



Norske mobilnett i 2017

CRNA Centre for Resilient
Networks & Applications

Simula Metropolitan Center for Digital Engineering

Norske mobilnett i 2017

Tilstandsrapport fra
Centre for Resilient Networks and Applications

Om denne rapporten	Denne rapporten er utarbeidet av Center for Resilient Networks and Applications (CRNA), som er en del av Simula Metropolitan Center for Digital Engineering. CRNA driver grunnleggende forskning innen robusthet og sikkerhet i nettverk med mandat og finansiering fra Samferdselsdepartementet. Senteret produserer en årlig rapport om tilstanden i norske mobilnett. Årets rapport er den fjerde i rekken.
Ansvarlig for årets rapport	Dr. Ahmed Elmokashfi (CRNA)
Bidragstere	Dr. Amund Kvalbein (Analysys Mason AS) Dr. Džiugas Baltrūnas (CRNA) Dr. Chad Jarvis (Simula)
Omslag	Image Communication
Publiseringsdato	02. mai 2018
ISBN	978-82-92593-22-6
Økonomiske bidragstere	Samferdselsdepartementet Norges Forskningsråd Telia Norge Ice Norge

Innhold

1	Sammendrag og hovedfunn	3
2	Måleinfrastrukturen - Nornet Edge	6
2.1	Mobilnettene vi måler	6
2.2	Nornet Edge målenoder	8
2.3	Server-side infrastruktur	9
3	Bakgrunn og metode	11
3.1	Mobile bredbåndsnett	11
3.2	Rammeverk for måling av robusthet	11
4	Stabilitet i tilkoblingen	14
4.1	Nedetid	15
4.2	Varighet av brudd i tilkobling	16
4.3	Dager med vesentlig nedetid	18
4.4	Utvikling over tid	18
5	Stabilitet i dataplanet	22
5.1	Tapsrate	22
5.2	Utvikling over tid	24
6	Stabilitet og hendelser over tid	26
6.1	Store hendelser	26
6.2	Stabilitet gjennom året	28
7	Stabil ytelse	33
7.1	Opplastings- og nedlastingshastighet	34
7.2	Lasting av websider	36
8	Mobiltjenester på tog	43
8.1	Mobildekning på tog	44
8.2	Mobildekning per banestrekning	45
8.3	Effekt av signalforsterkere på togsett	49

1. Sammendrag og hovedfunn

Norske forbrukere nyter godt av noen av de beste mobilnettene i verden. I følge Nkoms dekningsundersøkelse fra 2017 hadde 95 % av norske husstander innendørs 4G-dekning, og over 99 % hadde utendørs dekning. Den geografiske dekningen øker stadig hos alle operatører, og, Telenor oppgir å ha over 76 % 4G flatedekning per april 2018. I parallell med dekningsøkningen oppgraderes også mobilnettene med stadig ny teknologi, som gir høyere hastigheter. I følge speedtest.net har norske mobilnett de høyeste opplevde hastighetene i verden.

Samtidig øker samfunnets avhengighet av mobilnettene stadig. I 2017 bestemte Regjeringen at neste generasjon Nødnett skal realiseres i de kommersielle mobilnettene. Dette innebærer at kravene til sikkerhet, robusthet og stabilitet i mobilnettene vil øke ytterligere. Denne utviklingen gjør også at det blir stadig viktigere med kunnskap om tilstanden i mobilnettene. Kunnskap om brukeropplevde stabilitet og ytelse i mobilnettene er avgjørende for at nødetatene skal kunne basere sitt arbeid på denne plattformen.

Målet med denne rapporten er å gi et mer utfyllende bilde av tilstanden i norske mobilnett. Resultatene som presenteres er basert på aktive målinger fra stasjonære 168 målepunkter spredt over store deler av Norge gjennom hele 2017. Simula har siden 2013 utviklet og vedlikeholdt en unik plattform for målinger av mobilnett, og dette er den femte i rekken av rapporter basert på disse målingene. Gjennom denne rapportserien ønsker vi å bidra til kunnskap om utviklingen i mobilnettene over tid, og til å avdekke utfordringer og mangler i mobilnettene.

De siste årene har vi i tillegg til målinger fra stasjonære målenoder også gjort målinger om bord på tog. Ved hjelp av disse målingene har vi kunnet følge utviklingen i mobildekning langs jernbanen. I år har vi for første gang også målinger fra tog som har installert *signalforsterkere* om bord. Slike signalforsterkere har lenge vært en del av planen for å sikre bedre mobiltjenester til togreisende. I denne rapporten kan vi presentere de første resultatene som kvantifiserer effekten av dette utstyret. Disse målingene gir grunn til optimisme: signalforsterkere gir en vesentlig forbedring i den opplevde dekningen om bord på tog.

Årets rapport viderefører mange av målingene fra tidligere år. Vi ser på stabiliteten i tilkoblingen mellom målenoder og mobilnett, og utviklingen i pakketap. På et overordnet nivå fortsetter den positive trenden vi har sett de senere årene: norske mobilnett opplevde færre brudd og lavere pakketap i 2017 enn noe år tidligere. I årets rapport presenterer vi mer detaljerte data om stabilitet og pakketap for hver enkelt forbindelse gjennom året.

Vi fortsetter også målingene av ytelse som ble introdusert i fjorårets rapport, der vi blant annet ser på hvordan hastigheten i mobilnettene varierer gjennom døgnet. Disse resultatene tyder på at den sterke økningen i trafikkmengder gjør at mobilnettene i 2017 opererte nærmere grensen for sin kapasitet enn tidligere.

I år viser vi for første gang også mer detaljerte data om stabilitet, pakketap og ytelse for hver enkelt forbindelse. Disse resultatene gir innsikt i hvordan kvaliteten i mobilnettene varierer mellom ulike lokasjoner, men også over tid på en gitt lokasjon.

I det følgende oppsummerer vi noen av de viktigste observasjonene fra årets rapport.

Stabilitet i tilkoblingen

- Målenodenes tilkoblinger til mobilnettet var i sum noe mer stabile i 2017 enn tidligere år. Telias forbindelser har om lag samme nedetid som i 2016, mens Telenors forbindelser har redusert nedetiden noe fra i fjor. Dette betyr at Telenor har tatt igjen Telias forsprang fra 2016, og disse to operatørene har nå om lag like mye nedetid i våre målinger.
- Om lag 70 % av forbindelsene hos Telenor og Telia, og om lag 60 % hos Ice, har en opptid på over 99,99 %. Dette betyr at forbindelsen er utilgjengelig mindre enn 9 sekunder i døgnet i gjennomsnitt. Ice opplever noe hyppigere avbrudd enn de andre operatørene.
- De fleste brudd er av kort varighet. En full re-etablering av forbindelsen etter et brudd, inkludert autentisering, tar normalt 40-60 sekunder. Brudd av denne varigheten står for om lag 70 % av den totale observerte nedetiden i våre målinger.

Stabilitet i dataplanet

- Det observerte pakketapet var noe lavere i 2017 enn i 2016. Særlig ser vi en reduksjon i pakketap hos Telenor, som fortsatt er operatøren med den laveste tapsraten.
- Telia opplever en høyere tapsrate enn Telenor. Dette skyldes delvis at Teliaforbindelser oftere blir hengende på 3G til tross for eksisterende 4G-dekning, og dermed opplever høyere pakketap. I tillegg opplevde Telia flere problematiske perioder i fjerde kvartal som bidro til å trekke opp tapsraten.
- Vi observerte få større hendelser som berørte mange forbindelser samtidig i 2017. De hendelsene vi observerte, skyldtes feil i sentrale komponenter i mobilnettene.

Stabilitet i ytelse

- Våre hastighetsmålinger er ikke egnet til å beskrive den maksimale hastigheten som kan leveres av mobilnettene, fordi våre målenoder ikke støtter den nyeste teknologien for å slå sammen kapasitet fra flere frekvensbånd (LTE cat 9). Våre målinger kan likevel si noe om hvordan ytelse varierer over tid, og hvordan tilgjengelig hastighet påvirker brukeropplevelsen.
- Den målte hastigheten er noe høyere hos Telenor enn hos Telia, men forskjellen er begrenset. Samtidig ser vi noe høyere variasjon i de oppnådde hastighetene hos Telenor. Vi oppnår minst 20 Mbit/s nedstrøms og 15 Mbit/s oppstrøms hastighet i om lag halvparten av målingene hos både Telenor og Telia. Dette er omtrent samme nedstrøms hastighet som i fjor, mens oppstrøms hastighet har økt.

- Den oppnådde hastigheten varierte i større grad gjennom døgnet i 2017 enn i 2016. Vi observerer typisk 4-6 Mbit/s høyere hastigheter om natten når trafikkbelastningen er lavere. I 2016 var forskjellen på natt og dag mindre, om lag 1-2 Mbit/s. Dette tyder på at økningen i mobiltrafikk i noen grad stresser mobilnettene, og at de i 2017 opererte nærmere grensen for sin kapasitet enn de gjorde i 2016.
- Vi observerer en markant økning i tiden det tar å laste forsidene til **nrk.no** og **vg.no** over våre forbindelser. Dette skyldes at disse websidene har blitt større og mer komplekse i løpet av 2017. Relatert til dette observerer vi at en forbindelse med høyere kapasitet er nødvendig for å holde lastetiden nede.

Mobiltjenester på tog

- I årets rapport presenterer vi for første gang målinger fra tog som har signalforsterkere montert om bord. Slike signalforsterkere skal motvirke dempning av mobilsignaler i togkarosseriet, og gi samme opplevde dekning inne i toget som langs sporet. Våre målinger tyder på at slike signalforsterkere har en vesentlig positiv effekt på den opplevde dekningen. For strekningen Oslo-Roa-Hønefoss øker den opplevde 4G-dekningen på tog med signalforsterkere fra 84 % til 96 % for Telenor og fra 64 % til 100 % for Telia.
- Vi observerer en videre økning i 4G-dekningen fra 2016 til 2017 om bord på togene langs de strekningene vi måler. Vi observerer en typisk 4G-dekning på 70-90 % langs jernbanen for Telenor. Den målte 4G-dekningen for Telia er noe lavere, men dette skyldes trolig i noen grad mangelen på sømløs overgang fra 3G til 4G i Telias nett. Denne mangelen gjør at våre målenoder ikke er koblet til 4G-nettet alle steder dette er tilgjengelig.

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 Forskningsråd¹. Infrastrukturen består av om lag 100 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.

