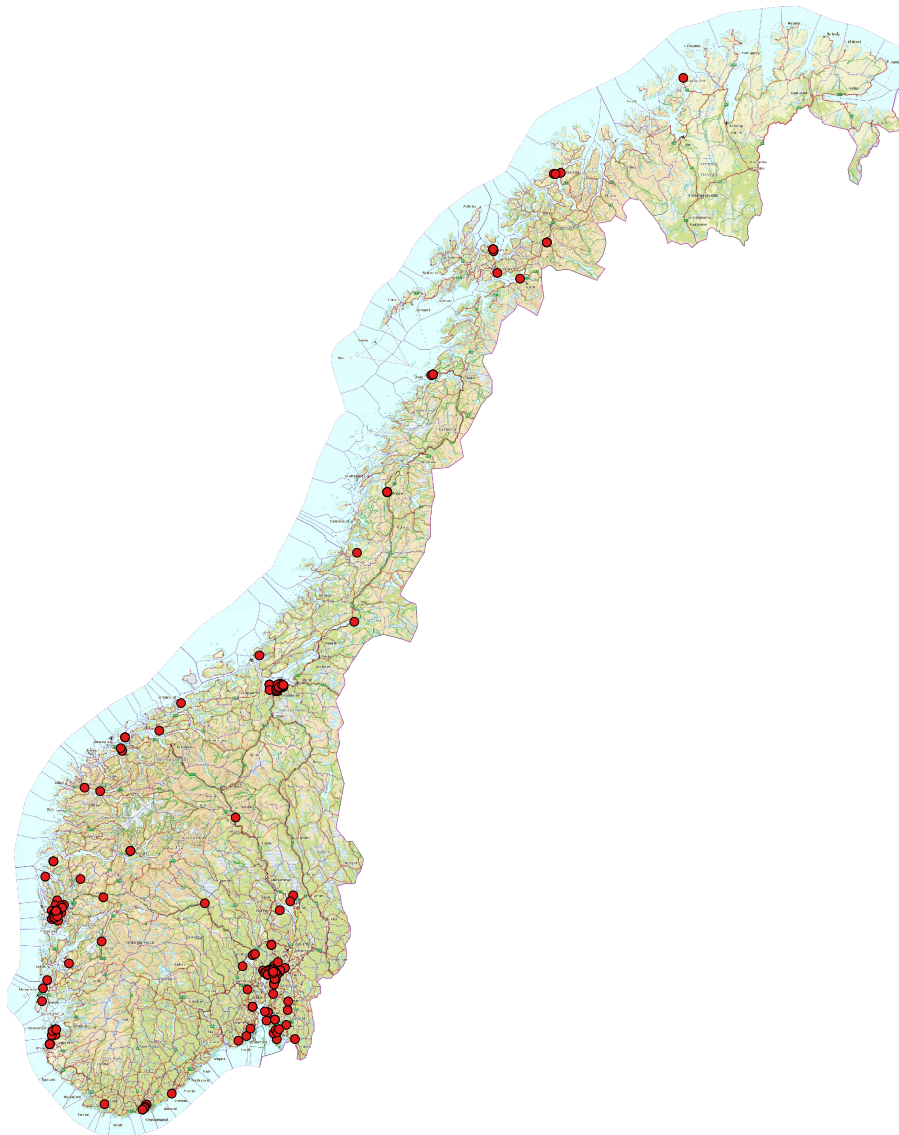
Målingene som presenteres i denne rapporten er utført ved hjelp av Nornet Edge. Nornet Edge er en infrastruktur for målinger og eksperimentering i mobile bredbåndsnett, delvis finansiert av Norges Forskningsråd<sup>1</sup>. Infrastrukturen består av et hundretalls målenoder spredt rundt i Norge. Hver målenode er koblet til 2-4 mobiloperatører, og samler kontinuerlig inn data om dekningsforhold, status for tilkoblingen og ytelse for hver forbindelse. Infrastrukturen omfatter også en sentral komponent plassert på Simula som tar i mot, prosesserer og lagrer måledata.

CRNA samarbeider med lokale partnere over hele landet som fungerer som vertskap for målenoder. Målenodene er plassert i alle deler av landet, fra Mandal i sør til Hammerfest og Longyearbyen i nord. Figur 2.1 gir et inntrykk av den geografiske fordelingen av målenoder. På grunn av et tidligere samarbeid med e-valgprosjektet i Kommunal- og Moderniseringsdepartementet, er mange målenoder plassert i valglokaler. Valglokaler er ofte skoler, sykehjem eller rådhus, og er som regel plassert i sentrumsnære områder. I tillegg samarbeider vi direkte med en rekke skoler om utplassering av målenoder. Det er en overvekt av målenoder i en del større byer, spesielt i Oslo, Bergen og Trondheim. Våre målinger har dermed en skjevhet mot tettbygde strøk, og gir ikke nødvendigvis et korrekt bilde av forholdene langs veier eller utenfor tettbygde strøk. Det er imidlertid stor spredning i geografi og størrelse på tettstedene, og vi mener at våre målinger er rimelig representative for hva brukere kan forvente innendørs.

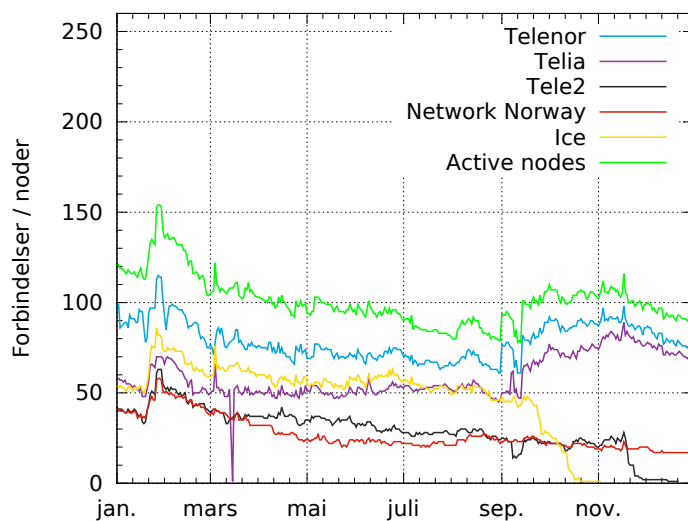
I løpet av måleperioden har vi hatt aktive målenoder i 72 kommuner, samt om bord på 7 av NSBs regiontog. Antallet målenoder har variert gjennom måleperioden, som vist i figur 2.2. Totalt har vi målinger fra 431 forbindelser fordelt på 219 distinkte målenoder.

---

<sup>1</sup>Nornet består i tillegg til Nornet Edge av Nornet Core, som brukes til målinger og eksperimenter i fastnett.



Figur 2.1: Geografisk fordeling av målenoder.



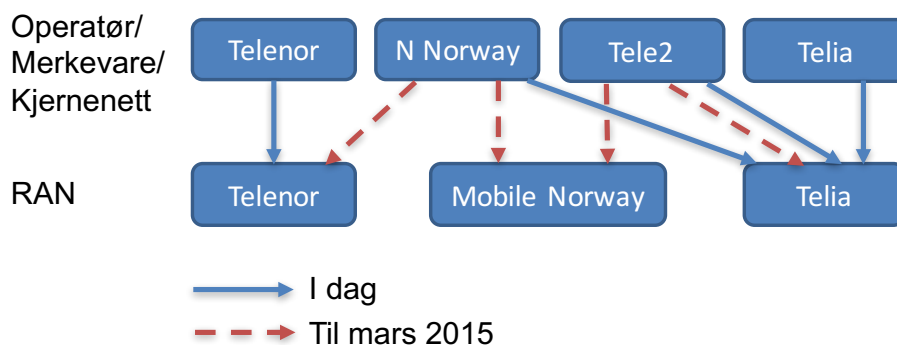
Figur 2.2: Antall aktive målenoder og forbindelser fra hver operatør gjennom måleperioden.

#### MONROE - målinger i andre europeiske land

Simula har foretatt målinger av norske mobilnett ved hjelp av Nornet-infrastrukturen siden sommeren 2013. Nornet eies, bygges og opereres av CRNA-senteret ved Simula Research Laboratory, med finansiell støtte fra Samferdselsdepartementet, Norges Forskningsråd, Telia Norge og Ice Norge. Utviklingen av måleinfrastrukturen, inkludert nye metoder for å måle brukeropplevelsen i mobilnettverk er en viktig del av forskningen ved CRNA-senteret.

Som omtalt i fjorårets rapport, utvides måleinfrastrukturen i løpet av 2016 til flere europeiske land gjennom EU-prosjektet MONROE. Sentralt i MONROE er utviklingen av en ny målenode, basert på standard maskinvare og egenutviklet programvare. MONROE vil installere målenoder i Sverige, Spania og Italia i tillegg til Norge. Målet er å kunne tilby en plattform for skreddersydde målinger i mobilnett i de aktuelle landene. Bedrifter og forskere fra hele Europa skal kunne utvikle sine egne målinger, som deretter distribueres og kjøres fra målenoder i utvalgte nettverk og områder. Dette vil gi stor fleksibilitet og mulighet for å sammenligne nettverk på en langt større skala. En del av målenodene i MONROE vil plasseres på tog og busser, slik at man kan måle hvordan ytelse og stabilitet påvirkes av mobilitet.

Partnere i MONROE er Simula (Norge), IMDEA (Spania), Karlstads Universitet (Sverige), Politecnico di Torino (Italia), Celerway Communications (Norge), Telenor ASA (Norge) og Nextworks (Italia). MONROE ledes av dr. Özgü Alay ved Simula.



Figur 2.3: Operatører og nettverk behandlet i denne rapporten.

## 2.1 Mobilnettene vi måler

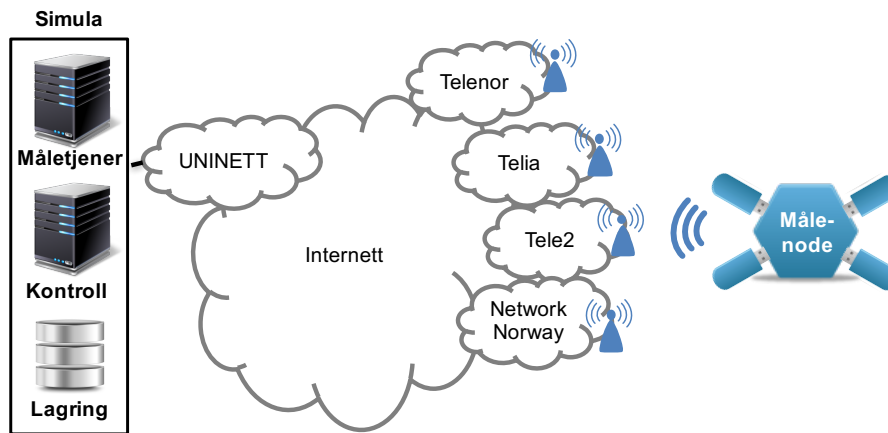
Vi gjør målinger i flere kommersielle mobilnett i Norge: Telenor, Telia<sup>2</sup>, Tele2 og Network Norway. Tidligere år har vi også gjort målinger i Ice, som har operert et nettverk for mobilt bredbånd basert på CDMA-teknologi. Ice har gjennomført et teknologiskifte i sitt nett i 2015, fra CDMA til LTE. Vi har foreløpig ikke målenoder som kan gjøre målinger i det nye nettet til Ice. Av praktiske og økonomiske årsaker har ikke alle målenoder forbindelse til alle mobilnettene vi måler.

I løpet av 2015 har det skjedd store endringer i mobilnettene i Norge. Som nevnt har Ice foretatt et teknologiskifte fra CDMA til LTE. I tillegg har Telia gjennomført overtakelsen av Tele2. Som en konsekvens av denne overtakelsen har kunder hos både Tele2 og Network Norway blitt migrert inn i Telias nett. Mobile Norway, det fysiske radioaksessnett som ble bygget av Tele2, er lagt ned. Network Norways kunder har blitt overført til Ice, men tale- og datatrafikken produseres fremdeles utenfor Ice sitt eget nett.

Figur 2.3 viser sammenhengen mellom operatør/merkevare og hvilket radioaksessnett (RAN) operatøren bruker. Alle operatørene vi måler opererer sitt eget kjernenett. Telenor og Telia opererer hvert sitt landsdekkende radionett basert på 3GPP standarden. Disse nettene inneholder både 2G (GSM), 3G (UMTS) og 4G (LTE) teknologi. Tele2 og Network Norway opererte i fellesskap et tredje radionett, Mobile Norway, inntil Telias overtakelse av Tele2 ble gjennomført. Mobile Norways RAN rakk aldri å få nasjonal utbredelse. Når Tele2- og Network Norway-abonnenter beveget seg utenfor Mobile Norways dekningsområde, koblet de seg til henholdsvis Telias og Telenors nettverk gjennom såkalt nasjonal gjesting. Fra mars 2015 har abonnenter hos Tele2 og Network Norway benyttet Telias RAN. Mobile Norways RAN ble lagt ned i løpet av 2015.

Alle operatørene vi måler opererer sitt eget kjernenett. Tele2 sitt kjernenett er fysisk plassert i Sverige, og all trafikk til og fra Tele2s abonnenter går derfor via Sverige.

<sup>2</sup>Telia endret i mars 2016 sin merkevare i Norge fra Netcom til Telia. I denne rapporten bruker vi Telia for å betegne nettverket som tidligere var kjent som Netcom.



Figur 2.4: Nornet Edge måleinfrastrukturen.

## 2.2 Nornet Edge målenoder

Nornet Edge målenoder er små datamaskiner med ARM-prosessorer som er spesialutviklet for dette formålet. Målenodene har en Samsung Cortex A8 prosessor på 1GHz, 256 MB RAM, og 16 GB lagringskapasitet på et minnekort. De kjører et standard Debian Linux operativsystem, og er derfor svært fleksible med tanke på hva slags målinger som kan støttes.

Målenodene kobler seg til mobilnettene gjennom USB modemer. To ulike USB modemmodeller benyttes: Huawei E392 og Huawei E353-u2. Disse modellene ble valgt fordi de kan eksportere detaljert informasjon om tilkoblingen til mobilnettene.

Av disse er det kun Huawei E392 som støtter 4G standarden, mens E353-u2 støtter 3G-teknologi opp til HSDPA-DC. Utskifting av eldre modemer uten 4G-støtte har vært en pågående prosess gjennom 2014 og 2015, og ved utgangen av 2015 hadde 86% av modemene støtte for 4G. Vi bruker alltid samme modemtype for alle operatører på en målnode, for å unngå forskjeller som skyldes ulik maskinvare.

## 2.3 Server-side infrastruktur

Målenodene utfører målinger ved å sende trafikk til måleservere i Simulas lokaler på Fornebu, som vist i figur 2.4. Trafikk til og fra måleserverne rutes gjennom de ulike mobilnettene og videre gjennom UNINETT. Måleserverne har god kapasitet i form av minne, prosessering og nettverkstilknytning, for å unngå at de skal være en flaskehals i målingene.

Målenodene overfører resultater fra målingene fortløpende til en sentral server, hvor de prosesseres og legges inn i en database. Det totale datasettet fra måleperioden består av over 11 milliarder datapunkter. De innsamlede dataene behandles og filtreres for å fjerne perioder der vi opplevde problemer i server-side infrastrukturen.

Nornet Edge omfatter også et omfattende system for å monitorere, vedlikeholde og oppdatere målenodene, samt å orkestrere de ulike målingene som skal kjøres [2].



## 3. Metode

Denne rapporten fokuserer på den brukeropplevde robustheten og stabiliteten til norske mobilnett. Nytt av året er at vi også inkluderer målinger av dekning langs det norske jernbanenettet.

Den opplevde stabiliteten er en kompleks størrelse som påvirkes av en rekke forhold. Dette kapitlet forklarer hvordan vi bryter det abstrakte begrepet *opplevd robusthet* ned i mindre, lettere målbare metrikker, og hvilke tester vi bruker for å måle disse.

### 3.1 Mobile bredbåndsnett

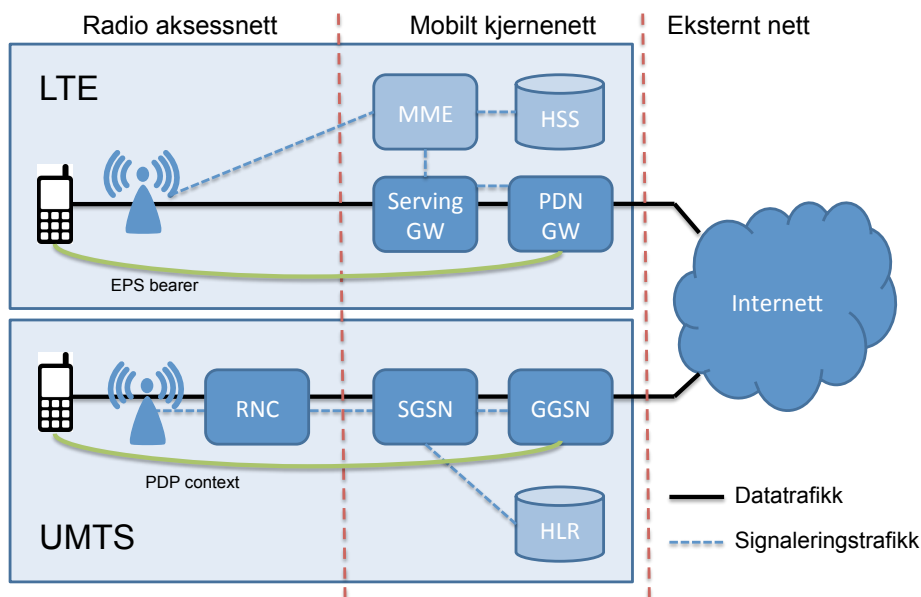
Figur 3.1 viser en forenklet framstilling av de viktigste komponentene i et 4G (LTE) og et 3G (UMTS) mobilnett. Begge nettverkene består av et radio aksessnettverk, kalt henholdsvis UTRAN i 3G og eUTRAN (evolved UTRAN) i 4G, og et kjernenett. Radionettet inkluderer brukerterminaler og basestasjoner. I 3G nettverk inkluderer det også et antall Radio Network Controllers (RNC) som hver kontrollerer et antall basestasjoner. I 4G nettverk er RNC-funksjonaliteten i hovedsak flyttet ut i basestasjonene.

Kjernenettet inkluderer et antall sentrale funksjoner. 4G-nettverk er rene datanettverk, og inkluderer ikke komponenter nødvendig for å produsere linjesvitsjet tale. Slike komponenter er en del av 3G-kjernenettet, men er ikke vist i figuren. Den viktigste delen av kjernenettet for vår diskusjon er komponenten som forbinder mobilnettet med eksterne nett (Internett). Denne enheten kalles Gateway GPRS Support Node (GGSN) i 3G, eller Packet Data Network Gateway (PGW) i 4G.

Før en brukerterminal kan sende data, må det opprettes en datasesjon. En slik datasesjon kalles en PDP kontekst i 3G eller en EPS bærer i 4G, og kan forstås som en tunnel mellom brukerterminalen og GGSN/PGW. En av de faktorene vi undersøker i denne rapporten, er hvor ofte og hvor lenge slike datasesjoner brytes, og hvor lang tid det tar før de kan gjenopprettes.

### 3.2 Rammeverk for måling av robusthet

For å beskrive den opplevde robustheten i mobilnettene, er det nødvendig å gjøre målinger på flere nivåer. I denne rapporten har vi valgt å dele robusthet inn i fire nivåer, som vist i figur 3.2. Disse er dekning, stabilitet i nettverkstilkoblingen, stabilitet i dataforbindelsen, og stabilitet i ytelse. De fire nivåene bygger på hverandre, og representerer økende grad av opplevd nytteverdi for endebbrukeren. All mobilkommunikasjon forutsetter dekning. En stabil nettverkstilkobling er



Figur 3.1: Hovedkomponentene i UMTS og LTE nettverk.

	Aspekt av robusthet	Brukeropplevelse	Målte metrikker
Økende nytte ↑	Stabil ytelse	Gode tjenester	HTTP hastighet
	Stabilitet i dataplanet	Kan sende data	Pakketap, større hendelser
	Stabilitet i tilkobling	Koblet til nettet	Feilfrekvens, nedetid
	Dekning	Kommunikasjon mulig	Type nettverk tilgjengelig

Figur 3.2: Rammeverk for å måle robusthet på flere nivåer.

nødvendig for en stabil ende-til-ende kommunikasjon, som igjen er nødvendig for en stabil ytelse. For hvert av disse nivåene presenterer vi eksperimenter og resultater som sier noe om den opplevde stabiliteten eller robustheten over tid. **Dekning.** All mobilkommunikasjon forutsetter at brukerterminalen kan motta radiosignaler med tilstrekkelig signalstyrke fra en basestasjon, slik at en tilkobling er mulig. I mobilnettene vi måler kan en slik tilkobling være av tre typer, tilsvarende teknologien som benyttes: 2G, 3G eller 4G. I denne rapporten sier vi at vi har dekning i et område så lenge en målenode kan opprettholde en tilkobling til mobilnettene i dette området. Vi måler altså ikke tekniske parametere som signalstyrke eller signal til støyforhold, men fokuserer i stedet direkte på brukeropplevelsen. Dette er i tråd med tilnærmingen i resten av denne rapporten.

Dekningen er normalt relativt stabil i et område, og endrer seg primært når en mobiloperatør fjerner eller etablerer nye basestasjoner. Vårt oppsett er derfor ikke egnet til å måle dekning ved hjelp av våre stasjonære målenoder.

Vi rapporterer derfor kun dekningsmålinger fra mobile målenoder, altså noder montert på tog. For disse rapporterer vi den beste teknologien (2G < 3G < 4G) som er tilgjengelig for målenoden til en hver tid.

**Stabilitet i tilkoblingen.** En stabil nettverkstilkobling er grunnlaget for en god brukeropplevelse. Med tilkobling mener vi i denne sammenhengen at det er etablert en PDP kontekst (eller EPN bearer) i GGSN (eller PGW) og i brukerterminalen. Fra brukerens ståsted vil dette som regel bety at terminalen har en tildelt IP-adresse. Stabiliteten til tilkoblingen bestemmes av både RAN og kjernenettet. En tilknytning kan brytes på grunn av manglende dekning, feil i basestasjonen eller transmisjonsnettet, eller kapasitetsproblemer i sentrale komponenter som SGSN eller GGSN/PGW. I denne rapporten ser vi på den tildelte IP-adressen som et mål på hvor stabil nettverkstilknytningen er. Vi måler hvor ofte en målenode mister IP-adressen, hvor lang tid det tar før den kommer tilbake, og hvor mye nedetid (uten tilkobling) en forbindelse opplever totalt.

**Stabilitet i dataplanet.** Selv om brukerterminalen har en tildelt IP-adresse, er det ikke sikkert at den har en velfungerende forbindelse til Internett. Interferens, endringer i signalstyrke eller metning i nettet kan gi høyt pakketap eller avbrudd hvor data ikke kan sendes eller mottas. I denne rapporten ser vi på ulike aspekter av pakketap for å karakterisere stabilitet i dataplanet, og sammenligner pakketap hos de ulike operatørene. Vi bruker også målingene av pakketap til å identifisere hendelser der mange forbindelser hos en operatør opplever unormalt stort pakketap samtidig. Slike hendelser er som regel forårsaket av feil i sentrale deler av mobilnettet.

**Stabil ytelse.** Robusthet innebærer også en grad av stabilitet og forutsigbarhet i ytelsen til applikasjonene som kjører over det mobile bredbåndsnettet. Applikasjoner har ulike krav til nettverket. Noen applikasjoner krever høy båndbredde, andre lav forsinkelse eller lavt pakketap. I mobilnett avhenger disse parameterne av hvilken radiotilstand forbindelsen har. Det er derfor ofte vanskelig å forutsi en applikasjons ytelse basert på generiske målinger. I stedet bør stabiliteten måles ved faktisk å kjøre de aktuelle applikasjonene gjentatte ganger og observere ytelsen. I denne rapporten ser vi på stabilitet i ytelse for HTTP nedlasting, som inngår i mange applikasjoner, for eksempel websurfing. Vi viser hvor ofte denne applikasjonen fungerer tilfredsstillende i de ulike mobilnettene, og hvor stabil ytelsen er.

## 4. Stabilitet i tilkoblingen

I dette kapitlet undersøker vi stabiliteten til tilkoblingen mellom våre målenoder og mobilnettene. Målenodene forsøker å opprettholde tilkoblingen til de ulike mobilnettene til en hver tid. Tilkoblingen brytes aldri aktivt fra målenodens side<sup>1</sup>. Målenodene overvåker kontinuerlig tilkoblingen til de ulike mobilnettene, og logger status på denne. Dersom tilkoblingen brytes, vil målenoden umiddelbart forsøke å gjenopprette den. Den vil kontinuerlig og uten opphold gjenta forsøket helt til tilkoblingen kan gjenopprettes. Et brudd vil derfor resultere i en kortere eller lenger feilperiode hvor tilkoblingen er utilgjengelig.

Noen ganger vil gjenopprettingen lykkes, etterfulgt av et nytt brudd etter kort tid. Slike forbindelser som veksler hurtig mellom å være tilgjengelige og utilgjengelige er av liten verdi for endebrukeren. Vi krever derfor at en tilkobling er tilgjengelig i minst 3 minutter etter en feil før vi sier at den er gjenopprettet<sup>2</sup>. Etter å ha fjernet slike korte gjenopprettelser, sitter vi igjen med en tidsserie av *ned* og *opp* hendelser for hver målte forbindelse, hvor tilkoblingen blir henholdsvis brutt og gjenopprettet. Basert på disse tidsseriene kan vi beregne tre viktige størrelser for hver forbindelse:

1. Mean Time Between Failures (MTBF) beskriver hvor lenge en forbindelse i gjennomsnitt er tilgjengelig før tilkoblingen blir brutt. Stabile forbindelser vil ha en høy MTBF.
2. Mean Time To Repair (MTTR) beskriver hvor lenge en feilperiode i gjennomsnitt varer. En forbindelse med en høy MTTR vil ha opplevd lengre avbrudd i løpet av måleperioden.
3. Nedetid er beregnet som den totale andelen av måleperioden en tilkobling var utilgjengelig.

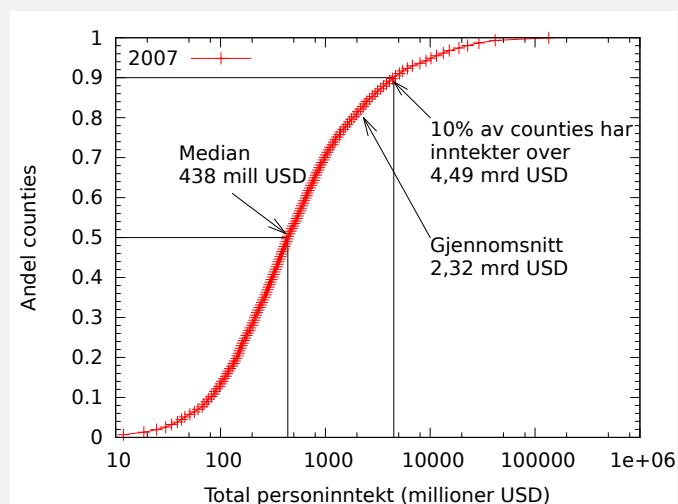
---

<sup>1</sup>Unntaket er i feilsituasjoner der tilkoblingen eller noden må restartes som en del av en feilrettingsprosess.