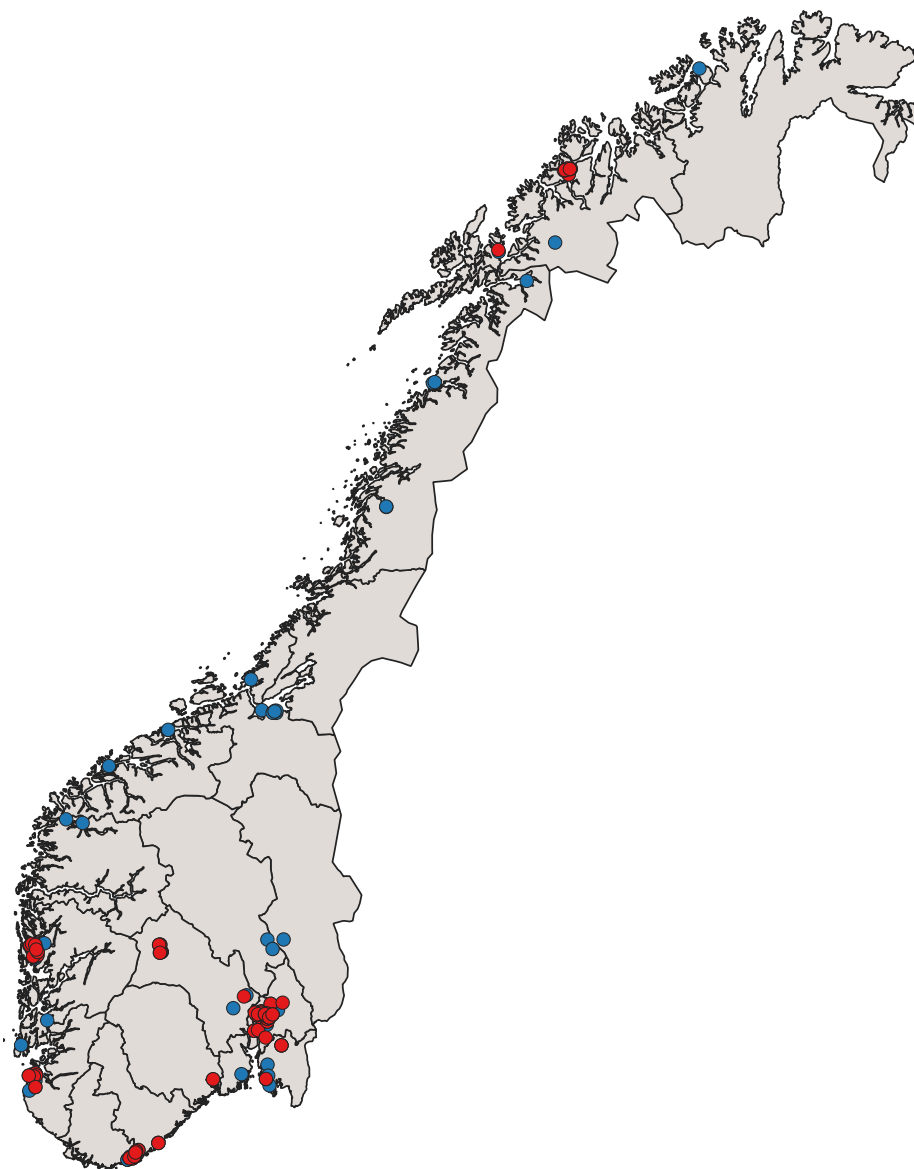
Centre for Resilient Networks and Applications (CRNA) samarbeider med lokale partnere over hele landet som fungerer som vertskap for målenoder. Figur 2.1 gir et inntrykk av den geografiske fordelingen av målenoder. På grunn av et tidligere samarbeid med e-valgprosjektet i Kommunal- og Moderniseringsdepartementet, 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, musikkorps og andre foreninger 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.

Antallet målenoder har variert gjennom måleperioden, som vist i figur 2.2. Vi har stasjonære målenoder i alle landsdeler. Resultatene i denne rapporten er basert på målinger fra totalt 275 forbindelser fordelt på 168 stasjonære målenoder. I tillegg har vi målinger fra 15 målenoder plassert på tog.

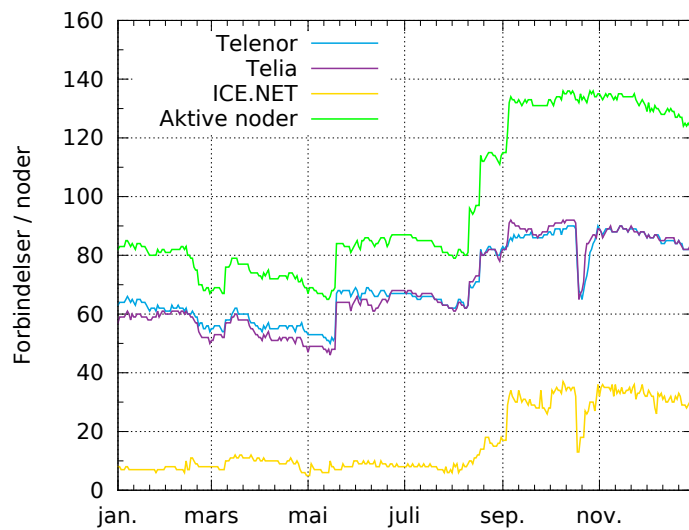
2.1 Mobilnettene vi måler

Vi gjør målinger i flere kommersielle mobilnett i Norge som har eget radionett, det vil si Telenor, Telia og Ice. Telenor og Telia opererer hvert sitt landsdekkende mobilnett. Disse operatørene har sitt eget kjernenett og sitt eget radioaksessnett, og forbindelser i disse nettene er aldri avhengige av komponenter i andre mobilnett. Ice opererer det tredje norske mobilnettet, og gjennomførte i 2015 et teknologiskifte i sitt nett i 2015, fra CDMA til LTE. Dette nettet er et rent 4G (LTE) nett, i motsetning til Telenor og Telias nett som også støtter 2G (GSM) og 3G (UMTS). Flatedekningen i LTE-nettet til Ice sikres av deres fre-

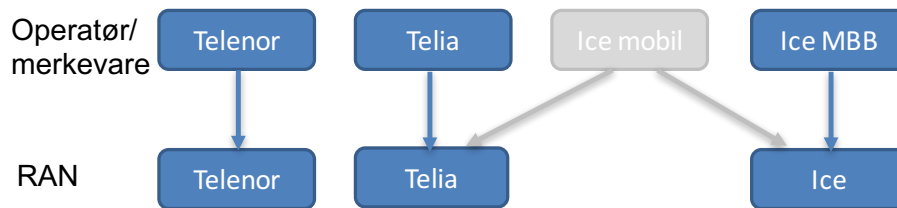
¹Nornet består i tillegg til Nornet Edge av Nornet Core, som brukes til målinger og eksperimenter i fastnett.



Figur 2.1: Geografisk fordeling av målenoder. Målenoder av ny type i rødt.



Figur 2.2: Antall aktive målenoder og forbindelser fra hver operatør gjennom 2017.



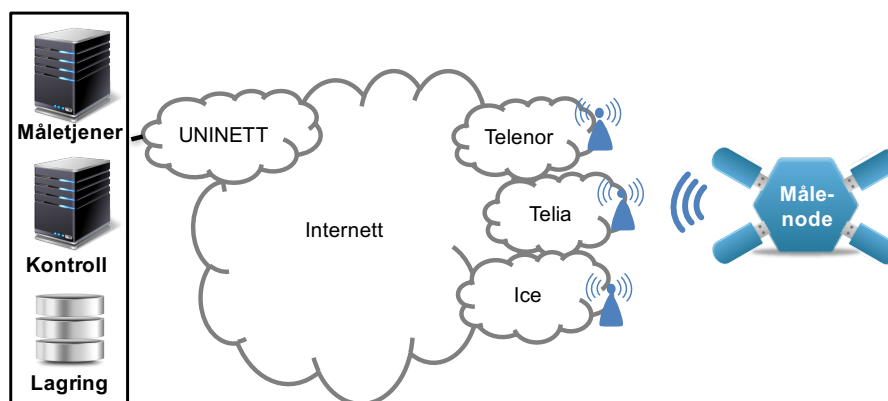
Figur 2.3: Operatører og nettverk behandlet i denne rapporten. Vi rapporterer ikke resultater for Ice mobil i årets undersøkelse.

kvensressurser rundt 450 MHz. I tillegg benytter Ice frekvensressurser i høyere LTE-bånd for å sikre kapasitet i sentrale områder. Ice-forbindelsene vi måler er rene dataabonnement (mobilt bredbånd), og benytter frekvenser i 450 MHz og 800 MHz-båndene. Ice mobil har også mulighet for telefoni. Disse kan ikke benytte 450 MHz-frekvensene, og benytter Telias nett dersom de er utenfor områder som Ice dekker med andre frekvenser. Vi måler ikke Ice mobil i denne rapporten.

Figur 2.3 viser sammenhengen mellom operatør/merkevare og hvilket radioaksessnett (RAN) operatøren bruker.

2.2 Nornet Edge målenoder

Første generasjon 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



Figur 2.4: Nornet Edge måleinfrastrukturen.

på et minnekort. Den første generasjonen målenoder har vært operativ siden tidlig i 2013. Disse nodene bruker Huawei E392 USB-modemer for å koble seg til de ulike mobilnettene. Dette modemet støtter LTE Cat 4.

Det har vært en rask utvikling i både mobilnett og tilgjengelig maskinvare siden 2013. Første generasjon målenoder har begrenset prosesseringskapasitet, som gjør at de ikke er i stand til å håndtere de hastighetene som mobilnettene nå kan tilby. I slutten av 2016 startet vi derfor utrulling av neste generasjon målenoder, og gjennom 2017 har de nye målenodene gradvis tatt over for de gamle. 109 av de nye nodene er nå operative. Den nye generasjonen målenoder er basert på hyllewarekomponenter, og bruker interne PCI express modemer for å koble seg til mobilnettene. Målenodene har også en GSM-tilkobling som gjør at strømtilførselen kan kuttes via SMS, noe som vesentlig øker driftsstabiliteten til nodene. I likhet med første generasjon målenoder kjører de et standard Debian Linux operativsystem, og er derfor svært fleksible med tanke på hva slags målinger som kan støttes.

Teknisk er de nye målenodene basert på et integrert APU2-kort fra PC Engines. Kortet har en firekjerners AMD G series prosessor, 4 GB RAM og 2 miniPCI express porter. I disse sitter det AirPrime MC7455 modemer fra Sierra Wireless, som støtter LTE Cat 6, også kjent som LTE Advanced. Merk at disse modemene ikke støtter LTE Cat 9, noe som betyr at vi ikke kan måle den maksimale hastigheten kan mobilnettene tilby ved å slå sammen tre ulike frekvensbånd. For Ice benytter vi WeTelecom WDP-600N LTE modemer, siden disse også støtter frekvenser i 450 MHz-båndet.

2.3 Server-side infrastruktur

Målenodene utfører målinger ved å sende trafikk til Simulas måleservere i Oslo, 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 ser-

ver, hvor de prosesseres og legges inn i en database. 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.

3. Bakgrunn og metode

Denne rapporten undersøker den brukeropplevde robustheten og stabiliteten til norske mobilnett. Vi ser på stabilitet i tilkoblingen mellom brukerterminalen og mobilnettet, og på stabiliteten i dataforbindelsen over denne tilkoblingen. I tillegg ser vi på stabiliteten i ytelsen en bruker oppnår i mobilnettet. Vi måler den opplevde nedlastings- og opplastingshastigheten, og vi undersøker hvilken rolle denne hastigheten har for å oppnå en god brukeropplevelse.

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.

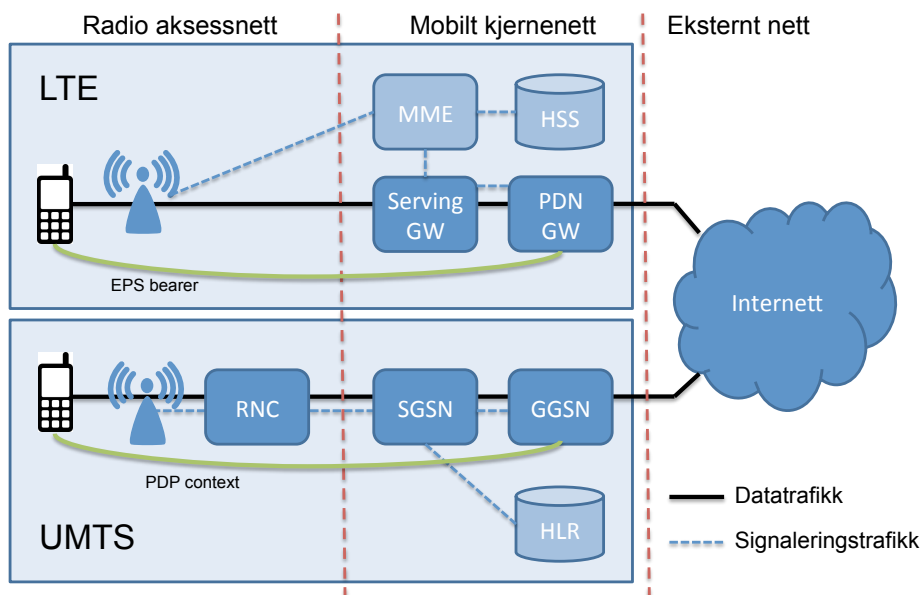
3.1 Mobile bredbåndsnett

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 aksess-nettverk, 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.

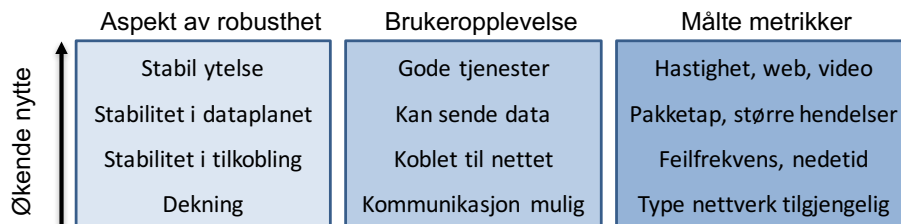
Kjernenettet inkluderer et antall sentrale funksjoner. 4G-nettverk er rene datanettverk, og inkluderer ikke komponenter nødvendig for å produsere linjesvitsjet tale. Slike komponenter er en del av 3G-kjernenettet, men er ikke vist i figuren. Den viktigste delen av kjernenettet for vår diskusjon er komponenten 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.

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 nødvendig for en stabil ende-til-ende kommunikasjon, som igjen er nødvendig



Figur 3.1: Hovedkomponentene i 3G (UMTS) og 4G (LTE) nettverk.



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

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 mobilnettet i dette området. Vi rapporterer 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 først og fremst 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. Dekningsmålingene langs jernbanen er mer omfattende i år enn tidligere år, og inneholder også målinger av effekten av signalforsterkere på togene.

Stabilitet i tilkoblingen. En stabil nettverkstilkobling er grunnlaget for en god brukeropplevelse. Med tilkobling mener vi i denne sammenhengen at det er etablert en EPS bærer (eller PDP kontekst) i PGW (eller GGSN) 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 årets rapport måler vi hvilken opplastings- og nedlastingshastighet vi oppnår fra våre målenoder. I tillegg måler vi hvor lang tid det tar å laste to populære norske websider, nemlig `nrk.no` og `vg.no`. Vi knytter den målte lastetiden resultatene opp mot den målte tilgjengelige hastigheten. På den måten kan vi si noe om sammenhengen mellom hastighet og brukeropplevelse.

4. Stabilitet i tilkoblingen

I dette kapitlet undersøker vi stabiliteten til tilkoblingen mellom våre målenoder og mobilnettet. Målenodene forsøker å opprettholde tilkoblingen til de ulike mobilnettene til en hver tid, og tilkoblingen brytes aldri aktivt fra målenodens side¹. 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. Resultatene skiller ikke mellom ulike teknologier som 2G, 3G og 4G. Hver forbindelse vil til en hver tid velge den beste tilgjengelige teknologien, som forklart i kapittel 3.

Brudd på tilkoblingen kan skyldes ulike forhold, knyttet til brukerterminalen, radioforbindelsen mellom brukerterminal og basestasjon, selve basestasjonen, transmisjon mellom basestasjon og kjernenett, eller feil i ulike deler av kjernenettet. Ulike typer feil vil ofte ha ulike signaturer i målingene. For eksempel kan antall samtidige brudd, lokasjonen til målenodene som opplever brudd, varighet av brudd og så videre fortelle mye om rotårsaken til bruddet. Vi bruker denne informasjonen i vår analyse av utfall i de ulike mobilnettene.

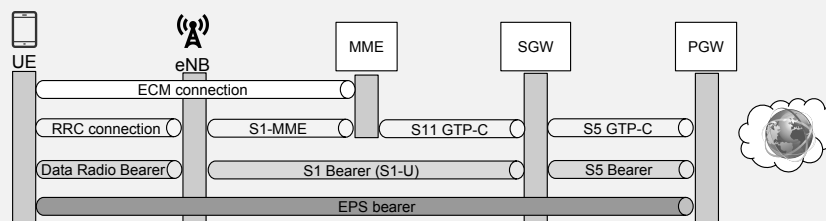
Basert på overvåkningen av tilkoblingen genererer vi en tidsserie av *ned* og *opp* hendelser for hver målte forbindelse, hvor tilkoblingen blir henholdsvis brutt og gjenopprettet. Basert på disse tidsseriene undersøker vi ulike forhold knyttet til stabiliteten i tilkoblingen. Vi ser på total nedetid for hver forbindelse, hvor lenge et avbrudd i tilkoblingen varer, samt hvor ofte en forbindelse opplever et vesentlig avbrudd i tilkoblingen. Vi viser som tidligere år resultater for Telenor og Telia. I år viser vi også for første gang resultater for Ice.

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

Tilkobling i 4G-nettverk

Mobilnett har en sentralisert arkitektur. All trafikk som utveksles må innom sentrale rutere i det mobile kjernenettet før den kan sendes videre til en tjener på internett eller til en telefon på nabokontoret. Den logiske tilkoblingen mellom brukerterminal og kjernenett i et 4G-nettverk kalles en Evolved Packet System (EPS) bærer. En EPS bærer inneholder informasjon om IP-adressen til brukerterminalen, hvilken tjenestekvalitet tilkoblingen skal ha og hvilket datanett tilkoblingen hører til, definert ved et Access Point Name (APN). En EPS bærer må alltid være på plass før trafikk kan sendes over mobilnett. En brukerterminal kan ha flere samtidige EPS bærere til ulike APN og med ulike tjenestekvalitetsklasser. For eksempel krever tale over LTE at det opprettes en egen EPS bærer til et APN kalt IMS.

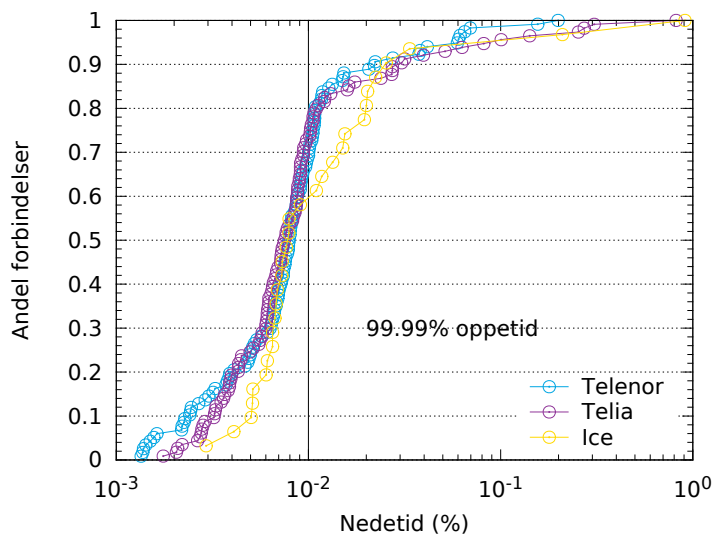
I 3G-nettverk finnes ikke begrepet EPS bærer, men i stedet en Packet Data Protocol (PDP) kontekst. Hovedforskjellen på en EPS bærer og en PDP kontekst er at en EPS bærer krever mindre signalering for å etableres. Mens en EPS bærer alltid må være til stede så lenge en brukerterminal er knyttet til mobilnett, kan en PDP kontekst tas ned når det ikke sendes datatrafikk.



En EPS bærer realiseres over en serie med tunneller mellom brukerterminalen og en komponent i kjernenettet som kalles en Packet Gateway (PGW), som vist i figuren over. Disse tunnelene sørger blant annet for at tilkoblingen beholdes selv om brukerterminalen flytter seg fra et område til et annet. Vi måler stabiliteten i tilkoblingen ved å registrere hvor ofte og hvor lenge EPS bæreren er utilgjengelig. Som figuren illustrerer, er det flere forhold som kan føre til at EPS-bæreren blir utilgjengelig. Dette kan være forhold knyttet til radiogrensesnittet, handover mellom celler eller teknologier (3G/4G), feil i transmisjon mellom basestasjon og kjernenett, eller feil i komponenter i kjernenettet. Mens feil ytterst i aksessnettet oftest berører et lite antall forbindelser, kan feil i kjernenettet ta ned EPS bæreren for et stort antall forbindelser samtidig.

4.1 Nedetid

Nedetid er beregnet som den totale andelen av måleperioden en tilkobling var utilgjengelig. Figur 4.1 viser fordelingen av nedetid over alle forbindelser for hver operatør. Nedetiden er angitt som en såkalt kumulativ distribusjon. Kumulative



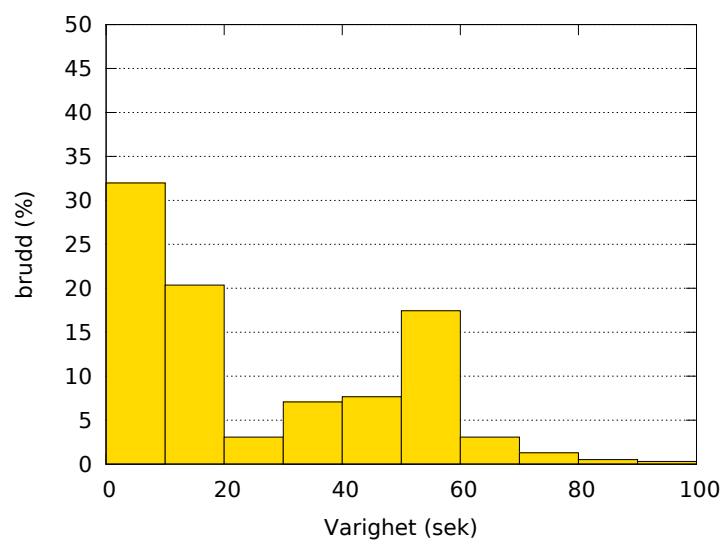
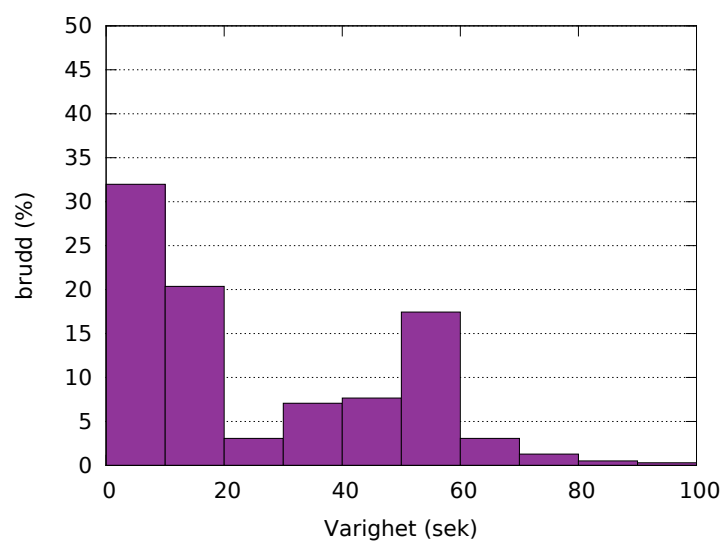
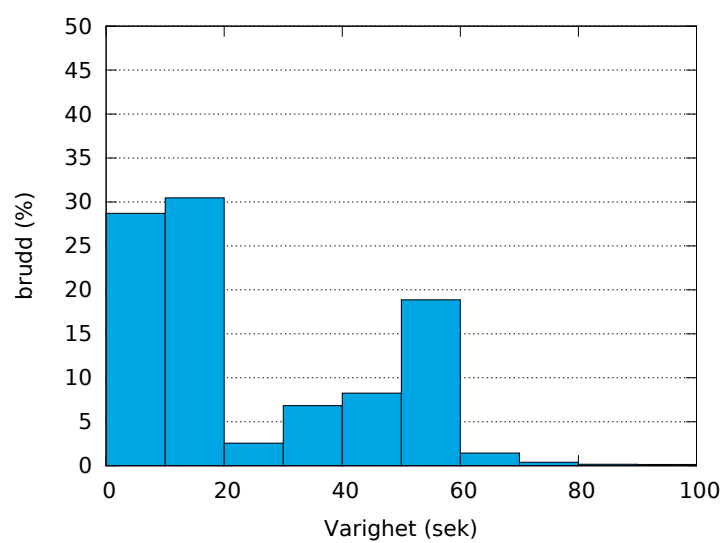
Figur 4.1: Fordeling av nedetid over forbindelser for hver operatør.

distribusjoner beskriver hvor stor andel av de målte verdiene (på y-aksen) som er mindre enn en gitt verdi (på x-aksen). Populært forklart er det bra å ligge *oppe til venstre* i figuren, altså at grafen stiger så bratt som mulig i området med lav nedetid.