<sup>2</sup>Vi har også forsøkt å sette denne grenseverdien til 1 minutt eller 5 minutter, uten at det påvirker resultatene nevneverdig.

## Hvordan lese grafene brukt i denne rapporten

Mange av resultatene i denne rapporten presenteres i form av kumulative distribusjoner. Slike grafer gjør det mulig å presentere mye informasjon på en kompakt måte. Kumulative distribusjoner beskriver hvor stor andel av de målte verdiene (på y-aksen) som er mindre enn en gitt verdi (på x-aksen). Formelt har vi at  $F_X(x) = P(X \leq x)$ , altså at verdien på y-aksen angir sannsynligheten for at et tilfeldig medlem i målesettet er mindre enn verdien på x-aksen.



Denne figuren viser et eksempel på en kumulativ distribusjon. Grafen viser total personinntekt i alle counties i USA i 2007. Som mange av distribusjonene vi beskriver i denne rapporten, er dette en fordeling med såkalt tung hale (heavy tail), der en del verdier er mye høyere enn de "vanlige" verdiene. Vi bruker derfor logaritmisk skala på x-aksen for å kunne vise hele fordelingen.

I figuren viser vi et par eksempler på informasjon vi kan lese ut av grafen. Vi ser for eksempel at 90% av counties (0.9 på y-aksen) har inntekter under 4,49 milliarder USD (på x-aksen). Vi sier at 90-percentilen er 4,49 milliarder USD. Halvparten av alle counties har inntekter over 438 millioner USD (medianverdien), mens gjennomsnittsinntekten er så høy som 2,32 milliarder USD. I dette eksempelet er altså gjennomsnittsverdien mye høyere enn medianen, og det er derfor misvisende å kun fokusere på gjennomsnittet. Slik vil det alltid være i tunghalede fordelinger. I denne rapporten vil vi derfor forsøke å beskrive hele fordelingen eller trekke ut beskrivende eksempler av verdiene vi måler, i stedet for å kun oppgi gjennomsnittsverdier.

Vi måler disse størrelsene for Telenor, Telia, Tele2 og Network Norway. Vi oppgir stabilitet i tilkoblingen for hver operatør uavhengig av hvilket RAN forbindelsen går gjennom (ref figur 2.3), i tråd med hva disse operatørenes kunder vil oppleve. Resultatene skiller ikke mellom ulike teknologier som 2G, 3G og 4G. Hver forbindelse vil til en hver tid velge den beste tilgjengelige teknologien.

## 4.1 Analyse av stabilitet i tilkoblingen

Figur 4.1 viser kumulative distribusjoner for MTBF, MTTR og nedetid for hver operatør. En overordnet observasjon er at stabiliteten er bedre enn i fjor for alle operatører. Om lag 10 % av forbindelsene opplever en nedetid på mer enn 10 minutter per dag for alle operatører. For et par år siden lå denne andelen så høyt som 1/3 for noen operatører.

Det øverste plottet i figur 4.1 viser små forskjeller mellom operatørene i hvor ofte forbindelsene brytes. 75-80% av forbindelsene har en MTBF på over 1 dag, noe som er en forbedring fra tidligere år. Forskjellene mellom operatørene er også mindre enn tidligere.

De fleste bruddene i tilkobling er kortvarige hos alle operatører, men Tele2 og Network Norway opplever i gjennomsnitt lengre avbrudd enn Telenor og Telia. 70-90% av forbindelsene hos Telenor og Telia har en MTTR på mindre enn 1 minutt. Tele2 og Network Norway opplever en del mer langvarige brudd. Over halvparten av forbindelsene hos disse operatørene har en MTTR på over 1 minutt, og om lag 20% har en MTTR på over 5 minutter.

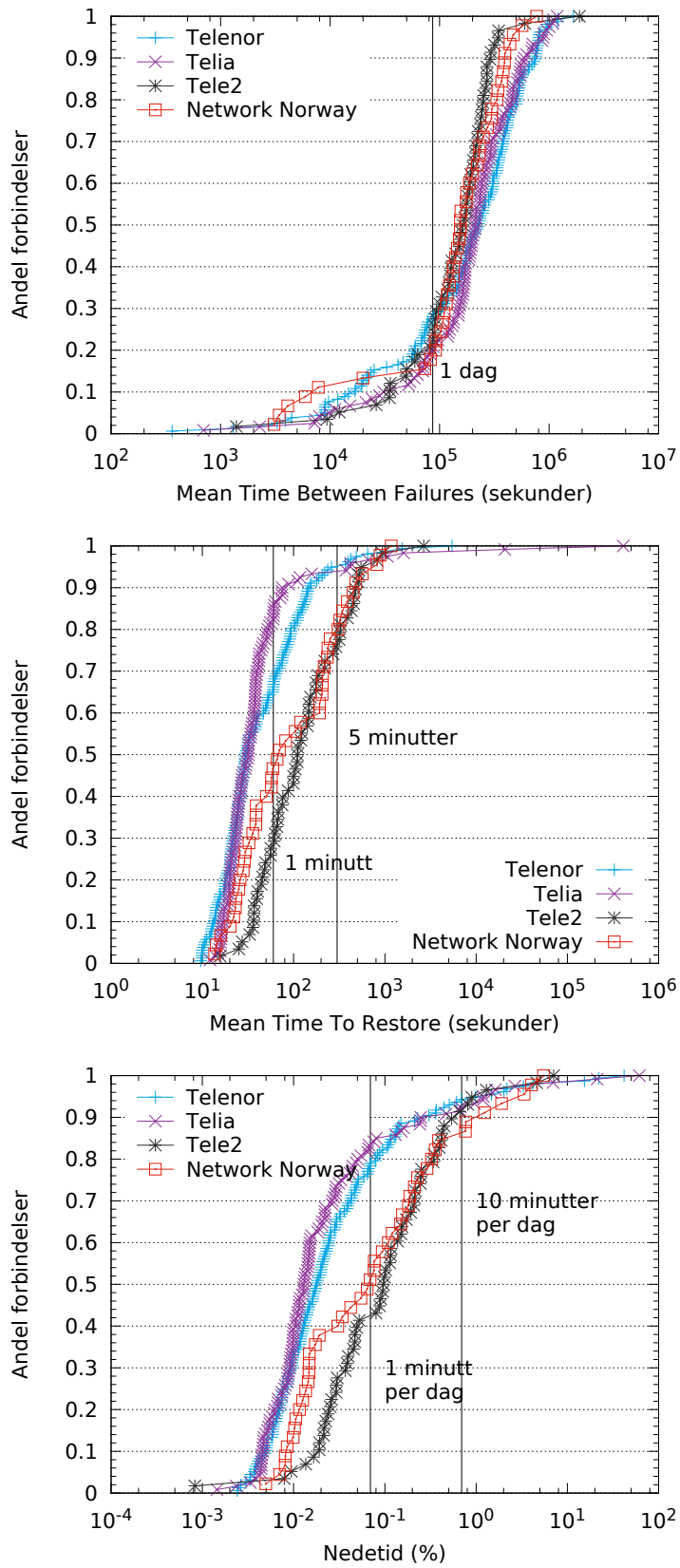
Det nederste plottet i Fig. 4.1 viser at Tele2 og Network Norway har noe høyere samlet nedetid enn Telenor og Telia. Om lag halvparten av forbindelsene til Tele2 og Network Norway er utilgjengelige mer enn 1 minutt per dag, mens dette gjelder kun om lag 20% av forbindelsene hos Telia og Telenor. En nærmere analyse av tallene viser at denne forskjellen var størst i første halvdel av 2015, mens Tele2 og Network Norways forbindelser fremdeles benyttet Mobile Norways RAN. I andre halvdel av året var forskjellene mindre, og de fleste forbindelsene til Tele2 og Network Norway hadde en nedetid på linje med Telenor og Telia.

## 4.2 Utvikling over tid

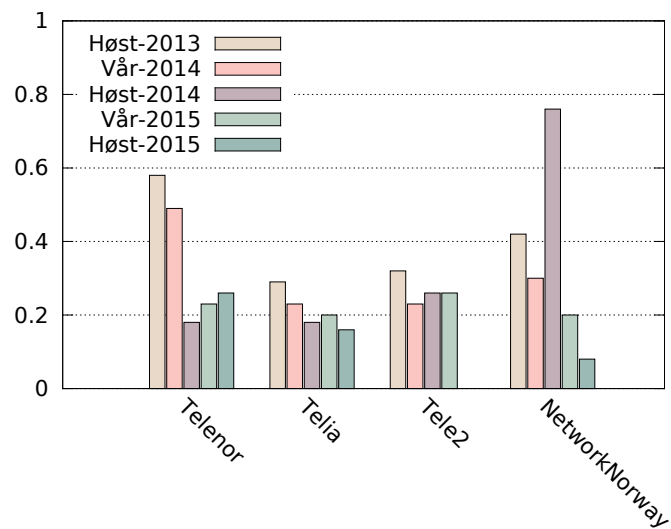
Sammenlignet med situasjonen 2013 og 2014, ble stabiliteten i tilkoblingen bedre i 2015. Det har vært færre større hendelser (se kapittel 6), og færre feil i konfigurasjoner som har slått negativt ut for enkeltoperatører. Tidligere år har vi observert enkeltstående årsaker som har gitt vesentlig nedetid hos minst en operatør. I 2015 har vi ikke observert slike effekter.

Figur 4.2 viser hvordan andelen forbindelser som i snitt mister tilkoblingen mer enn en gang hver dag har utviklet seg fra våre målinger startet i juli 2013 til desember 2015. Perioden er delt opp i fem halvår. Denne andelen ligger relativt stabilt rundt 20% for de fleste operatører. Som omtalt i tidligere års rapporter, opplevde Telenor i 2013 og 2014 mange utfall knyttet til problemer med tilordning av dedikerte datakanaler til sine forbindelser. Dette problemet ble løst ved en konfigurasjonsendring i juni 2014, og andelen forbindelser med hyppige brudd i tilkoblingen har vært stabil etter dette. Network Norway hadde problemer med hyppige brudd i november 2014 (omtalt i fjorårets rapport), men lignende problemer har ikke blitt observert i 2015.

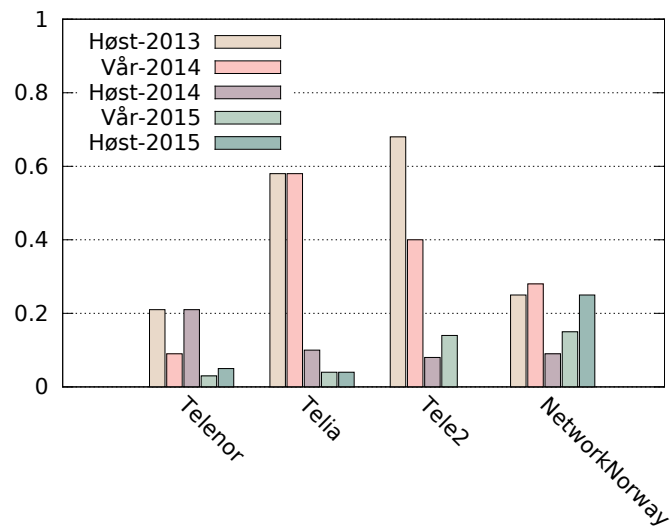
Figur 4.3 viser utviklingen i andel forbindelser der gjennomsnittlig varighet på avbrudd i tilkoblingen var over 5 minutter. Figuren illustrerer hvordan andelen langvarige feil har blitt kraftig redusert hos de fleste operatører. Network Norway opplevde en del langvarige avbrudd i 2015, hvor forbindelser ble brutt og var utilgjengelig i nøyaktig 3 timer før de kunne gjenopprettes. Denne feilen



Figur 4.1: MTBF (topp), MTTR (midt) og nedetid (bunn) for hver operatør.

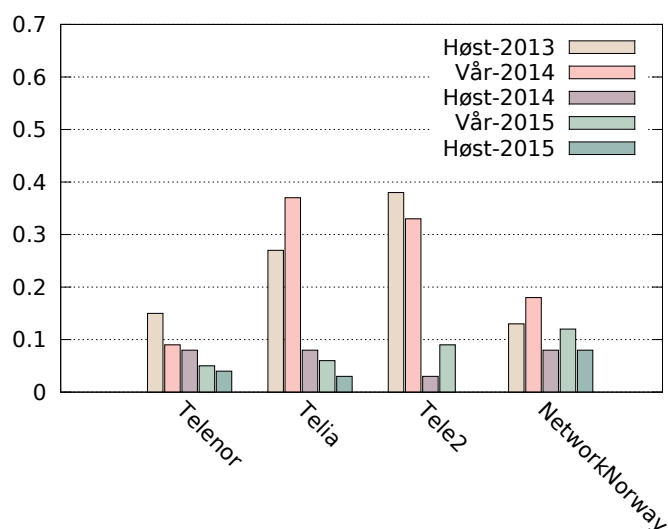


Figur 4.2: Andel forbindelser med MTBF < 1 dag.



Figur 4.3: Andel forbindelser med MTTR > 5 minutter.





Figur 4.4: Andel forbindelser med gjennomsnittlig nedetid  $> 10$  minutter per dag.

ble først observert i mars 2015, etter porteringen av abonnementer fra Mobile Norway til Telias RAN. Feilen rammet sporadisk ulike forbindelser på ulike tidspunkter gjennom resten av året. Vi vet ikke hva som forårsaket disse feilene, men varigheten på nøyaktig 3 timer tyder på at en timer må løpe ut før nettet aksepterer gjenoppretting av forbindelsen. For en vanlig bruker vil denne typen feil kunne rettes ved å starte brukerterminalen på nytt. For M2M-enheter uten en menneskelig bruker, kan imidlertid slike utfall være ødeleggende. Denne feilen trekker opp MTTR for Network Norway, særlig i andre halvdel av 2015.