En overordnet observasjon er at stabiliteten i tilkoblingen er god for alle operatører, og noe bedre for Telenor og Telia enn for Ice. Om lag 60 % av Ice-forbindelsene har en oppetid på minst 99,99 %, noe som betyr at disse forbindelsene er utilgjengelige mindre enn ni sekunder i døgnet i gjennomsnitt. For Telenor og Telia er tilsvarende tall om lag 70 %. Ice opplever noe hyppigere brudd i tilkoblingen enn Telenor og Telia, men disse varer til gjengjeld noe kortere i gjennomsnitt. Få forbindelser opplever vesentlig nedetid. Kun to av våre målte forbindelser, en fra Telia og en fra Ice, opplevde en gjennomsnittlig nedetid på mer enn 10 minutter per dag i 2017.

4.2 Varighet av brudd i tilkobling

Figur 4.2 viser fordelingen av varigheten for brudd i tilkoblingen over alle forbindelser for hver operatør. Bruddene fordeler seg stort sett i to kategorier, som er om lag like store hos alle tre operatører. Den første kategorien (50-60 % av bruddene) er brudd av kort varighet, mellom 0 og 20 sekunder. Den andre kategorien (30-35 % av bruddene) er brudd av noe lenger varighet, typisk fra 30 til 60 sekunder. Ved nærmere inspeksjon av datagrunnlaget ser vi at bruddene i den andre kategorien innebærer en full tilkoblingsprosedyre mellom målenoden og nettverket, inkludert SIM-autentisering med PIN-kode og etablering av forbindelsen. Denne prosedyren tar opp mot ett minutt. Det er vanskelig å se noe mønster i hva som utløser brudd som krever slik re-autentisering. I en del tilfeller ser det ut til å ha sammenheng med høy trafikk over forbindelsen. Vi observerer bruddene for forskjellige typer målenoder, som bruker ulike systemer



Figur 4.2: Varighet på brudd i tilkoblingen. Telenor (øverst), Telia (i midten) og Ice (nederst).

for forbindelseshåndtering. En mulig årsak til slike brudd er feil i samspillet mellom LTE-modemet og mobilnettet. Våre målenoder bruker en type Qualcomm LTE-modemer som også benyttes i mange populære mobiltelefoner.

4.3 Dager med vesentlig nedetid

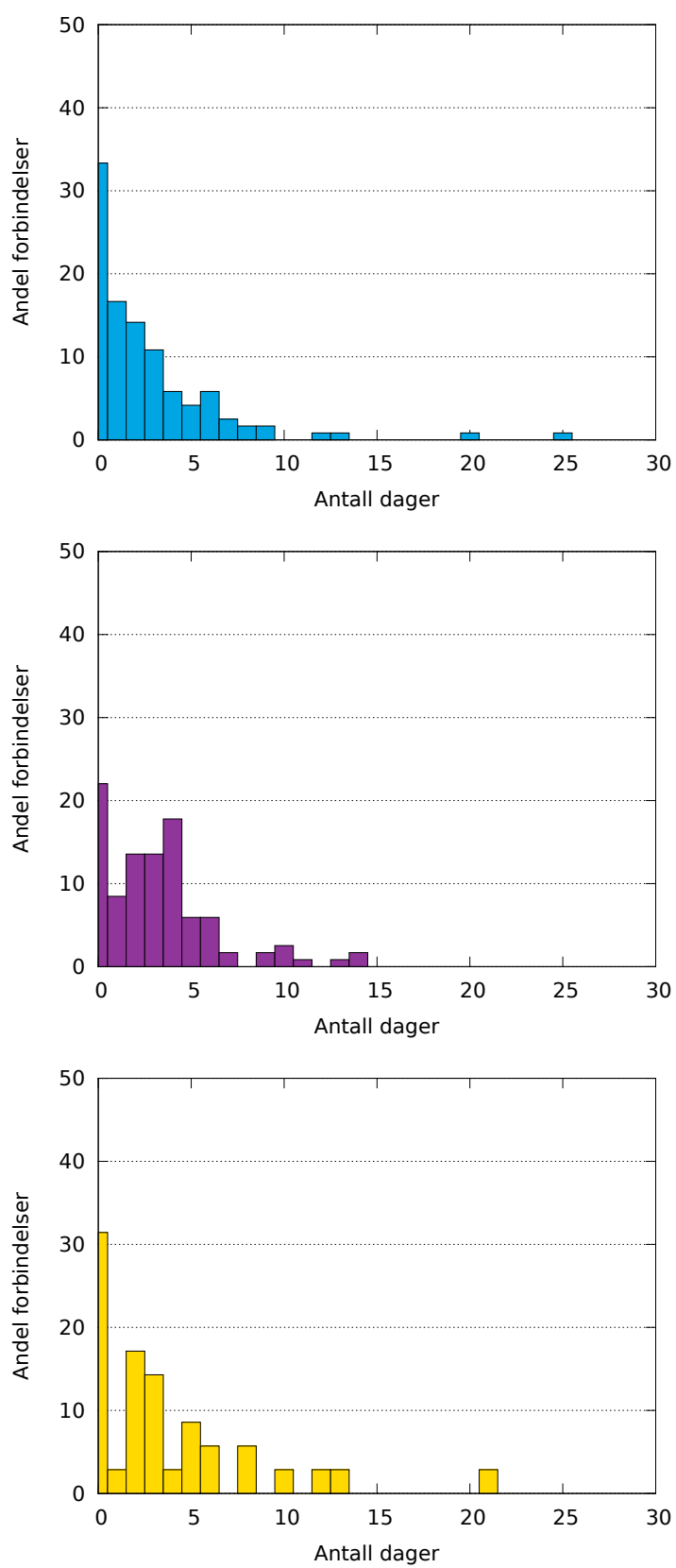
Figur 4.3 viser antall dager forbindelsene hos hver operatør opplever vesentlig nedetid, her definert som minst ett minutt nedetid totalt i løpet av døgnet. De fleste forbindelsene hos alle operatører opplever få slike dager. Henholdsvis 33 %, 22 % og 31 % av forbindelsene hos Telenor, Telia og Ice opplevde ingen dager i 2017 med over ett minutt nedetid. 15 % (Telenor), 15 % (Telia) og 23 % (Ice) av forbindelsene hadde mer enn 5 dager med vesentlig nedetid. Kun tre forbindelser, to fra Telenor og en fra Ice, opplevde vesentlig nedetid mer enn 15 dager i 2017.

4.4 Utvikling over tid

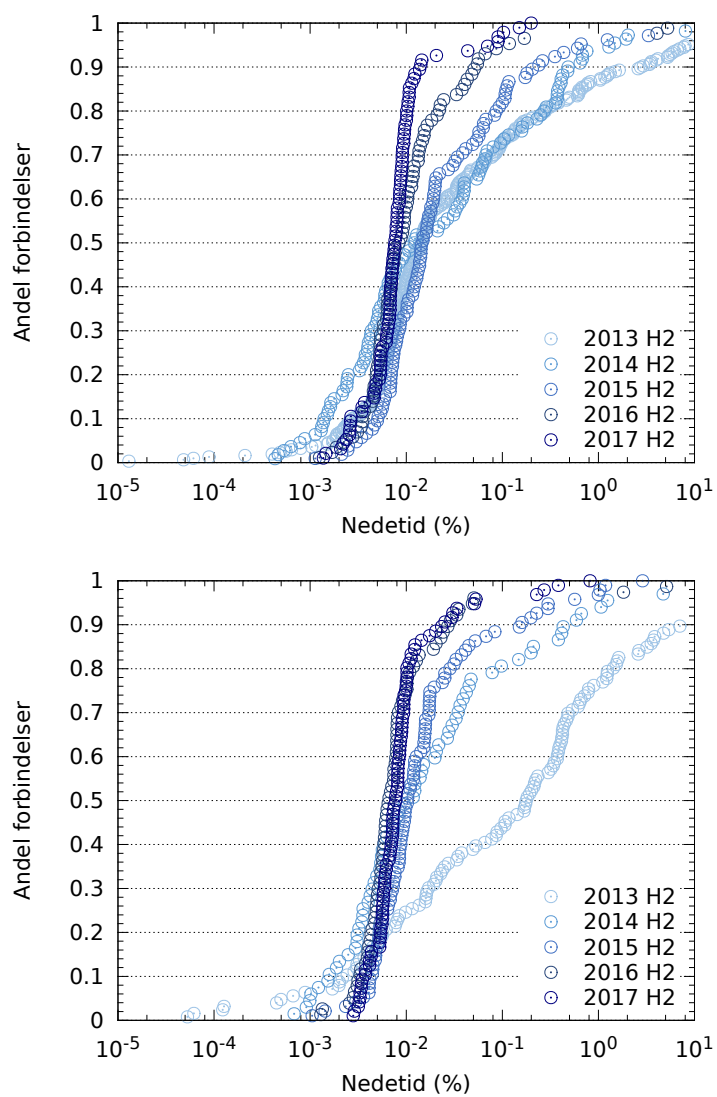
Vi observerer en fortsatt bedring i stabiliteten i tilkoblinger i 2017. Det har vært få større hendelser (se kapittel 6), og færre feil i konfigurasjoner som har slått negativt ut for enkeltoperatører. De første årene vi foretok disse målingene observerte vi flere enkeltstående hendelser som ga vesentlig nedetid hos minst en operatør. I 2015, 2016 og 2017 har vi ikke observert slike hendelser av vesentlig omfang. Det er naturlig å se denne utviklingen i sammenheng med utrulling av 4G.

Figur 4.4 viser utviklingen i nedetid fra 2013 til 2017 for Telenor og Telia. Figuren er basert på måledata fra andre halvår hvert år. Grafene kan sammenlignes med Figur 4.1. Figuren viser hvordan grafen 'reiser seg' og beveger seg mot venstre etter hvert som tiden går, noe som betyr at en større andel av forbindelsene får en mindre nedetid. Det siste året er det særlig Telenor som har hatt en reduksjon i nedetid, og har dermed tatt igjen forspranget i stabilitet som Telia hadde i 2016.