I sum observerer vi at reduksjonen i nedetid fra 2013 til 2014 i stor grad fortsetter også i 2015. Mindre enn 10% av forbindelsene hos Telenor, Telia og Tele2 hadde mer enn 10 minutter nedetid per dag i 2015. For Telenor og Telia var andelen forbindelser med 10 minutter nedetid per dag henholdsvis 4% og 3% i andre halvdel av 2015. Ingen av de målte forbindelsene i Tele2 hadde mer enn 10 minutter nedetid per dag i andre halvdel av 2015<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>Merk at antallet Tele2-forbindelser i vårt datagrunnlag ble sterkt redusert i andre halvår 2015, som vist i figur 2.2. Vi har derfor ikke inkludert resultater for Tele2 i denne perioden.

## 5. Stabilitet i dataplanet

I dette kapitlet ser vi på nettverkens evne til å gi en stabil ende-til-ende forbindelse med lavt pakketap. Vi måler dette ved å sende en kontinuerlig strøm av små datapakker over forbindelsene. Basert på disse målingene analyserer vi tapsraten til forbindelsene. Mens forrige kapittel diskuterte stabiliteten og tilgjengeligheten til forbindelsens tilkobling til nettet, sier denne analysen sier noe om kvaliteten på forbindelsene i den tiden de er tilkoblet.

Måletrafikken vi baserer vår analyse på består av små (20 Byte) UDP-pakker som sendes til vår måleserver hvert sekund. Måleserveren sender den samme pakken tilbake umiddelbart. For hver pakke registrerer vi hvor lang tid det tok før svarpakken kom tilbake. Dersom ingen svarpakke kom i retur innen 60 sekunder, anser vi pakken som tapt. Denne typen målinger kjører kontinuerlig på alle forbindelser så lenge de er koblet til nettet. Totalt har vi registrert mer enn 11 milliarder målepunkter fra våre forbindelser i løpet av måleperioden. Lengden på måleperioden for hver forbindelse varierer. I denne analysen har vi sett bort fra forbindelser hvor vi har mindre enn 240 timer med målinger.

Ice er ikke inkludert i denne analysen. Deres CDMA-nett ble faset ut og erstattet med et LTE-basert nett høsten 2015. Vi har ikke målinger fra dette nye nettet.

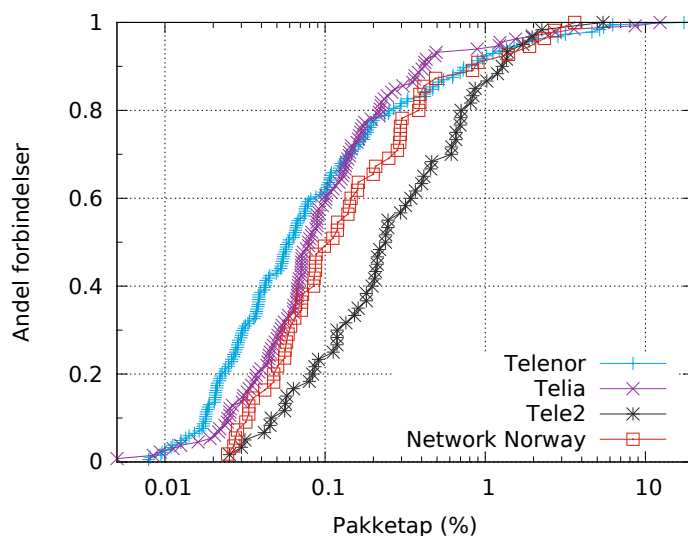
### 5.1 Tapsrate

Figur 5.1 viser den totale tapsraten hos Telenor, Telia, Tele2 og Network Norway. Denne tapsraten er definert for hver forbindelse som (tapte pakker)/(sendte pakker) over hele måleperioden. Hvert punkt på grafen tilsvarer en forbindelse. Dersom en forbindelse har høyt pakketap, kan det enten skyldes at pakketapet har vært jevnt høyt gjennom hele 2015, eller at pakketapet var høyere enn normalt i bare deler av perioden. Vi ser nærmere på denne forskjellen senere i diskusjonen.

Vår første observasjon er at pakketap er relativt beskjedent i det store flertallet av forbindelser. 80-90% av forbindelsene har mindre enn 1% pakketap for alle operatører. Det er likevel forskjeller mellom operatørene.

Telenor og Telia har det laveste pakketapet. Om lag 60% av forbindelsene hos disse operatørene har et gjennomsnittlig pakketap på under 0,1%, og over 90% av forbindelsene har et gjennomsnittlig pakketap under 1%. Tele2 har noe høyere pakketap. Under 30% av forbindelsene til Tele2 har et gjennomsnittlig pakketap på under 0,1%.

Andelen forbindelser med svært høyt pakketap er lav hos de fleste operatørene. Mindre enn 5% av forbindelsene hos samtlige operatører har et pakketap



Figur 5.1: Pakketap

Operatør	10 percentil	Median	90 percentil	Gjennomsnitt
Telenor	0,02%	0,06%	0,82%	0,43%
Telia	0,03%	0,08%	0,41%	0,37%
Tele2	0,05%	0,24%	1,35%	0,53%
Network Norway	0,03%	0,11%	0,90%	0,37%

Tabell 5.1: Pakketap

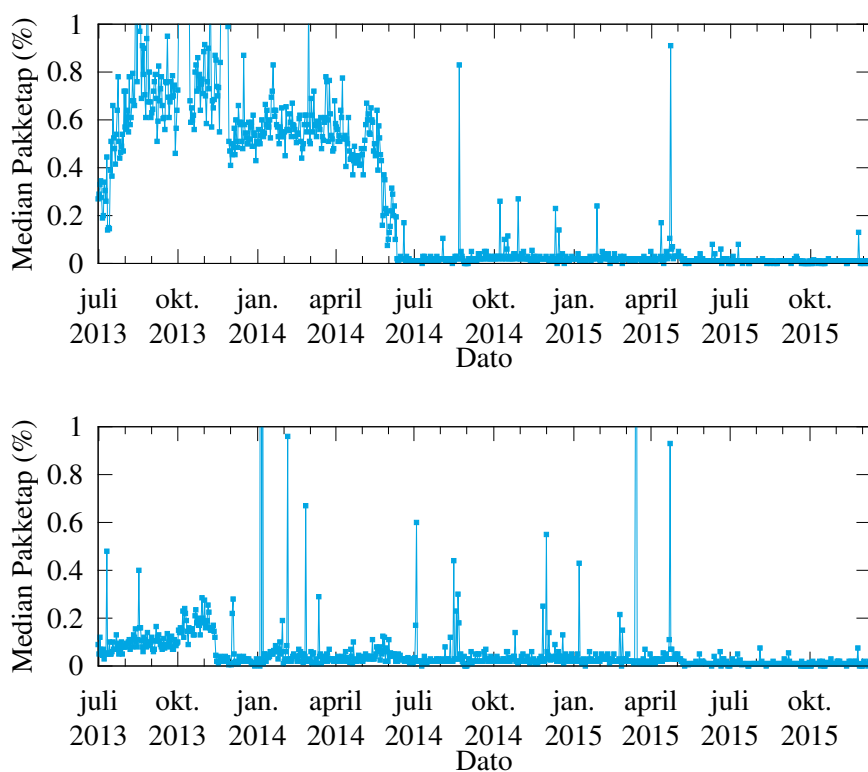
på over 2%. Dette er en klar forbedring for Telia, hvor 10% av forbindelsene hadde et slikt høyt pakketap i 2014.

Tabell 5.1 oppsummerer noen observasjoner om pakketapet i hver operatør. For flere operatører finnes det noen få forbindelser med unormalt høy tapsrate. Disse vil trekke opp gjennomsnittlig tapsrate, som dermed ikke er representativt for en typisk forbindelse. I stedet vil medianen ofte gi et bedre bilde av pakketapet for en operatør. Medianen (50 percentilen) tilsvarer tapsraten til den midterste forbindelsen når alle forbindelsene til en operatør sorteres etter tapsrate.

## 5.2 Utvikling over tid

Som omtalt i fjorårets rapport, opplevde vi en sterk reduksjon i pakketap fra 2013 til 2014, særlig hos Telenor og Telia. Vi observerer en ytterligere, men mer begrenset, reduksjon i pakketap hos disse operatørene fra 2014 til 2015. Tapsraten hos Telenor og Telia er nå lavere enn hos Tele2 og Network Norway for første gang siden våre målinger startet. Tapsraten for de to siste er om lag den samme i 2015 som i 2014.

Figur 5.2 viser utviklingen i tapsrate fra 1. juli 2013 til 31. desember 2015



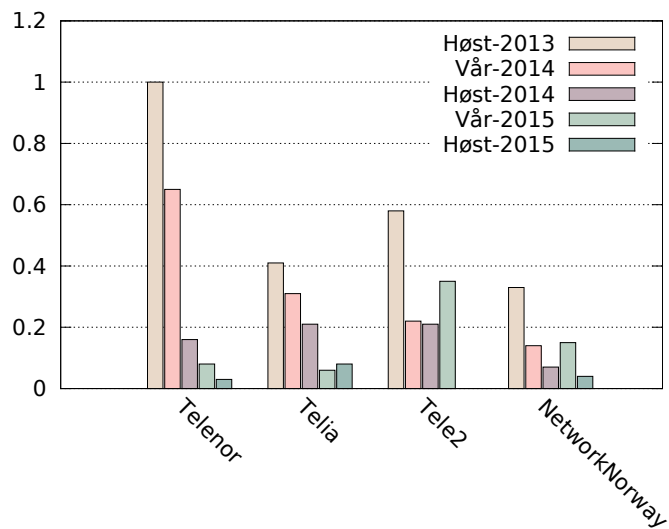
Figur 5.2: Utvikling i tapsrate hos Telenor (øverst) og Telia (nederst) over tid.

for Telenor og Telia. Figurene viser median tapsrate for hver dag, over alle forbindelser. Vi observerer at pakketapet har vært jevnt lavt gjennom året, med unntak av enkeltdager. Særlig i andre halvdel av 2015 har tapsraten vært lav for disse operatørene, med unntak av en periode i desember 2015 da Telia hadde noe høyere pakketap enn vanlig.

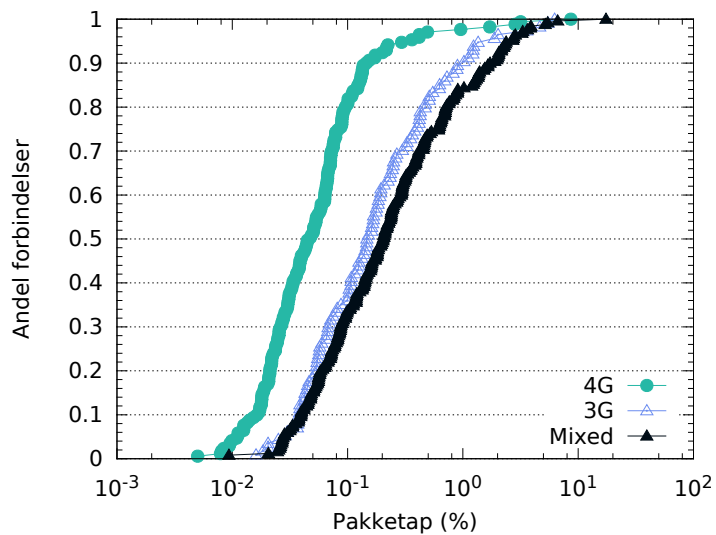
De store reduksjonene i tapsrate for både Telenor og Telia i 2014 har sammenheng med konfigurasjonsendringer disse gjorde i sine nett, og ble omtalt i fjorarets rapport.

Figur 5.3 viser median pakketap i hvert halvår vi har målinger for, for hver operatør. Figuren bekrefter den fortsatte reduksjonen i pakketap i Telenor og Telias nettverk gjennom 2015. For Tele2 og Network Norway er det små endringer i tapsrate fra 2014 til 2015 for året sett under ett, men vi ser at Network Norway hadde klart lavere pakketap i andre halvår av 2015. For begge disse nettverkene observerer vi en reduksjon i pakketap etter at alle deres forbindelser ble overført til Telias RAN i mars 2015.

Reduksjonen i pakketap fra 2014 til 2015 kan settes i sammenheng med utbyggingen av 4G. Figur 5.4 viser at tapsraten er vesentlig lavere for 4G-forbindelser enn for 3G-forbindelser. 10% av 3G-forbindelsene hadde et pakketap over 1%. Tilsvarende hadde 90% av 4G-forbindelsene et pakketap på under 0,2%. Høyest pakketap ser vi i perioder der forbindelsen veksler mellom 3G og 4G.



Figur 5.3: Utvikling i median tapsrate



Figur 5.4: Tapsrate i 3G vs 4G

## 6. Større hendelser

Måledata fra det samme eksperimentet som beskrevet i forrige kapittel kan også brukes til å identifiserer *større hendelser*, der mange forbindelser fra den samme operatøren opplever unormalt stort pakketap. Slike hendelser forårsakes som regel av feil i sentrale deler av mobilnettene. Større hendelser er interessante fra et robusthetsperspektiv på grunn av den direkte innvirkningen de har på brukeropplevelsen. Det er også viktig å oppdage og kartlegge slike hendelser med tanke på å identifisere underliggende svakheter i mobilnettene slik at disse kan utbedres.

For å identifisere større hendelser deler vi våre måleserier inn i 5 minutters intervaller, og beregner pakketapet for hver forbindelse i hvert intervall. Vi definerer en større hendelse som ett eller flere intervaller der minst 10% av de målte forbindelsene til en operatør opplever minst 10% pakketap. Figuren på neste side gir et visuelt inntrykk av alle større hendelser siden vi startet målingene i juli 2013. Hver hendelse  $x$  er representert som en sirkel, og flere hendelser på den samme dagen er slått sammen til én sirkel. Sirkelens diameter  $D_x$  representerer alvorlighetsgraden til hendelsen, og kan forstås som det totale volumet av trafikk som gikk tapt. La  $p_x$  representere andelen forbindelser som opplever mer enn 10% pakketap,  $q_x$  representere gjennomsnittlig pakketap for de berørte forbindelsene, og  $r_x$  representere varigheten (antall 5-minutters intervaller) av hendelsen. Diameteren er da definert som  $D_x = p_x q_x r_x$ . Andelen berørte forbindelser er også angitt på y-aksen i figuren<sup>1</sup>.

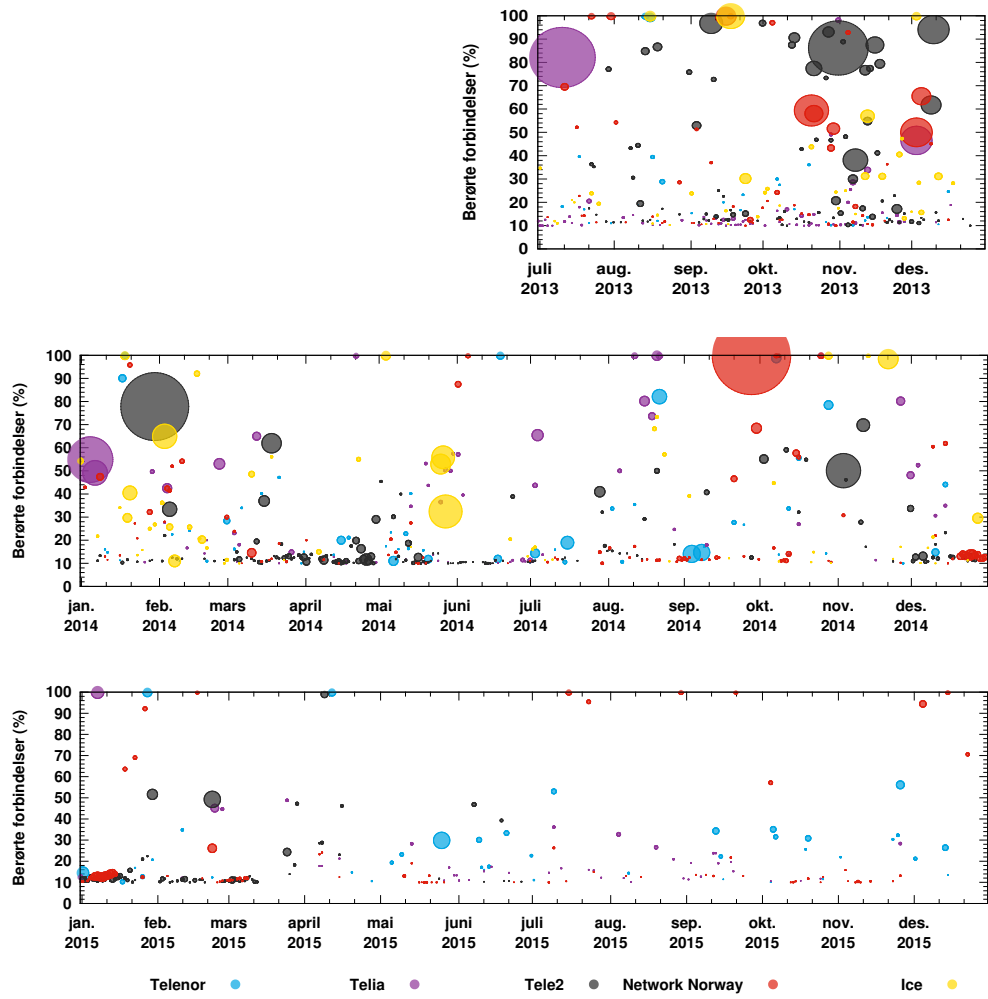
Hovedinntrykket fra 2015 er at antallet større hendelser er kraftig redusert sammenlignet med 2013 og 2014. I løpet av 2015 har vi ikke identifisert større hendelser av noe vesentlig omfang.

En observasjon er at antallet hendelser som berører en begrenset del av forbindelsene, og som har begrenset varighet, er større for Tele2 og Network Norway de første månedene i 2015 enn i resten av året. Det er naturlig å sette dette i sammenheng med overgangen fra Mobile Norway til Telia som foretrukket RAN for disse forbindelsene fra mars 2015.

En del hendelser med noe omfang er oppsummert i tabellen under, men ingen av disse hendelsene er i nærheten av å ha samme omfang som utfall omtalt i tidligere års rapporter. Merk at vi ikke inkluderer data for Tele2 i andre halvdel av 2015, fordi antall målenoder i denne perioden er for lavt til å gi robuste resultater.

---

<sup>1</sup>y-aksen angir det maksimale antallet forbindelsene som ble berørt i det samme 5-minutters intervallet, mens  $p_x$  er beregnet basert på gjennomsnittlig antall berørte forbindelser i løpet av hendelsen.



Figur 6.1: Hendelser med stort pakketap

<p><b>Operatør:</b> Telia  Dato: 8. januar  Varighet: 05:09 - 05:10  Berørte forbindelser: 100%  Pakketap: 100%  Kommentar: Feilen berørte forbindelser fra hele landet, og var derfor trolig forårsaket av en sentral komponent i mobilnettet. Svært kort varighet.</p>
<p><b>Operatør:</b> Telenor  Dato: 28. januar  Varighet: 20:59 - 21:01  Berørte forbindelser: 100%  Pakketap: 100%.  Kommentar: Feilen berørte alle forbindelser, og var derfor trolig forårsaket av en sentral komponent i mobilnettet. Svært kort varighet.</p>
<p><b>Operatør:</b> Tele2  Dato: 23. februar  Varighet: 09:00 - 11:05  Berørte forbindelser: 100%  Pakketap: Varierende  Kommentar: Feilen berørte alle forbindelser, og var derfor trolig forårsaket av en sentral komponent i mobilnettet. Ikke alle forbindelser opplevde like stort pakketap.</p>
<p><b>Operatør:</b> Telenor  Dato: 26. mai  Varighet: 15:25 - 19:20  Berørte forbindelser: 30%  Pakketap: 100%.  Kommentar: Feilen berørte forbindelser fra hele landet, og var derfor trolig forårsaket av en sentral komponent i mobilnettet.</p>



## 7. Stabil ytelse

Stabil og tilstrekkelig ytelse er et viktig aspekt av opplevd robusthet. Et robust mobilnett bør være i stand til å kjøre typiske applikasjoner med høy grad av forutsigbarhet i ytelsen. I denne rapporten ser vi på HTTP nedlasting, som spiller en sentral rolle i mange sammenhenger, fra nettsurfing til videostrømming.

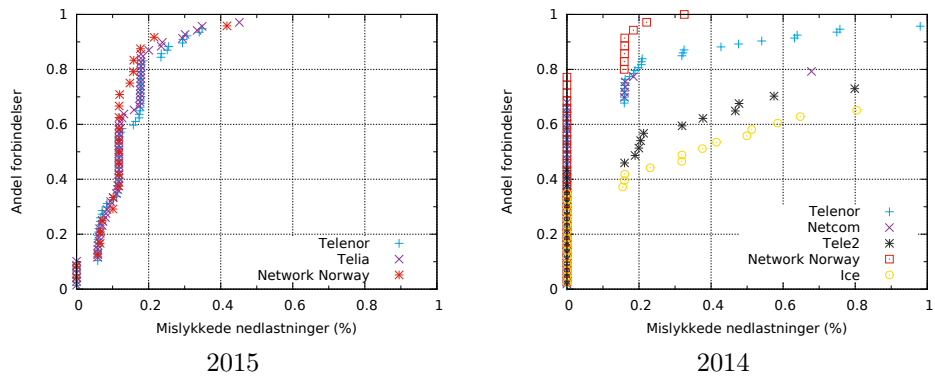
Vi rapporterer resultater fra en enkel test der vi bruker HTTP GET til å laste ned en fil på 1 MB. Denne testen ble gjennomført over alle aktive forbindelser hver time i 9 uker høsten 2015. Vi har dermed om lag 1200 repetisjoner av målingen for hver forbindelse. For hver repetisjon noterer vi hvorvidt nedlastingen kunne fullføres, hvor lang tid nedlastingen tok, og eventuelle feilkoder. Basert på målingene rapporterer vi to ulike metrikker for hver forbindelse: sannsynligheten for at en nedlasting kunne fullføres, og sannsynligheten for at den oppnådde nedlastingshastigheten var over 1 Mbps.

Merk at vi ikke gjør noe forsøk på å måle den maksimale hastigheten som kan oppnås over hver forbindelse. En slik måling ville kreve en annen tilnærming enn en HTTP GET nedlasting. Netto hastighet i en HTTP nedlasting vil avhenge av flere faktorer som er uavhengig av nettverket. Blant annet vil filstørrelsen og konfigurasjonen av transportlagsprotokollen TCP spille en viktig rolle. Særlig ved høyere hastigheter kan slike forhold ha stor innvirkning på nedlastingshastigheten. Våre målinger kan derfor ikke brukes til å evaluere maksimal hastighet i de ulike nettverkene. De kan likevel brukes til å sammenligne de ulike nettverkene, siden testoppsettet er det samme for alle operatører.

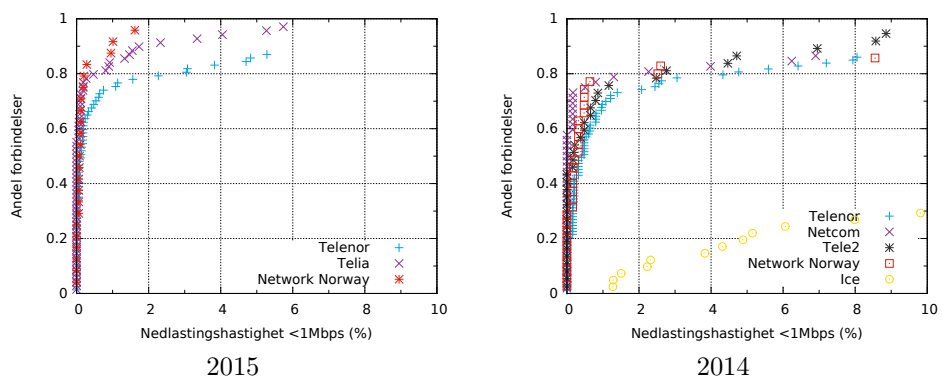
### 7.1 Feilrate for nedlastinger

Figur 7.1 viser andelen mislykkede nedlastingsforsøk for hver forbindelse. Figuren leses som at "y forbindelser har en feilrate på mindre enn x%". For sammenligning viser vi resultater for både 2015 og 2014.

En hovedobservasjon er at de aller fleste nedlastinger er vellykket. Over 80% av forbindelsene til Telenor, Telia og Network Norway opplever en feilrate på under 0,2% i 2015. Dette er på linje med hva vi observerte i 2014. Færre forbindelser oppnår en feilrate på 0% i 2015 enn hva tilfellet var i 2014. Vi observerer imidlertid en klar reduksjon i andelen forbindelser som opplever en relativt høy feilrate. I 2014 feilet 18% av Telias forbindelser i mer enn 1% av forsøkene. I 2015 gjaldt dette kun 3% av Telias forbindelser og 5% av Telenors forbindelser.



Figur 7.1: Mislykkede forsøk på nedlasting, 2015 vs 2014



Figur 7.2: Andel nedlastinger med lavere hastighet enn 1 Mbps, 2015 vs 2014

## 7.2 Stabilitet i båndbredde

Figur 7.2 viser andelen vellykkede nedlastinger som oppnådde en gjennomsnittlig båndbredde på minst 1 Mbps for hver forbindelse. Figuren leses som at "y% av forbindelsene oppnådde mindre enn 1Mbps i opptil x% av forsøkene". Kun 3G og 4G-forbindelser er inkludert i denne figuren, siden 2G-forbindelser aldri oppnår denne hastigheten. For sammenligning viser vi resultater for både 2015 og 2014.

En hovedobservasjon er at de aller fleste forbindelsene oppnår en nedlastingshastighet på minst 1 Mbps i nesten alle forsøkene. Henholdsvis 77% (Telenor), 90% (Telia) og 95% (Network Norway) av forbindelsene oppnår denne hastigheten i 98% av forsøkene. For Telia og Network Norway er dette en forbedring i forhold til 2014. 12% av Telenorforbindelsene oppnår mindre enn 1Mbps nedlastingshastighet i mer enn 10% av forsøkene. Dette er om lag den samme andelen som i 2014.

## 8. Mobiltjenester på tog

I dette kapitlet presenterer vi målinger av mobildekning og ytelse målt om bord på tog. Målingene omfatter Telenor og Telia, og er gjennomført ved å plassere Nornet målenoder på 7 regiontog som benyttes på strekningene Oslo-Stavanger, Oslo-Bergen, Oslo-Trondheim og Trondheim-Bodø. Resultatene som presenteres her er basert på målinger foretatt gjennom hele 2015. En grundigere diskusjon av forhold som påvirker mobiltjenester på tog er gitt i [7].

Noen banestrekninger trafikkeres ikke av togene med målenoder. Av disse er særlig Vestfoldbanen (Drammen-Skien) en viktig strekning med tungt trafikkgrunnlag. Vi har heller ikke målinger for Rørosbanen, Gjøvikbanen, Raumabanen eller Østfoldbanens østre linje.

Målenodene 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, og tilsvarer ikke utendørsdekningen man vil oppleve langs jernbanen. Målingene tilsvarer brukeropplevelsen slik den framstår for passasjerer i dag.