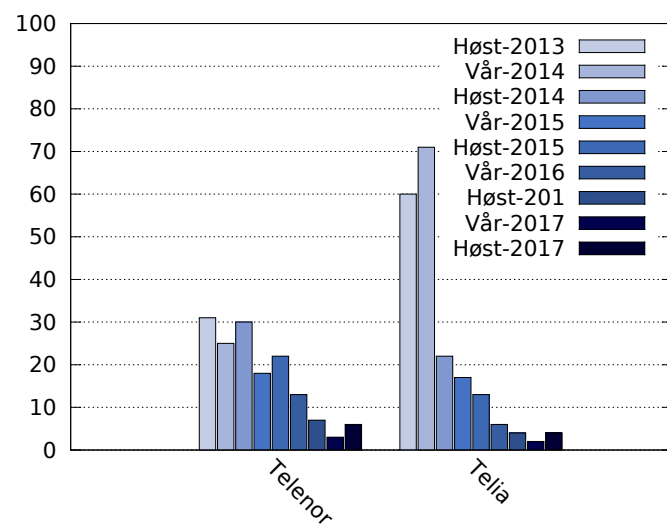
I sum observerer vi at reduksjonen i nedetid fra tidligere år fortsetter også i 2017, som vist i figur 4.5. For Telenor og Telia var andelen forbindelser med mer enn 1 minutt nedetid per dag henholdsvis 4 % og 3 % i 2017. Denne andelen var noe høyere i andre halvdel av året.



Figur 4.3: Antall dager med nedetid over ett minutt. Telenor (øverst), Telia (i midten) og Ice (nederst).



Figur 4.4: Utvikling i nedetid hos Telenor (topp) og Telia (bunn) fra 2013 til 2017.



Figur 4.5: Andel forbindelser med gjennomsnittlig nedetid > 1 minutt per dag.

5. Stabilitet i dataplanet

I dette kapitlet ser vi på mobilnettenes 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. Basert på disse målingene analyserer vi *tapsraten*, altså hvor stort pakketap vi opplever for hver forbindelse. Mens forrige kapittel diskuterte stabiliteten og tilgjengeligheten til forbindelsens tilkobling til nettet, sier denne analysen noe om kvaliteten på forbindelsene i den tiden de er tilkoblet.

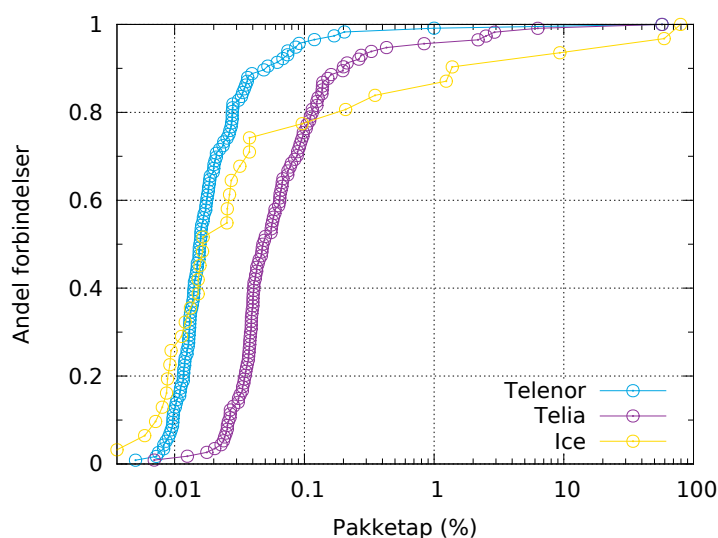
Måletrafikken vi baserer vår analyse på består av små (20 Byte) UDP-pakker som sendes til en sentral server hvert sekund. Serveren sender den samme pakken tilbake umiddelbart. For hver pakke registrerer vi hvor lang tid det tar før svarpakken kommer tilbake. Dersom ingen svarpakke kommer i retur innen 60 sekunder, anser vi pakken som tapt. Denne typen målinger kjører kontinuerlig på alle forbindelser så lenge de er koblet til nettet. Lengden på måleperioden for hver forbindelse varierer, siden ikke alle målenodene har vært aktive hele året. I denne analysen har vi sett bort fra forbindelser hvor vi har mindre enn 7 døgn med målinger.

5.1 Tapsrate

Figur 5.1 viser den totale tapsraten hos Telenor, Telia og Ice. Tapsraten er definert for hver forbindelse som (tapte pakker)/(sendte pakker) over hele måleperioden. Hvert punkt på kurvene tilsvarer en forbindelse. Grafen er en kumulativ distribusjonsfunksjon, og viser andelen forbindelser (på y-aksen) som har et pakketap mindre enn x %. Enkelt forklart er pakketapet for en operatør lavere jo lenger til venstre i figuren kurven ligger. Dersom en forbindelse har høyt pakketap, kan det enten skyldes at pakketapet har vært jevnt høyt gjennom hele året, eller at pakketapet var høyere enn normalt i bare deler av perioden.

Pakketap er beskjedent i det store flertallet av forbindelser. Telenor har som i fjor det laveste pakketapet. Pakketapet hos Telenor er redusert betydelig siden i fjor, fra allerede lave nivåer. 95 % av Telenors forbindelser har et pakketap på under 0,1 %. Telia har også noe lavere pakketap enn i fjor, men har som i fjor høyere pakketap enn Telenor. Om lag 75 % av forbindelsene har et pakketap under 0,1 %. Vi diskuterer årsakene til denne forskjellen under. Ice-forbindelser har noe større variasjon i pakketap enn forbindelser fra Telenor og Telia. En del forbindelser har svært lavt pakketap, mens om lag 25 % har pakketap over 0,1 %.

Tabell 5.1 oppsummerer noen observasjoner om pakketapet hos hver operatør. For flere operatører finnes det noen få forbindelser med unormalt høy tapsrate. Disse vil trekke opp gjennomsnittlig tapsrate, som dermed ikke er re-



Figur 5.1: Pakketap

Operatør	10 persentil	Median	90 persentil	Gjennomsnitt
Telenor	0,01%	0,02%	0,05%	0,03%
Telia	0,03%	0,05%	0,20%	0,14%
Ice	0,01%	0,02%	1,40%	0,44%

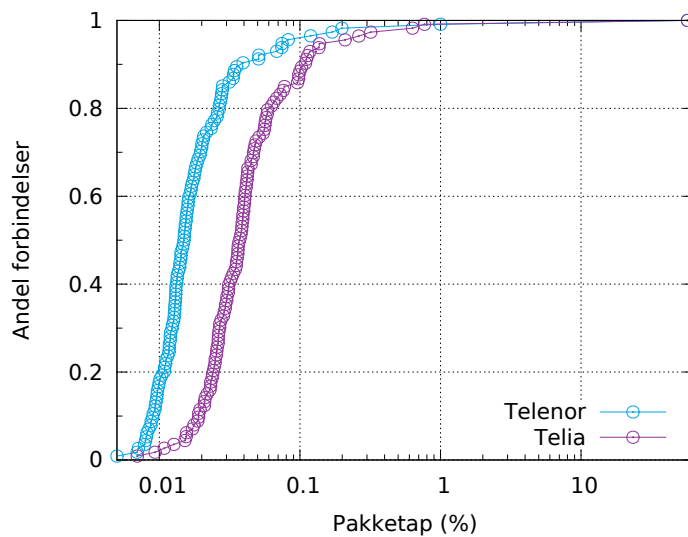
Tabell 5.1: Pakketap

representativt for en typisk forbindelse. I stedet vil medianen ofte gi et bedre bilde av pakketapet for en operatør. Medianen (50 persentilen) tilsvarer tapsraten til den midterste forbindelsen når alle forbindelsene til en operatør sorteres etter tapsrate.

Som diskutert i tidligere års rapporter er pakketapet vesentlig lavere i 4G enn i 3G. Mens pakketapet tidligere var høyest hos Telenor, så vi i fjor for første gang lavere pakketap hos Telenor enn hos Telia. Forklaringen på dette var at Telenors forbindelser i større grad holdt seg stabilt på 4G, mens Telias forbindelser tidvis vekslet mellom 4G og 3G. Telia implementerte ikke såkalt sømløs handover fra 3G til 4G, og forbindelsene ble dermed hengende igjen på 3G så lenge målenoden sendte trafikk, selv om 4G var tilgjengelig. I år ser vi om lag den samme forskjellen i pakketap mellom Telenor og Telia, men årsaken til denne forskjellen virker å være noe mer sammensatt enn i fjor.

I fjor kunne forskjellen i pakketap mellom Telia og Telenor fullt ut forklares av mangelen på sømløs handover, og dersom vi kun sammenlignet 4G-forbindelser forsvant forskjellene i pakketap. Figur 5.2 viser pakketap i 2017 hos Telenor og Telia, men kun for 4G. Vi ser at Telenor fortsatt har lavere pakketap enn Telia, selv nå vi bare ser på 4G-forbindelser. Sammenligner vi med 5.1 ser vi imidlertid at forskjellen har blitt mindre. Om lag 88 % av Telias forbindelser har et pakketap mindre enn 0,1 % når vi kun ser på 4G-forbindelser.

Ved nærmere inspeksjon ser vi at pakketapet varierer gjennom året, som vist

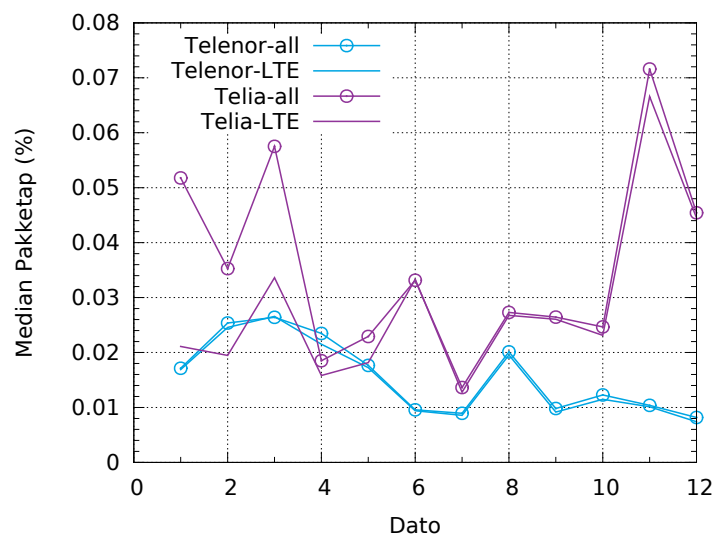


Figur 5.2: Pakketap, kun 4G-forbindelser

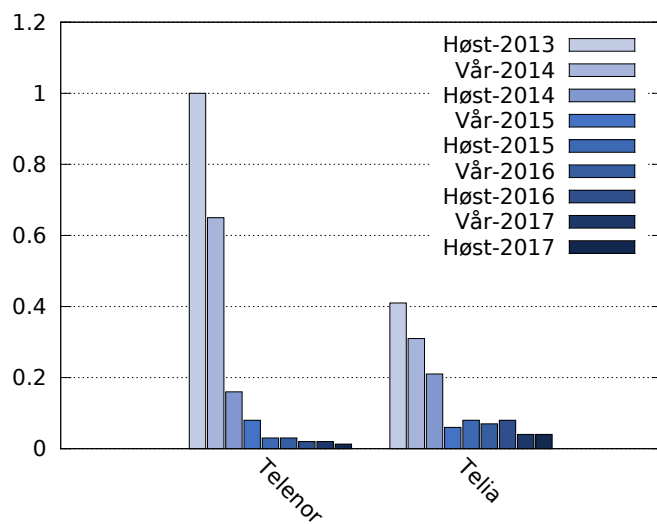
i 5.3. Figuren viser median pakketap for 3G- og 4G-forbindelser hos Telenor og Telia. Vi observerer pakketapet hos Telia ble trukket opp av 3G-forbindelsene de tre første månedene i 2017. Etter dette var pakketapet relativt lite påvirket av 3G-forbindelsene. Vi observerer også at Telia hadde vesentlig høyere pakketap enn Telenor i andre halvår, og særlig i siste kvartal. Dette hadde delvis sammenheng med en del hendelser i Telias nett, som nærmere diskutert i kapittel 6.

5.2 Utvikling over tid

Figur 5.4 viser median pakketap i hvert halvår vi har målinger for, for Telenor og Telia. De første årene vi gjorde målinger, så vi betydelig pakketap. Særlig i 2013 og 2014 var pakketapet høyt. Som omtalt i tidligere rapporter, slet operatørene tidligere med konfigurasjoner på RNC-nivå i 3G-nettene som ga unormalt høyt pakketap. Etter at disse problemene ble rettet, så vi en klar nedgang i tapsraten i 2014. Nedgangen fortsatte i 2015. Som diskutert over, så vi i 2016 en ytterligere reduksjon hos Telenor, drevet av overgangen til 4G. I 2017 fortsetter nedgangen, særlig for Telenor.



Figur 5.3: Median pakketap per måned



Figur 5.4: Utvikling i median tapsrate

6. Stabilitet og hendelser over tid

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. I år viser vi også mer detaljerte data for utviklingen i stabilitet og pakketap gjennom året for den enkelte forbindelse. Disse resultatene illustrerer hvordan nedetid og pakketap varierer mellom forbindelser, og over tid for den enkelte forbindelse.

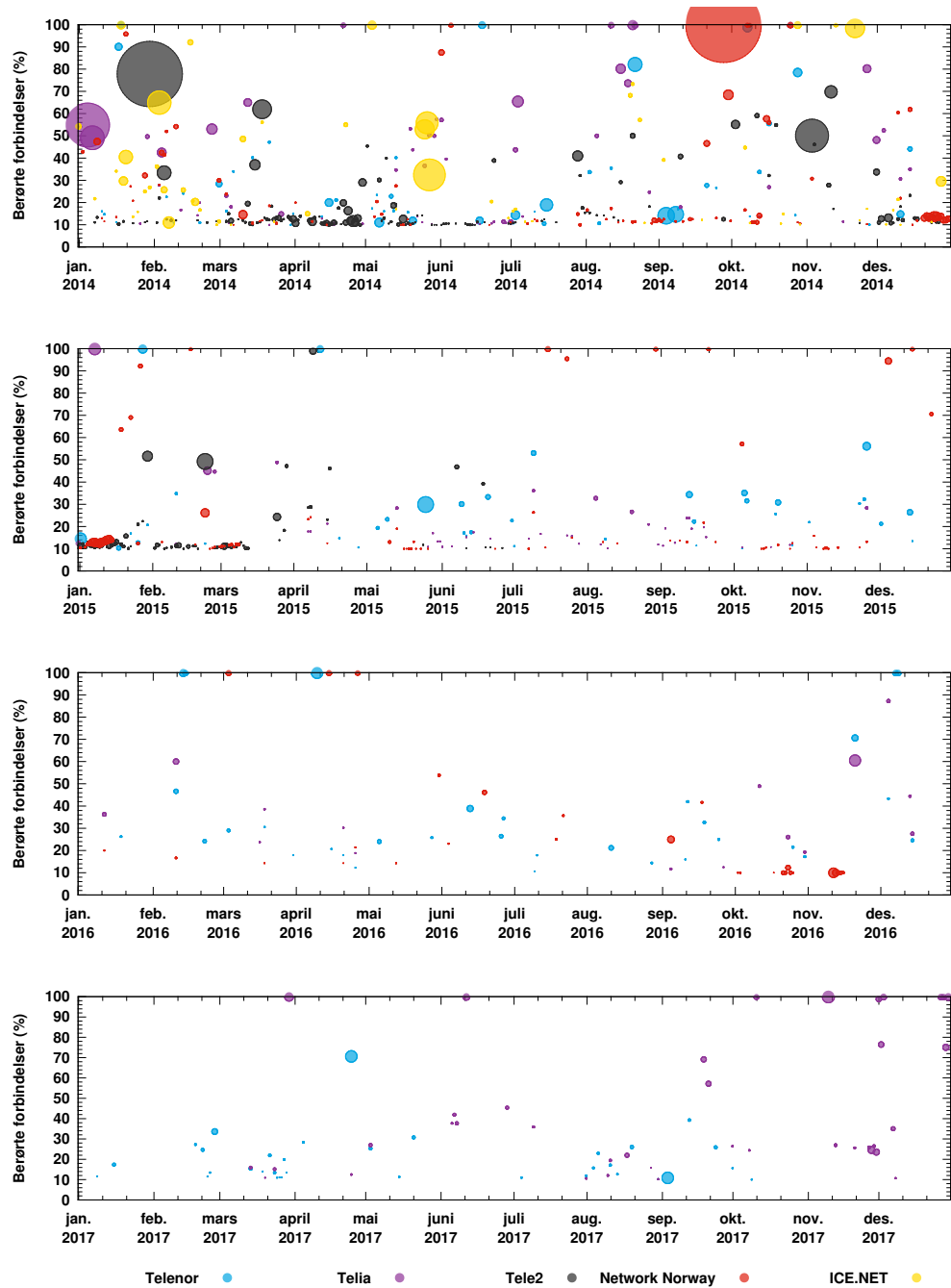
6.1 Store hendelser

For å identifisere større hendelser deler vi våre måleserier inn i 5 minutters intervaller, og beregner pakketapet for hver forbindelse i hvert intervall. Dersom tilkoblingen er brutt (som diskutert i kapittel 4), regner vi pakketapet som 100 % så lenge bruddet varer. 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 fra 2014 til 2017. 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 figuren¹.

Hovedinntrykket fra 2017 er at antallet og omfanget av større hendelser er relativt lavt. Omfanget av større hendelser i 2017 om lag som i 2016, noe lavere enn i 2015, og vesentlig lavere enn i 2014 og 2013. Merk at vi har data for færre operatører i 2016 og 2017 enn de foregående årene, noe som bidrar til å forsterke det visuelle inntrykket av færre hendelser.

Vi observerer likevel noen hendelser som berører et stort antall forbindelser over noe tid. For eksempel opplevde Telenor en hendelse den 25. april der om

¹y-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

lag 70 % av forbindelsene hadde opp mot 100 % pakketap i 10 minutter. Dette skjedde kl 01:00, noe som indikerer at det kan ha vært en vedlikeholdsoperasjon. Et annet eksempel er hendelsen som rammet Telia den 10. november. Alle forbindelser opplevde rundt 30 % pakketap i en periode på 20 minutter. Denne hendelsen fant sted rundt kl 05:00, og var trolig også relatert til vedlikehold.

6.2 Stabilitet gjennom året

For å illustrere variasjoner i stabilitet mellom forbindelser og over tid, presenterer vi her en oversikt over nedetid og pakketap for hver forbindelse hos Telenor og Telia gjennom året. Resultatene beskrevet her illustrerer hvordan enkelte forbindelser har høyere nedetid og/eller pakketap enn andre, og hvordan nedetid og/eller pakketap er høyere på enkelte dager eller i enkelte perioder.

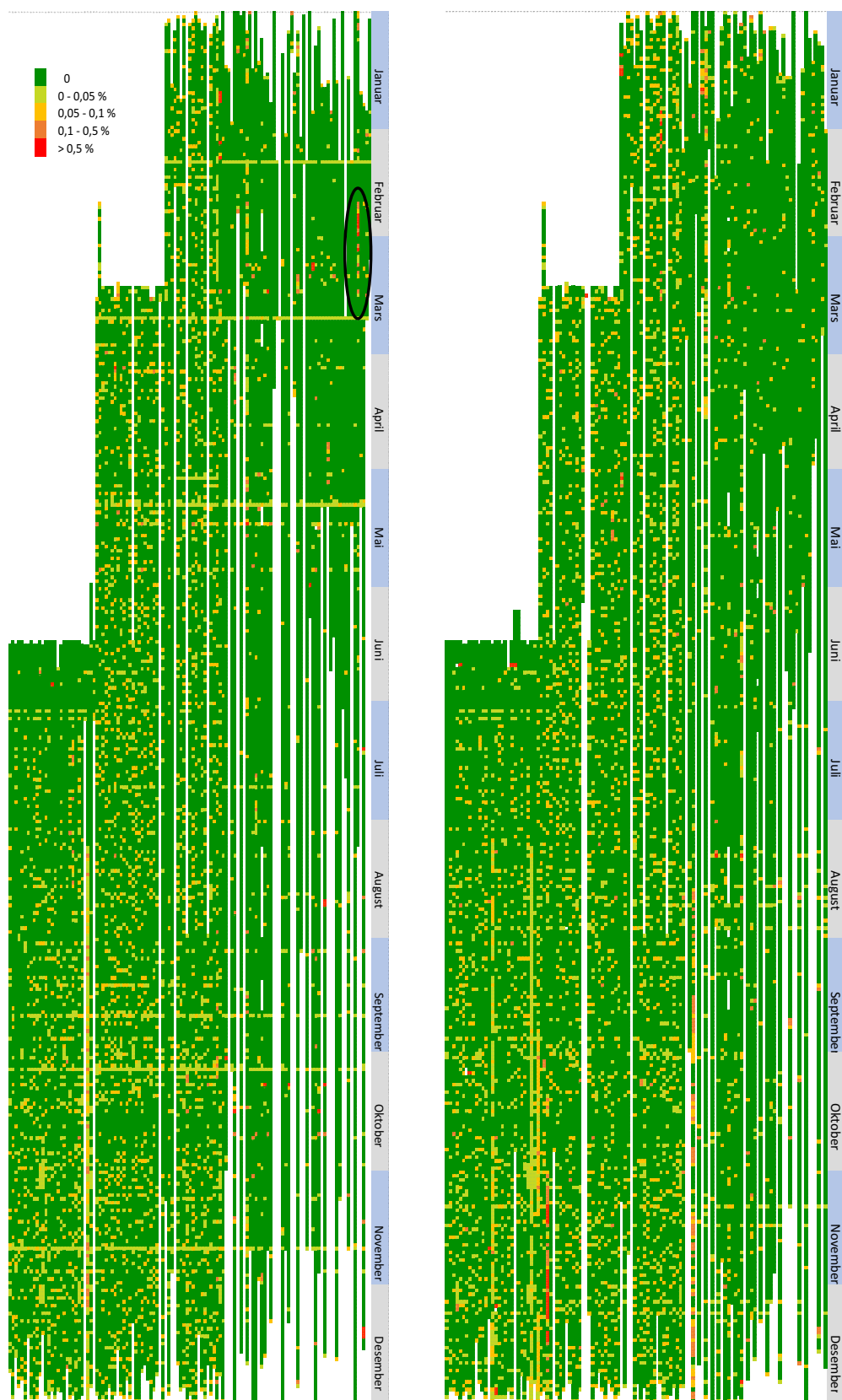
Figur 6.2 viser nedetid for hver forbindelse og hver dag gjennom 2017. Hver linje tilsvarer en forbindelse, og fargen på linjen viser nedetiden den aktuelle dagen. For eksempel vil en forbindelse som opplevde en nedetid på 10 minutter (0,7 %) ha rød farge den dagen. Hvite felter indikerer at vi ikke har målinger fra den aktuelle forbindelsen.

Som figuren viser, er ikke alle forbindelsene aktive gjennom hele året. Nye målenoder ble aktivert i to runder i mars og juni. Samtidig ble en del eldre målenoder faset ut gjennom året.

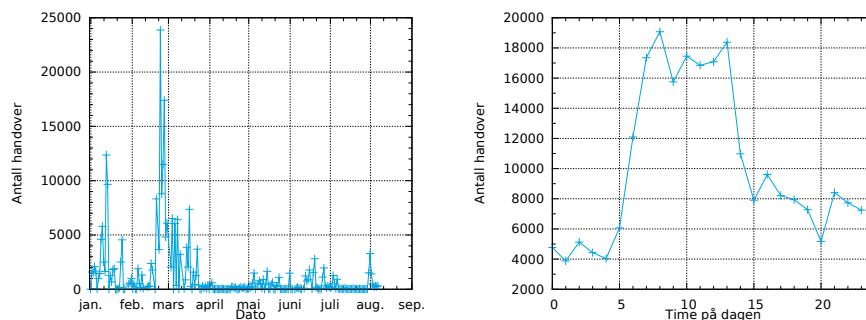
Figuren viser at enkelte forbindelser har relativt mye nedetid, enten gjennom hele året eller i kortere perioder. Disse vil framstå som fargede striper langs tidsaksen i figuren. Figuren viser flere eksempler på forbindelser som er stabile gjennom det meste av året, men som opplever enkelte ustabile perioder. Vi finner i hovedsak tre ulike forklaringer på slike perioder.