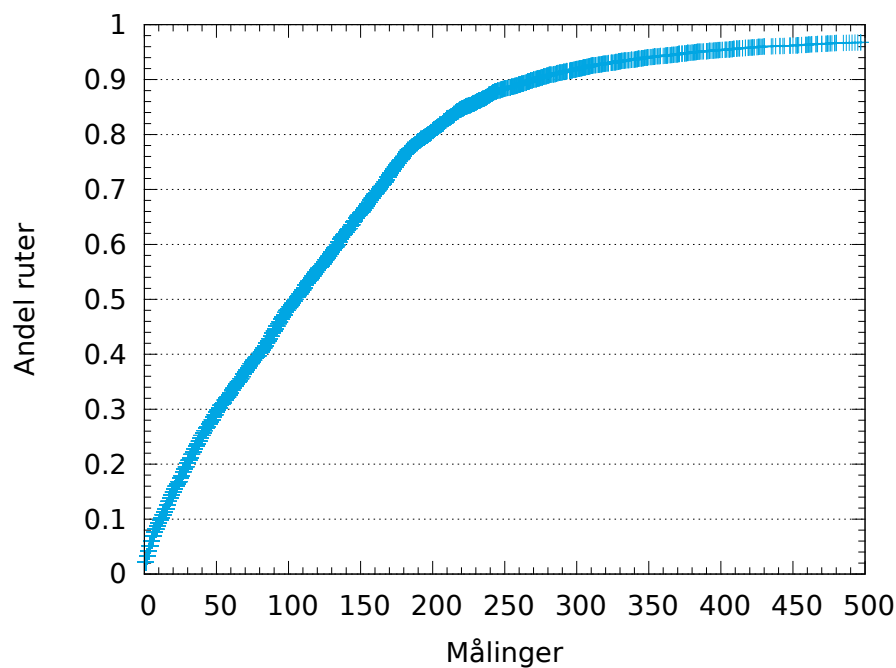
Hver målenode rapporterer status for forbindelsen til hvert mobilnett fire ganger i minuttet. I denne analysen ser vi på hvilken teknologi forbindelsen går over. Dette kan være 4G, 3G, 2G eller Ingen tjeneste. Målenodene vil automatisk velge det beste tilgjengelige teknologien.

I vår analyse av målingene benytter vi SSBs 1km x 1km rutenett for befolkningsstatistikk, og slår sammen alle måleravlesningene i hver rute. Antallet måleravlesninger vi har i hver rute vil variere med togsettens reisemønster. Figur 8.1 viser distribusjonen av antall måleravlesninger vi har i hver rute. Vi krever minst 10 avlesninger for en operatør for å ta med den aktuelle ruten i vår analyse.

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 ruten, mens den optimistiske dekningen er definert som den høyeste teknologien som er observert i minst 10% av målingene.

### 8.1 Mobildekning på tog

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



Figur 8.1: Antall målinger i hver 1km x 1km rute

mot andre markeder. Der jernbanen går gjennom ubebygde områder og langt fra veinettet er dekningen ofte sparsom.

Mobiloperatørene bygger ut sine 4G-nett i høyt tempo, og en økende del av jernbanestrekningene er dekket av 4G. Denne dekningen er stort sett konsentrert rundt byer og andre sentrale områder. Dekningen er imidlertid fremdeles sporadisk, og brukerterminaler med 4G støtte vil derfor oppleve hyppige skifter mellom 4G og andre teknologier, noe som vil påvirke brukeropplevelsen negativt.

3G er fremdeles den viktigste teknologien for å gi mobile datatjenester langs jernbanen. Det meste av jernbanenettet i sentrale strøk har i dag 4G- eller 3G-dekning. Det samme gjelder mer enn halvparten av jernbanelinjene mellom Oslo og Stavanger, Bergen og Trondheim, mens Nordlandsbanen har en langt mer beskjeden dekningsgrad.

Banestrekning	Områder
Lokal	Oslo - Moss Oslo - Eidsvoll Oslo - Drammen Stavanger - Nærbø
Intercity	Oslo - Halden Oslo - Lillehammer Oslo - Drammen
Sørlandsbanen	Oslo - Stavanger via Drammen, Kongsberg og Kristiansand
Bergensbanen	Oslo - Bergen via Drammen, Kongsberg og Hønefoss
Dovrebanen	Oslo - Trondheim via Gudbrandsdalen
Nordlandsbanen	Trondheim - Bodø

Tabell 8.1: Banestrekninger.

#### Utfordringer ved måling av 4G-dekning

Våre målenoder sender kontinuerlig måletrafikk over alle forbindelser, som beskrevet i kapittel 2. Det innebærer at dataforbindelsen til hvert mobilnett stort sett er i *aktiv* tilstand. Telenor og Telia har konfigurert mobilnettene sine slik at en dataforbindelse ikke oppgraderes fra 3G til 4G mens den er aktiv, selv om en bruker beveger seg inn i et område med 4G-dekning. En forbindelse kan derfor bli hengende igjen i 3G-nettet og rapportere 3G som den beste tilgjengelige teknologien i et område selv om 4G også er tilgjengelig. Dette innebærer en fare for at vi under vurderer 4G-dekningen i våre målinger. Merk at det samme problemet vil ramme en vanlig bruker som har en aktiv dataforbindelse som det kontinuerlig sendes trafikk over. Særlig vil dette ramme NSBs wifi om bord-løsning, der mange brukere deler en felles forbindelse over mobilnettet. Denne forbindelsen vil nesten alltid være aktiv, og vil derfor ofte ikke oppgraderes til 4G når det er mulig.

### 8.1.1 Mobildekning per banestrekning

Vi deler det norske jernbanenettet inn i 6 delvis overlappende områder i vår analyse, som vist i tabell 8.1<sup>1</sup>.

For hver strekning beregner vi den typiske dekningen i prosent for en gitt teknologi som andelen 1km-ruter langs strekningen der den aktuelle teknologien (eller en nyere teknologi) er den mest observerte. Tabell 8.2 - 8.4 viser den typiske dekningen per banestrekning for 4G (tabell 8.2), 3G eller 4G (tabell 8.3) og 2G, 3G eller 4G (tabell 8.4). Tabell 8.4 angir altså andelen 1km-ruter der den mest observerte teknologien er enten 2G, 3G eller 4G (i motsetning til "ingen tjeneste").

Tabell 8.2 viser at Telenor hadde klart høyere 4G-dekning langs jernbanen

<sup>1</sup>Vi har ikke målinger Drammen - Skien.

Operatør	Lokal	Intercity	Sørlandsbanen	Bergensbanen	Dovrebanen	Nordlandsbanen
Telenor	28%	15%	11%	12%	16%	8%
Telia	1%	4%	2%	2%	3%	2%

Tabell 8.2: Typisk 4G-dekning per banestrekning

Operatør	Lokal	Intercity	Sørlandsbanen	Bergensbanen	Dovrebanen	Nordlandsbanen
Telenor	88%	78%	48%	61%	66%	23%
Telia	91%	83%	51%	54%	69%	21%

Tabell 8.3: Typisk 3G- eller 4G-dekning per banestrekning

Operatør	Lokal	Intercity	Sørlandsbanen	Bergensbanen	Dovrebanen	Nordlandsbanen
Telenor	90%	88%	51%	63%	78%	41%
Telia	93%	91%	53%	59%	78%	27%

Tabell 8.4: Typisk 2G-, 3G- eller 4G-dekning per banestrekning

enn Telia i 2015 sett under ett. Høyest 4G-dekning finner vi naturlig nok i sentrale strøk, med 28% dekning fra Telenor på lokaltogstrekningene. Telenors 4G-dekning langs regiontogstrekningene varierer fra 8% langs Nordlandsbanen til 16% langs Bergensbanen. Telia har under 5% 4G-dekning langs alle banestrekningene i 2015 sett under ett<sup>2</sup>.

Som vist i tabell 8.3, er dekningen langt høyere for 3G. Om lag 90% av lokaltogstrekningene og over 50% av regiontogstrekningene (med unntak av Nordlandsbanen) har 3G- eller 4G-dekning. Forskjellene mellom Telenor og Telia er begrensede når vi inkluderer 3G.

Dekningen oppgitt i tabell 8.4 tilsvarer grovt sett områder der det er mulig å ringe.

Dekningen oppgitt her er beregnet med samme metode som i Nexias rapport om mobiltjenester på tog fra 2015 [7], og resultatene er derfor sammenlignbare. Nexiarapporten baserte seg hovedsakelig på målinger gjennomført høsten 2014. Vi observerer en til dels kraftig økning i 4G-dekningen fra 2014 til 2015. For eksempel har Telenors 4G-dekning økt fra 14% til 28% på lokaltogstrekningene, og fra 7% til 16% langs Bergensbanen.

Figur 8.2 og 8.3 gir et mer detaljert bilde av dekningen langs de fire regiontogstrekningene, for Telia (venstre kolonne) og Telenor (høyre kolonne). Figurene viser den typiske dekningen for hver kilometer, og illustrerer forskjeller i dekningen for de to målte mobiloperatørene på ulike strekninger.

Figur 8.4 viser den målte typiske dekningen hos Telenor (8.4a) og Telia (8.4b) på lokaltogstrekningene rundt Oslo. De svarte linjene viser togs Skinner (inkludert T-bane), mens de fargede rutene viser typisk dekning i 1x1 km rutenett. Som figuren viser, finnes det huller i våre dekningsmålinger. Dette vil normalt være tunneler eller andre områder uten dekning, der målenodene har mistet kontakt med nettet.

<sup>2</sup>Det har vært en sterk utbygging gjennom 2015, se kapittel 8.1.2 under.

### 8.1.2 Utvikling i mobildekning gjennom 2015

Resultatene rapportert i dette kapittelet er basert på målinger foretatt gjennom hele 2015. Mobiloperatørene har imidlertid gjennomført en kraftig utbygging av sin 4G-dekning i løpet av året, og vi observerer en markant endring av dekning fra første halvår til andre halvår 2015.

Figur 8.5 viser utviklingen i 4G-dekning fra første til andre halvår for hver banestrekning for Telia og Telenor. Vi observerer en kraftig økning i 4G-dekning for begge operatører. Telia øker den målte 4G-dekning i Intercity-området fra 1% til 16 %, og i Lokal-området fra 1% til 9%. Telenor har også en særlig sterk økning i Intercity-området, fra 12% til 28%. Mobiloperatørene har fortsatt sin utbygging av 4G, og har også satt i gang målrettet utbygging langs visse jernbanestrekninger for å gi bedre og mer sammenhengende dekning. Deknings-situasjonen per i dag er derfor trolig bedre enn hva vi observerer for 2015.

### 8.1.3 Innføring av signalforsterkere på togsett

I mars 2015 ble det annonsert at NSB, Telenor og Jernbaneverket har inngått en avtale om samarbeid for å bedre mobildekningen på tog. I april 2016 annonserte Telia at også de slutter seg til dette samarbeidet. 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 mobiloperatørene om overvåking av tilgjengeligheten til utstyret.

Som diskutert i Nexias rapport om mobiltjenester på tog [7], vil innføring av signalforsterkere kunne bidra til vesentlig bedre opplevd dekning på tog. Et togkarosseri har en betydelig dempende effekt på mobilsignaler, og denne effekten gjør seg særlig gjeldende i moderne togsett med metallfilm i vinduene. Signalforsterkere kan benyttes for å motvirke denne dempningen, gjennom å gjøre det mulig for brukerterminaler å koble seg på mobilnettet på steder der mobilsignalene utenfor togsettet i dag er for svake til å trenge gjennom togkarosseriet.

Prosessen mot å installere utstyr i noen av NSBs togsett er i gang, men ingen signalforsterkere har blitt satt i drift i løpet av 2015. Vi har derfor ikke målinger som kan kvantifisere effekten av disse. Når slikt utstyr settes i drift på togsett der vi har målnoder, forventer vi å se en klar effekt på den opplevde dekningen.

I mangel av målinger som kvantifiserer effekten av signalforsterkere, viser vi her den *optimistiske dekningen* som et estimat på hvordan dekningen kan forbedres når slike kommer på plass. Den optimistiske dekningen i en gitt rute er definert som den beste dekningen som er observert i minst 10% av målingene



Operatør	Lokal	Intercity	Sørlands- banen	Bergens- banen	Dovre- banen	Nordlands- banen
Telenor	63%	58%	29%	36%	46%	14%
Telia	31%	48%	13%	17%	31%	15%

Tabell 8.5: Optimistisk 4G-dekning per banestrekning

Operatør	Lokal	Intercity	Sørlands- banen	Bergens- banen	Dovre- banen	Nordlands- banen
Telenor	95%	91%	78%	86%	87%	36%
Telia	99%	97%	77%	75%	88%	40%

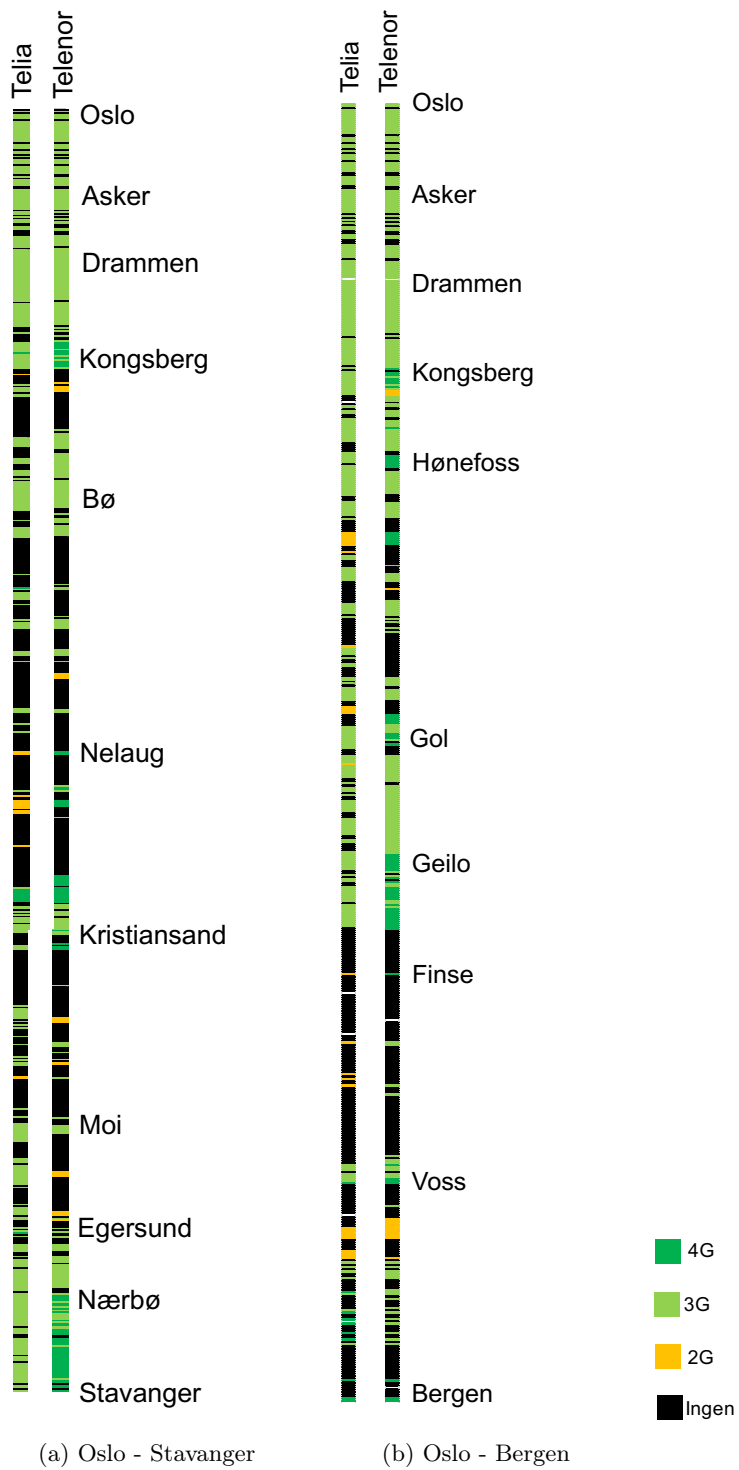
Tabell 8.6: Optimistisk 3G- eller 4G-dekning per banestrekning

Operatør	Lokal	Intercity	Sørlands- banen	Bergens- banen	Dovre- banen	Nordlands- banen
Telenor	98%	99%	93%	91%	99%	85%
Telia	99%	99%	91%	89%	98%	77%

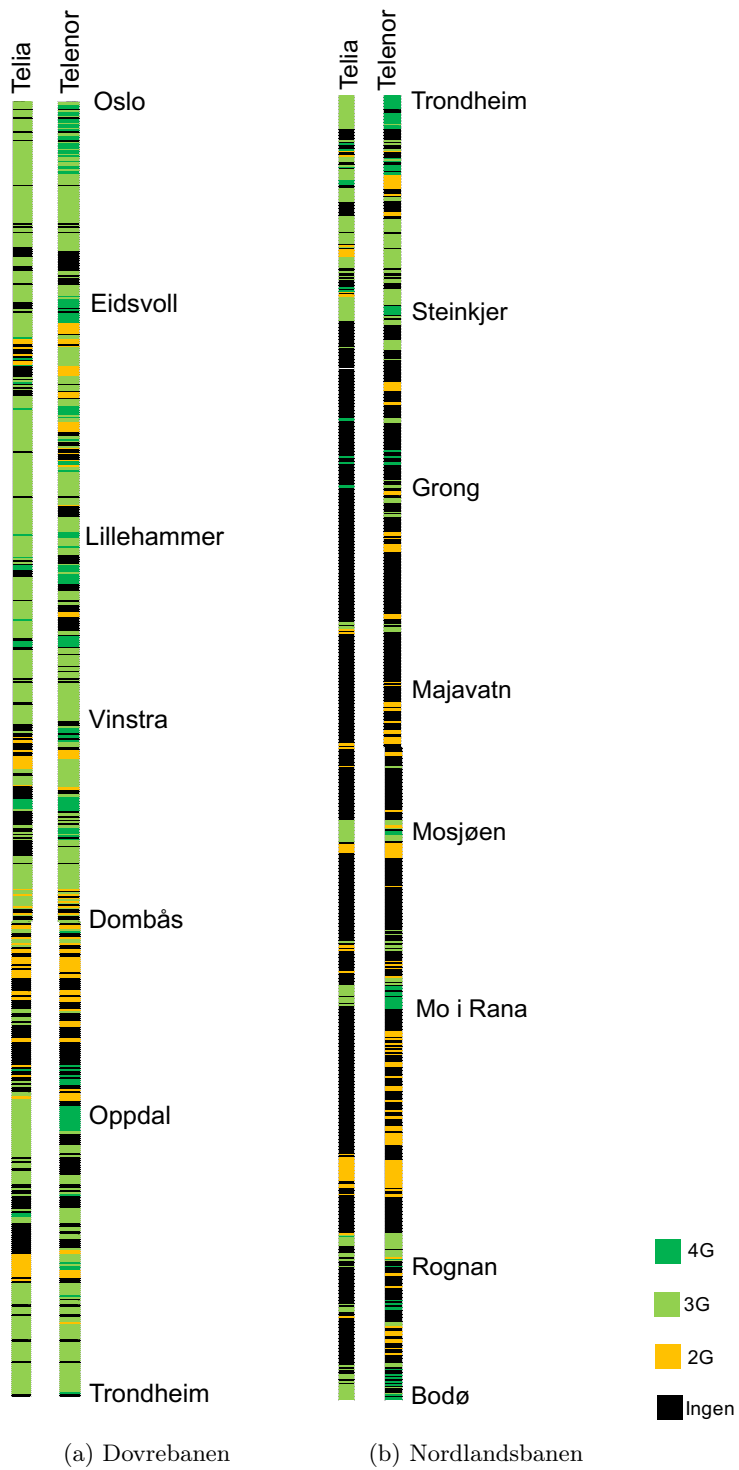
Tabell 8.7: Optimistisk 2G-, 3G- eller 4G-dekning per banestrekning

i ruten. 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. Vi understreker at effekten av signalforsterkere vil avhenge av en rekke faktorer, og at vår beregning av optimistisk dekning ikke behøver å bli den opplevde dekningen når disse er på plass. Optimistisk dekning gir like fullt et bilde av områder hvor det finnes dekning for en teknologi, men ikke nødvendigvis god nok til at våre målenoder velger å koble seg til.

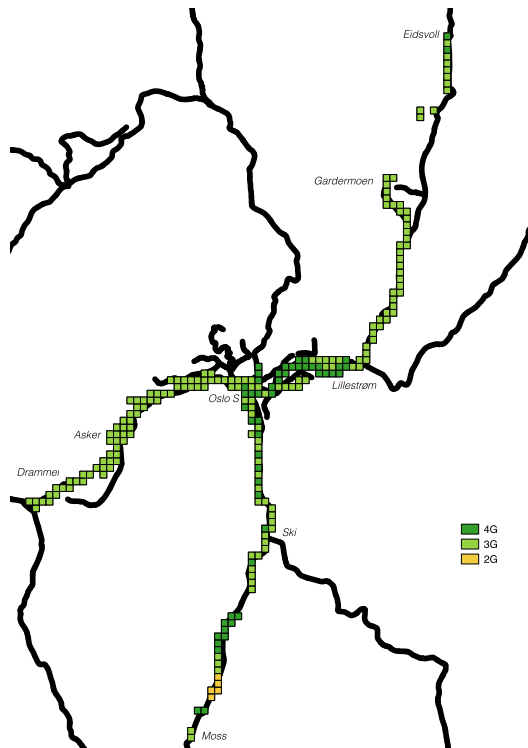
Tabell 8.5 - 8.7 viser den beregnede optimistiske dekningen på hver banestrekning. Sammenlignet med resultatene i tabell 8.2 - 8.4, viser disse tabellene en klar forbedring av dekningen. For eksempel øker 3G-dekningen fra 78/83% til 91/97% for Telenor/Telia i Intercity-området. For 4G er økningen enda sterkere, med en økning fra 15/4% til 58/48% i Intercity-området. Vi mener at disse observasjonene indikerer et stort potensiale for bedre mobildekning ved bruk av signalforsterkere på tog.



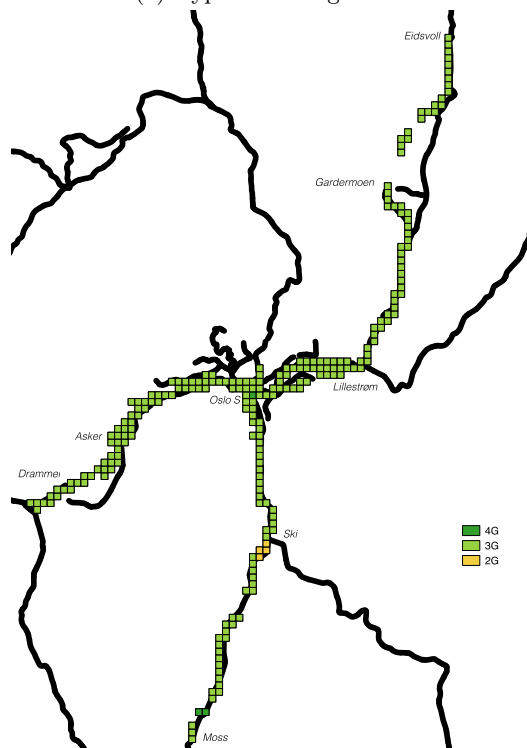
Figur 8.2



Figur 8.3

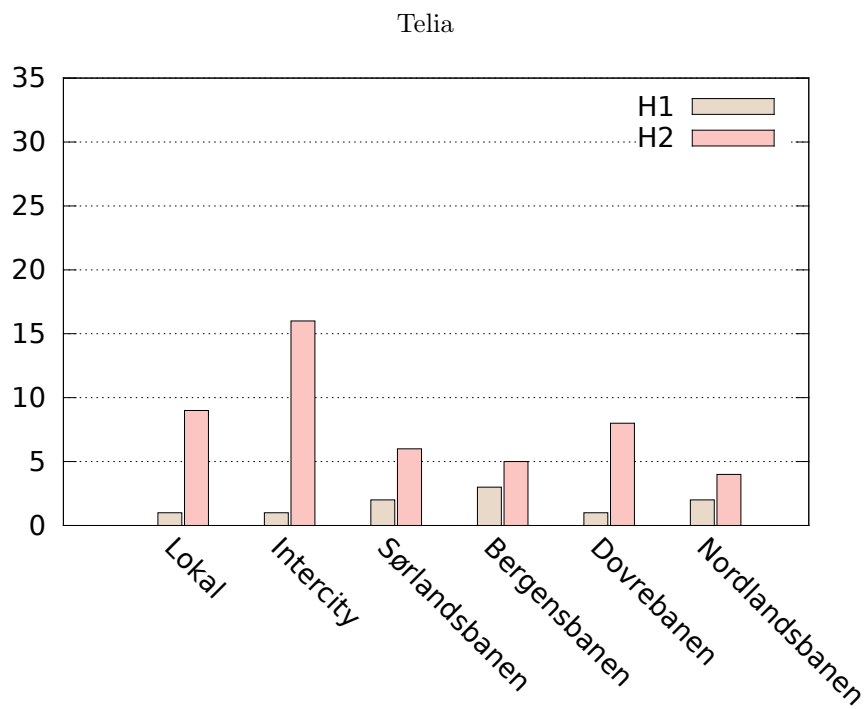
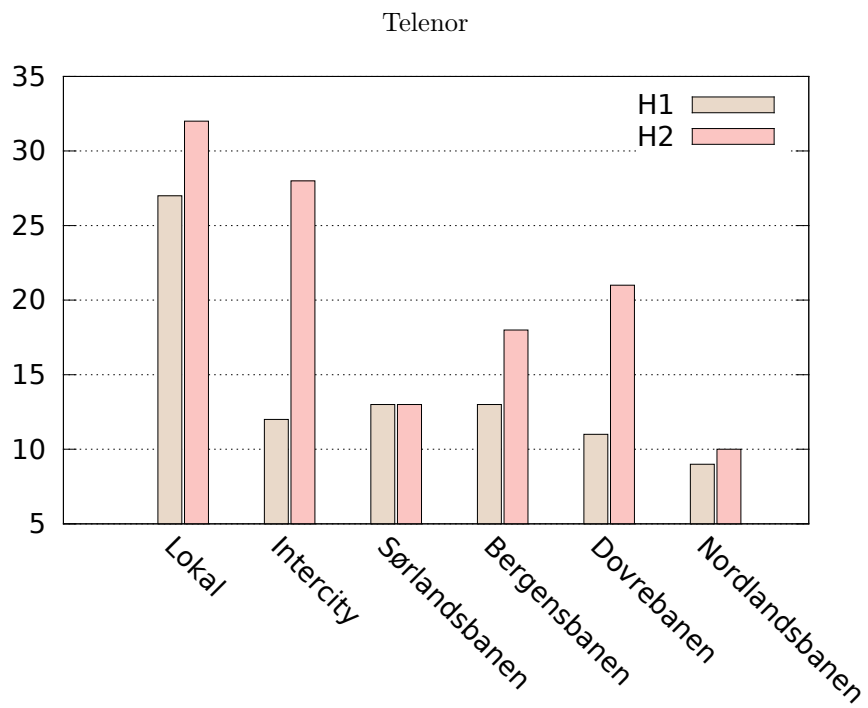


(a) Typisk dekning Telenor



(b) Typisk dekning Telia

Figur 8.4



Figur 8.5: Utvikling i 4G-dekning langs jernbanen i 2015 Telenor (øverst) og Telia (nederst).