1. Forbindelser som gjør mange hurtige overganger fra en basestasjon til en annen, såkalt flapping. Vi observerer at slik flapping i hovedsak ser ut til å oppstå i perioder med høy trafikkbelastning, og primært i Telenors nett.
2. Dårlig dekning forbundet med høy trafikkbelastning (metning) i en gitt periode.
3. Tilfeller der målenoder plutselig endrer mønster i hvilke basestasjoner de velger å koble seg til. Slik oppførsel skyldes trolig konfigurasjonsendringer i nettet.

Et eksempel i den første kategorien er en Telenorforbindelse fra en målenode i Klepp kommune, som opplevde ustabile perioder tidlig i januar og fra midten av februar til midten av mars. Den ustabile perioden for denne forbindelsen er markert med en sirkel i 6.2. Figur 6.3 viser antall overganger fra en basestasjon til en annen per dag, såkalte horisontale handover, for den aktuelle forbindelsen. Figuren viser også hvordan slike handover fordeler seg gjennom døgnet. Vi ser tydelig at flappingen er begrenset til de aktuelle ukene, og at den hovedsakelig oppstår i perioder med mye trafikk i nettet. En horisontal handover skal normalt ikke føre til brudd i forbindelsen, men vi ser at dette skjer i noen tilfeller. En mulig forklaring på denne oppførselen kan være at trafikkbelastningen får nettet til å redusere sendestyrken til en basestasjon, og at målenoden dermed havner i randsonen av dekningsområdet.



Figur 6.2: Oversikt over brudd/nedetid gjennom året for hver forbindelse. Telnor (venstre) og Telia (høyre).



Figur 6.3: Antall horisontale handover per dag (venstre), og fordeling av slike handover gjennom døgnet (høyre).

Tilsvarende viser figur 6.2 at det finnes dager der mange forbindelser opplever nedetid. Slike hendelser vil framstå som fargede striper vinkelrett på tidsaksen i figuren. Et utvalg av disse hendelsene er oppsummert i tabell 6.1 under. Merk at en del av disse hendelsene er for små til å vises tydelig i figur 6.2

Telenor

Dato	Berørte forbindelser	Varighet	Mulig årsak
9. feb	58 forbindelser over hele landet i løpet av en halv time fra 04:20	Ca 10 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent, mulig vedlikehold
22. mars	22 forbindelser fra 01:05, 78 forbindelser fra 04:00	Ca 10 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent, mulig vedlikehold
10. mai	58 forbindelser over hele landet fra 00:00 til 00:20	Ca 10 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent, mulig vedlikehold
15. mai	27 forbindelser over hele landet fra 02:55	20 - 60 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent, mulig vedlikehold
23. juli	30 forbindelser over hele landet, 6,5 timer fra 10:55, ikke samtidig	10 - 60 sek.	Ukjent
4. sept	20 forbindelser over hele landet fra 02:00	Under 10 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent, mulig vedlikehold
13. sept	27 forbindelser fra 00:00, hovedsaklig i Osloområdet	25 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent som betjent Oslo, mulig vedlikehold

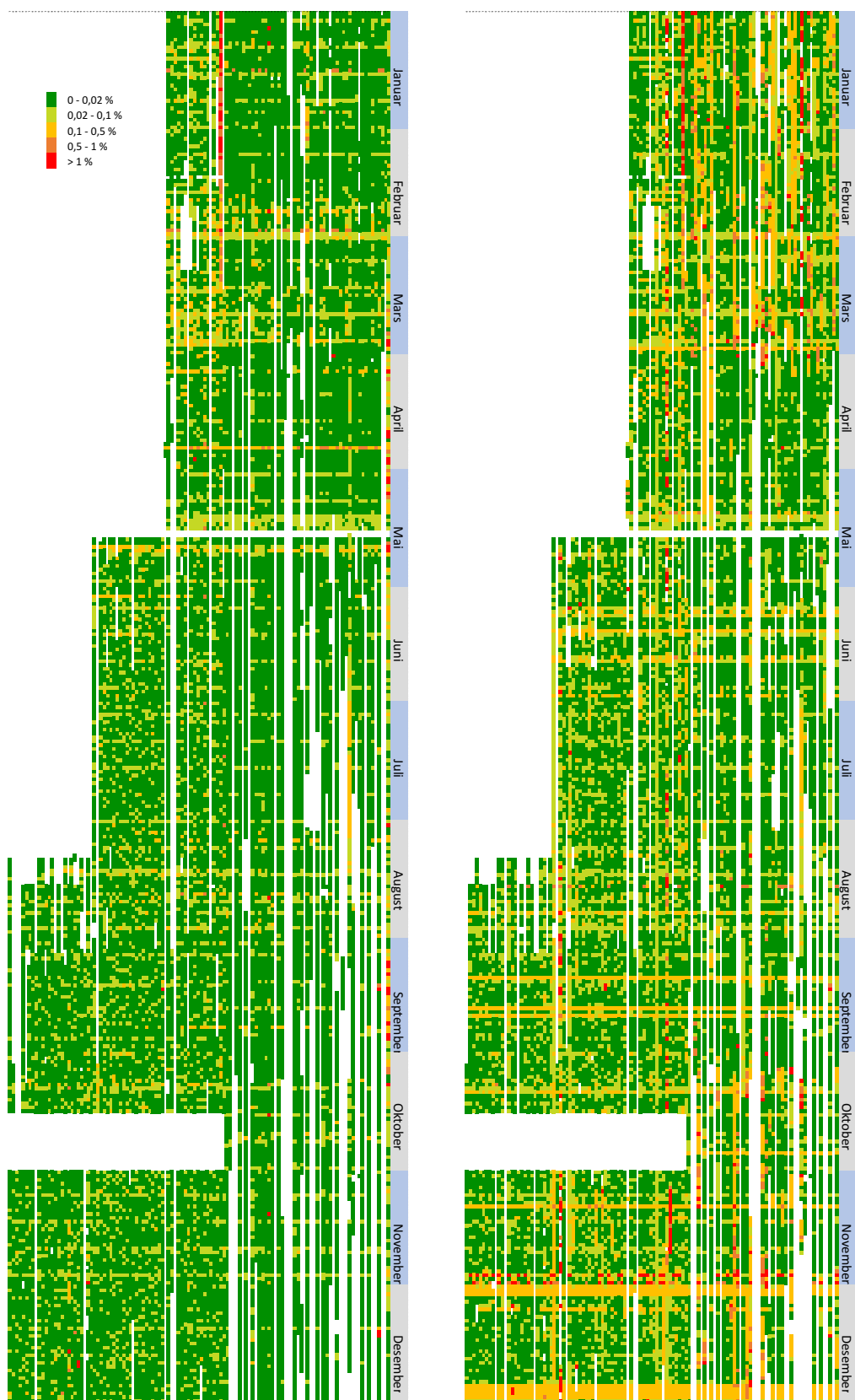
21. sept	30 forbindelser over hele landet, 7 timer fra 02:00, ikke samtidig	10 sek.	Ukjent
5. okt	Nesten alle forbindelser, over hele landet fra 03:55	Under 10 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent, mulig vedlikehold
21. nov	Forbindelser over hele landet fra 01:05	Under 10 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent, mulig vedlikehold

Telia

Dato	Berørte forbindelser	Varighet	Mulig årsak
23. apr	Flere forbindelse, særlig 4 samtidige kl 18:35	Ca 40 sek.	Transmisjon
10. aug	Sju forbindelser over hele landet mellom 11:55 og 12:20	20 - 30 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent
18. aug	29 forbindelser over hele landet, først 12:55, igjen kl 13:20	Ca 10 sek.	Feil/omstart i en kjernekomponent
21. aug	4 forbindelser i Trondheim + 4 forbindelser i Oslo	10 - 30 sek.	Transmisjon
23. aug	27 forbindelser over hele landet fra kl 01:00	10 - 20 sek.	Trolig vedlikehold
29. aug	25 forbindelser over hele landet fra kl 01:00	Ca 10 sek.	Trolig vedlikehold
10. nov	21 forbindelser over hele landet fra kl 01:00	Ca 10 sek.	Trolig vedlikehold
15. nov	20 forbindelser over hele landet fra kl 03:10	Ca 10 sek.	Trolig vedlikehold
5. des	27 forbindelser over hele landet fra kl 01:00	Ca 10 sek.	Trolig vedlikehold
8. des	27 forbindelser over hele landet fra kl 01:00	Ca 10 sek.	Trolig vedlikehold

Tabell 6.1: Oversikt over hendelser hos Telia og Telenor

Figur 6.4 viser pakketap for hver forbindelse og hver dag gjennom 2017. Formatet er det samme som i figur 6.2. Målingene fra 17. mai og to uker i oktober er fjernet på grunn av problemer med vår måleinfrastruktur som påvirket tapsraten. Som for nedetiden diskutert over viser figuren hvordan enkelte forbindelser gjennomgående har høyere pakketap enn andre, samt at pakketapet er høyere for mange forbindelser på enkelte dager. Figuren illustrerer også at Telia generelt har høyere pakketap enn Telenor. Som diskutert i kapittel 5 var Telias pakketap særlig høyt i første kvartal og fjerde kvartal. Figuren viser hvordan Telias relativt høye pakketap i første kvartal kan tilskrives et subsett av forbindelsene (som tilbragte mye tid på 3G), mens det høye pakketapet i fjerde kvartal i stor grad skyldtes hendelser som påvirket alle forbindelsene.



Figur 6.4: Oversikt over pakketap gjennom året for hver forbindelse. Telenor (venstre) og Telia (høyre).

7. Stabil ytelse

I fjorårets rapport hadde vi et større fokus enn tidligere på å måle ytelse i mobilnettene. Vi følger opp to av målingene i årets rapport:

1. **Hastighet** oppstrøms og nedstrøms, det vil si hvor mange bit/s vi oppnår over forbindelsen. Vi ser på fordelingen av hastigheter over alle målingene, og variasjonen for hver enkelt målnode. Vi ser også på variasjoner i hastighet gjennom døgnet.
2. **Tiden det tar å laste websidene** til NRK og VG. Vi ser på fordelingen av lastetider hos de ulike operatørene, og hvordan lastetiden avhenger av den målte nedlastingshastigheten.

I fjorårets rapport så vi i tillegg på kvaliteten for *videostrømming* over forbindelsene. Disse målingene har vi utelatt fra årets rapport, siden sammenhengen mellom hastighet og videokvalitet trolig ikke endrer seg særlig fra år til år.

Merk at den brukeropplevde ytelsen avhenger av flere faktorer, som dekningsforhold, antall samtidige brukere og interferens i området. Resultatene som presenteres her vil være avhengige av de konkrete forholdene på de steder og de tidspunkt målingene er foretatt. Våre målnoder er plassert innendørs. Vi har ikke kontroll over lokale forhold som hvor i bygningen målnodene er plassert. Dekningsforholdene vil variere noe fra node til node, men alle målnodene har god dekning i henhold til operatørenes dekningskart. Vi mener at antallet målnoder og den geografiske spredningen gjør at resultatene gir et representativt bilde av ytelsen som kan forventes i mobilnettene.