Operatør	Lokal	Intercity	Dovrebanen
Telenor	4,6%	6,0%	20,0%
Telia	3,3%	5,6%	19,1%

Tabell 8.8: Feilrate for nedlastinger per banestrekning

## 8.2 HTTP nedlastinger på tog

Vi presenterer målinger av oppnådd nedlastingshastighet over HTTP fra våre målenoder på tog. Metoden vi benytter er den samme som beskrevet for de stasjonære målingene i kapittel 7. Filen vi laster ned har en størrelse på 4 MB, altså en større fil enn den som benyttes i det stasjonære tilfellet.

Målingene er foretatt i perioden september - desember 2015. I hele denne perioden gjør vi en nedlasting hver time. For hver nedlasting registrerer vi hvorvidt nedlastingen kunne fullføres, og hvilken nedlastingshastighet som ble oppnådd. Vi ser bort i fra målinger som er foretatt når toget står stille, og rapporterer kun målinger gjennomført når toget er i bevegelse. Vi grupperer ikke målingene basert på togets hastighet utover kravet om at toget må ha vært i bevegelse mens nedlastingen pågikk.

Målenodene som benyttes til disse målingene står på tog som rulleres mellom ulike banestrekninger. Vi har derfor ikke målinger fra alle strekninger.

### 8.2.1 Feilrate i nedlastinger

Tabell 8.8 viser feilraten for nedlastinger per operatør og banestrekning. Feilraten betyr her andelen nedlastingsforsøk som ikke kunne fullføres, selv om målenoden hadde en aktiv forbindelse da nedlastingen ble satt i gang. Vi observerer først at feilraten for målenoder på tog er vesentlig høyere enn tilsvarende feilrate for stasjonære målenoder. Figur 7.1 i kapittel 7 viste at de aller fleste stasjonære forbindelser har en feilrate på under 0,5% for tilsvarende nedlastinger. Som vi ser i tabellen, ligger feilraten vesentlig høyere enn dette for mobile målenoder.

Videre ser vi at feilraten er lavere i sentrale strøk med god dekning (Lokal og Intercity) enn i områder med lavere dekning. Dette er ikke uventet, siden en vesentlig årsak til feil i nedlastingen er at målenoden mister mobildekning. Sjansen for at dette skal skje er naturlig nok høyere i områder med vesentlige dekningshull.

Vi ser også at Telia gjennomgående har en noe lavere feilrate enn Telenor, selv om forskjellen er liten. 3G-dekningen til de to operatørene er om lag den samme, så vi tror ikke dette primært skyldes forskjeller i dekning. En mulighet er at forskjellen skyldes bruken av såkalte TCP proxies. Dette er komponenter i mobilnettets (såkalte *middleboxes*) som deler opp en TCP-forbindelse mellom klient og server i to deler. En slik TCP proxy kan brukes til å holde en forbindelse i live selv om det oppstår korte brudd i forbindelsen mellom målenoden og mobilnettets. Våre målinger viser at Telia benytter slike TCP proxies, mens Telenor normalt ikke gjør det.

Operatør	Lokal	Intercity	Dovrebanen
Telenor	9,5	10,2	7,4
Telia	11,9	11,8	7,9

Tabell 8.9: Gjennomsnittlig nedlastingshastighet per banestrekning (Mbps)

### 8.2.2 Nedlastingshastighet

Tabell 8.9 viser gjennomsnittlig nedlastingshastighet fordelt på operatør og banestrekning. Nedlastingshastigheten er beregnet basert på hvor lang tid det tar å laste ned en 4 MB fil med en HTTP GET kommando. Vi observerer først at den gjennomsnittlige nedlastingshastigheten er noe høyere i sentrale strøk enn langs Dovrebanen. Dette skyldes trolig høyere 4G-dekning i disse områdene. Vi ser også at vi oppnår noe høyere nedlastingshastighet med Telia enn med Telenor, til tross for Telenors noe høyere 4G-dekning. Det er naturlig å tro at dette skyldes høyere tilgjengelig kapasitet i Telias nett.

## 9. Oppsummering og veien videre

Årets rapport har i likhet med tidligere år beskrevet opplevd robusthet i mobilnett gjennom ende-til-ende målinger. Robustheten har blitt beskrevet på flere nivåer og gjennom en rekke ulike metrikker. Nytt av året er at vi også inkluderer målinger av opplevd dekning og ytelse om bord på tog.

En hovedobservasjon i årets rapport er at den målte positive trenden i form av økt stabilitet som vi observerte i 2014 har fortsatt inn i 2015. Særlig viser målingene lavere pakketap og færre større hendelser som rammer mange forbindelser samtidig. Vi ser en kraftig økning i 4G-dekningen, noe som bidrar til den økte stabiliteten, siden 4G-forbindelser har lavere pakketap enn 3G-forbindelser. Mobildekningen om bord på tog er fremdeles mangelfull, og utenfor tettbygde strøk finnes det fremdeles mange strekninger helt uten mobildekning.

CRNA vil fortsette å vedlikeholde og videreutvikle sin infrastruktur for målinger i mobilnett. Det er vår ambisjon å utvide bruken av mobile målnoder. Særlig håper vi i framtiden å kunne måle effekten av de varslede signalforsterkerne som skal monteres på en del av NSBs intercitytog<sup>1</sup>.

Våre målinger omfatter kun datatrafikk i mobilnettene, og ikke andre tjenester som SMS og tradisjonell tale. 4G-nettene, som er rene datanett, er nå i ferd med å bli de klart dominerende mobilnettene i Norge. I disse produseres også tale som pakkesvitsjet datatrafikk, såkalt Voice over LTE. Mobiloperatørene er i full gang med å implementere denne teknologien. Det er vår ambisjon at vi i fremtiden også skal kunne måle stabilitet og kvalitet i VoLTE og VoWiFi.

---

<sup>1</sup>Nå skal pendlerne på nett, Inside Telecom 1. april 2016



## Bibliografi

- [1] E. G. Gran, T. Dreibholz, and A. Kvalbein, “NorNet Core - A Multi-Homed Research Testbed,” *Elsevier Computer Networks special issue on Future Internet Testbeds*, 2013.
- [2] A. Kvalbein, D. Baltrūnas, J. Xiang, K. R. Evensen, A. Elmokashfi, and S. Ferlin-Oliveira, “The Nornet Edge platform for mobile broadband measurements,” *Elsevier Computer Networks special issue on Future Internet Testbeds*, 2014.
- [3] A. Kvalbein, A. Elmokashfi, D. Baltrūnas, O. Lysne, and E. Arge, “Robusthet i norske mobilnett 2013,” tech. rep., Simula Research Laboratory, February 2014.
- [4] A. Elmokashfi, A. Kvalbein, D. Baltrūnas, and J. Werme, “Robusthet i norske mobilnett 2014,” tech. rep., Simula Research Laboratory, April 2015.
- [5] “Sårbarhetsanalyse av mobilnettene i norge,” Tech. Rep. 1, Post- og Teletilsynet, Januar 2012.
- [6] C. Karsberg and C. Skouloudi, “Annual incidents report 2014,” tech. rep., European Union Agency For Network And Information Security (ENISA), August 2015.
- [7] A. Kvalbein, M. Christiansson, T. Skjerstad, and H. W. Lie, “Bedre mobil-tjenester på tog,” tech. rep., Nexia Management Consulting, May 2015.

## Forklaring av forkortelser

**2G/GSM.** Global System for Mobile Communications (originalt Groupe Spécial Mobile) er andre generasjons mobilteknologi, spesifisert av European Telecommunications Standards Institute (ETSI). Første versjon av standarden ble publisert i 1991. Standarden for datatrafikk over 2G kalles General Packet Radio System (GPRS), og ble lansert i GSM Release 97.

**3G/UMTS.** Universal Mobile Telephony System er tredje generasjons mobilteknologi. UMTS bygger på GSM, og er bakoverkompatibel med denne. Standarden publiseres og vedlikeholdes av 3rd Generation Partnership Project (3GPP), og første versjon kom i 1999 (Release 99). Standarden støtter både linjesvitsjet tale og pakkesvitsjet datatrafikk.

**4G/LTE.** Long Term Evolution er fjerde generasjons mobilteknologi, og ble først introdusert av 3GPP i 2008 (Release 8). TeliaSonera lanserte verdens første kommersielle 4G-nett i desember 2009. LTE er et rent data-nettverk, og alle tjenester, inkludert tale, må produseres som pakkesvitsjet datatrafikk.

**CDMA.** CDMA2000 er en tredje generasjons standard for mobiltelefoni, som særlig ble benyttet i USA, Canada og Sørkorea. Standarden bygger på den tidligere CDMA One (IS-95), og publiseres av 3GPP2. Navnet er inspirert av Carrier Division Multiple Access (CDMA), som er medium aksess-protokollen som benyttes i standarden (en variant av denne benyttes også i UMTS). I Norge opererte Ice et nettverk basert på denne standarden inntil august 2015.

**RAN.** Radio Access Network er aksessdelen av et mobilnettverk, bestående av basestasjoner, transmisjonslinjer og komponenter for å kontrollere basestasjonene.

**UTRAN.** UMTS Terrestrial Radio Access Network er RAN-delen av et UMTS-nettverk.

**eUTRAN.** Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network er RAN-delen av et LTE-nettverk.

**RNC.** Radio Network Controller er enheter i et UTRAN som kontrollerer et antall basestasjoner i nettet, typisk innenfor en geografisk region. I LTE er RNC-funksjonaliteten flyttet ut i basestasjonene.

**GGSN.** Gateway GPRS Support Node er en hovedkomponent i et GPRS-nettverk, og finnes i både GSM og UMTS nettverk. En GGSN er vedlikeholder datasesjoner for alle enhetene som er koblet til mobilnettet, og forbinder disse med eksterne nett (som Internett).

**SGSN.** Serving GPRS Support Node er en annen sentral komponent i et GPRS-nettverk. Den er blant annet involvert i autentisering av brukere og mobilitetshåndtering.

**PGW.** Packet Data Network Gateway har tilsvarende rolle i et LTE-nettverk som GGSN i GPRS.

**PDP kontekst.** En Packet Data Protocol kontekst er en datastruktur som må være etablert i både GGSN og SGSN (samt i brukerterminalen) for at datatrafikk skal kunne sendes gjennom et GPRS-nett. Den kan også ses på som en tunnel som sender all IP-trafikk fra en brukerterminal til GGSN. Nettverket mellom brukerterminalen og GGSN er dermed ikke synlig på IP-nivå.

**EPS bærer.** En Evolved Packet System bærer har mye av den samme funksjonen i et LTE-nett som en PDP kontekst i et GPRS-nett. Denne må etableres mellom brukerterminalen og PGW før brukerdatabe kan sendes.

**HSDPA-DC.** Ulike versjoner av High Speed Packet Access (HSPA) har blitt definert i ulike generasjoner av 3G/UMTS-standarder. High Speed Downlink Packet Access - Dual Carrier er en av de nyeste versjonene av HSPA. Den ble introdusert i Release 8, og støtter nedlastingshastigheter opp til 42,2 Mbps.

**USB.** Universal Serial Bus er en standard for å koble sammen enheter som printere, kameraer, modemer etc. Nornet Edge målenoder er utstyrt med modemer som kobles til via USB.

**ARM.** Advanced RISC Machine er en prosessorarkitektur basert på Reduced Instruction Set Computing paradigmet (i motsetning til x86-arkitekturen som er dominerende i PC-verden). ARM-prosessorer dominerer markedet for mobiltelefoner og små integrerte datamaskiner, og brukes i Nornet Edge målenoder.

**RAM.** Random Access Memory er arbeidsminnet i en datamaskin.

**MB.** En megabyte er 1 million byte.

**GB.** En gigabyte er en milliard byte.

**Mbps.** Megabit per sekund er et mål på hvor raskt data overføres over en forbindelse.

**MTBF.** Mean Time Between Failures er den forventede tiden mellom to feil i et system. Den beregnes som tiden fra en feil rettes til starten på neste feil.

**MTTR.** Mean Time To Restore er den forventede varigheten av en feil i et system.

- CDF.** En Cumulative Distribution Function er en måte å representere den statistiske sannsynligheten for at et element trukket fra en sannsynlighetsfordeling er mindre enn en gitt versjon.
- M2M.** Maskin-til-maskin brukes ofte om kommunikasjon mellom endepunkter i et kommunikasjonsnett der det ikke er menneskelige brukere involvert. Eksempler kan være kommunikasjon mellom sensorer og et sentralt system, eller mellom Nornet Edge målenoder og vår måleserver.
- TCP.** Transmission Control Protocol er en transportlagsprotokoll i Internett. Protokollen kjører på to endesystemer, og regulerer blant annet hvor ofte og hvor mange datapakker en avsender kan sende til en mottaker.
- UDP.** User Datagram Protocol er en transportlagsprotokoll i Internett. Ulikt TCP gir den ingen garantier for at alle datapakkene som sendes kommer fram til mottaker.
- VoLTE.** Voice over LTE er en standard for hvordan telefoni (tale) kan produseres som en datastrøm over et LTE-nett.
- VoWiFi.** Når (mobil-)telefoni produseres som en datastrøm over et pakkesvitjet nettverk, kan aksessnettets like gjerne være et Wifi-nett som et LTE (eUTRAN) nett. Mobiltelefoni over WiFi tilbudt som en standard ringetjeneste kalles Voice over WiFi.





1. The first step is to identify the problem or goal.

2. The second step is to gather information and resources.

3. The third step is to analyze the information and resources.

4. The fourth step is to develop a plan or strategy.

5. The fifth step is to implement the plan or strategy.

[www.simula.no](http://www.simula.no)