Som diskutert i kapittel 3, benytter vi to ulike typer målnoder i årets rapport. Gamle målnoder har en begrenset prosesseringskapasitet som gjør at de ikke kan håndtere datahastigheter som er høyere enn om lag 30 Mbit/s. 4G-nettverk kan ofte levere hastigheter som er langt høyere enn dette, og denne begrensningen virker derfor direkte inn på resultatene for gamle målnoder. Resultatene i dette kapittelet er derfor basert kun på målinger fra nye målnoder. Antallet nye målnoder er vesentlig høyere i år enn i fjor. Som diskutert i kapittel 2 er disse målnodene utstyrt med et Sierra Wireless AirPrime MC7455 modem. Dette modemmet støtter LTE Cat 6, (også kalt LTE Advanced, 3GPP Release 10), men ikke den nyere LTE Cat 9 (LTE Advanced Pro, 3GPP Release 13) som også benyttes i norske mobilnett. Det betyr at vi våre målinger ikke vil oppnå den maksimale hastigheten som kan tilbys i nettene vi måler. Resultatene bør tolkes med dette i mente. Våre resultater sier likevel noe om stabiliteten i hastighetene som oppnås i mobilnettene.

7.1 Opplastings- og nedlastingshastighet

Vi måler hastigheter ved hjelp av en åpen klient som lar oss kjøre målinger fra våre målnoder mot Ooklas `speedtest.net`¹. I motsetning til de andre målingene presentert i denne rapporten kjøres ikke hastighetsmålingene mot vår egen måleserver, men mot måleservere knyttet til Ooklas infrastruktur. Klienten velger selv den geografisk nærmeste tilgjengelige måleserveren. Siden mobilnett har en sentralisert arkitektur der all trafikk må gjennom sentralt plasserte kjernekomponenter, geolokaliserer vi alle våre målnoder i Oslo. Når den har valgt måleserver, gjør testen en serie nedlastinger av små filer over http for å gjøre et grovt estimat av nedlastingshastigheten. Deretter velger den en tilstrekkelig stor filstørrelse for å gjennomføre selve hastighetsmålingen. Prosedyren gjentas for både nedlastings- og opplastingshastighet. Målingene er foretatt i løpet av andre halvår 2018. Hastighetsmålingen gjentas tre ganger i døgnet, klokken 02:00, 14:00 og 19:00, for å fange opp eventuelle forskjeller som skyldes ulik trafikkbelastning gjennom døgnet.

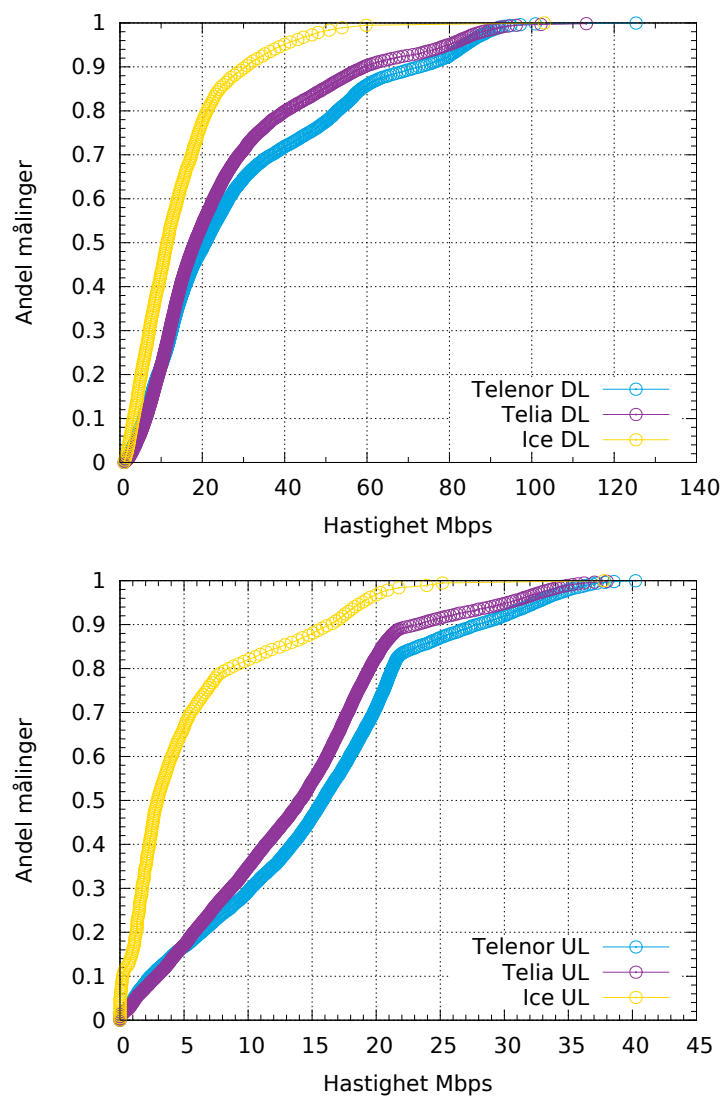
Figur 7.1 viser fordelingen av nedlastings- og opplastingshastigheter for hver av operatørene. Forskjellene i hastighet mellom Telenor og Telia er begrensede, selv om Telenor i år oppnår noe høyere hastigheter enn Telia både oppstrøms og nedstrøms. Den gjennomsnittlige målte nedlastingshastigheten er 29,9 Mbit/s for Telenor og 26,1 Mbit/s for Telia. For opplastingshastigheten er tilsvarende tall 15,3 Mbit/s for Telenor og 13,7 Mbit/s for Telia. I over halvparten av forsøkene hos begge operatører oppnår vi nær 20 Mbit/s nedstrøms og over 14 Mbit/s oppstrøms hastighet. I 10 % av forsøkene oppnår vi over 72/59 Mbit/s nedstrøms og over 27/23 Mbit/s oppstrøms hastighet hos henholdsvis Telenor/Telia. Hos begge operatører ser vi et lite antall målinger, om lag 0,4 %, som oppnår mer enn 100 Mbit/s nedstrøms hastighet. Mens alle målingene hos Telenor er foretatt på 4G, er et fåtall målinger hos Telia foretatt på 3G. Dette skyldes trolig de samme problemene med sømløs overgang fra 3G til 4G i Telia som beskrevet tidligere i rapporten, og kan trolig forklare noe av forskjellen i hastigheter mellom Telenor og Telia.

Figur 7.1 viser en knekk i grafen for opplastingshastighet ved rundt 22 Mbit/s for Telenor og Telia. En tilsvarende (men mindre markant) knekk kan observeres rundt 60 Mbit/s for nedlastingshastighet. Denne knekken skyldes målinger fra et lite antall målnoder, som ofte oppnår svært høye oppstrøms hastigheter. Vi tror dette kan skyldes at disse forbindelsene har dekning fra flere basestasjoner og kan utnytte kapasiteten fra disse i parallell (såkalt carrier aggregation).

Målingene for Ice er foretatt med deres mobilt bredbåndsabonnement, som benytter frekvenser i 450 MHz-båndet i tillegg til høyere frekvenser. Ice har gjennomgående lavere hastigheter enn Telenor og Telia, både nedstrøms og oppstrøms. Halvparten av målingene for Ice viser en nedlastingshastighet over 14,6 Mbit/s og en opplastingshastighet over 5,4 Mbit/s.

Tabell 7.1 viser utviklingen i gjennomsnittlig og median hastigheter fra 2016 til 2017. Gjennomsnittlig nedlastingshastighet har økt noe hos Telenor og Ice, og har ligget flatt hos Telia. Median nedlastingshastighet har gått ned fra 2016 til 2017 hos alle tre operatører, og er vesentlig lavere enn gjennomsnittet. Det er uklart hvorfor hastigheten har gått ned i såpass mange målinger at medianverdien har falt. En forklaring kan være at trafikken i nettet har økt, og at dette

¹<https://github.com/sivel/speedtest-cli>



Figur 7.1: Gjennomsnittlig nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) for ulike operatører.

		Gjennomsnitt		Median	
		2016	2017	2016	2017
Nedstrøm	Telenor	27,3	29,9	25,0	20,7
	Telia	26,1	26,1	20,2	18,1
	Ice	14,0	14,6	13,5	11,4
Oppstrøm	Telenor	13,1	15,3	11,7	15,8
	Telia	12,2	13,7	10,5	14,1
	Ice	2,9	5,4	3,5	2,9

Tabell 7.1: Gjennomsnittlig og median hastigheter - utvikling fra 2016 til 2017.

reduserer kapasiteten som er tilgjengelig for hver bruker. Dette kan tyde på at nettene opererer nærmere sin kapasitet enn de gjorde i 2016.

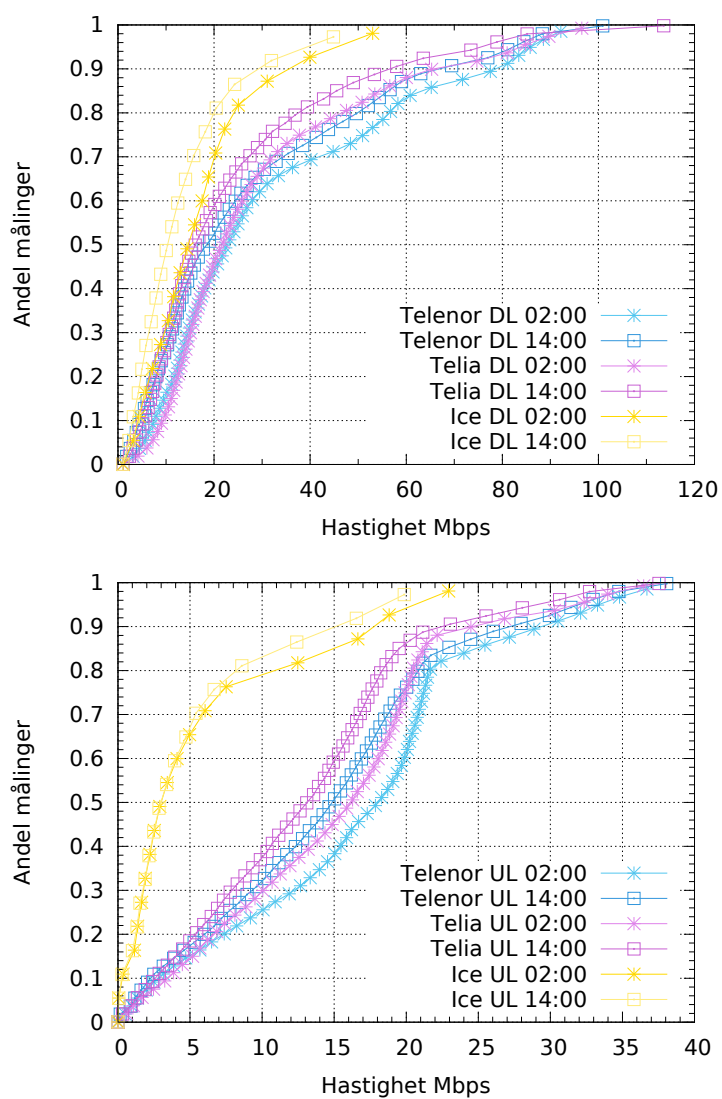
Når det gjelder gjennomsnittlig opplastingshastighet, har denne økt for alle nettverk. Også medianverdien har økt for Telenor og Telia, mens den er noe redusert for Ice.

Figur 7.2 viser hvordan den målte hastigheten varierer mellom ulike tidspunkter på døgnet. Både Telenor og Telia har noe høyere nedlastingshastigheter om natten enn om dagen. Typisk oppnår våre målenoder 4 - 6 Mbit/s høyere hastighet om natten enn midt på dagen. Denne forskjellen har økt betraktelig siden 2016, da forskjellen var 1 - 2 Mbit/s. Slike forskjeller skyldes at trafikkbelastningen varierer gjennom døgnet, slik at den tilgjengelige hastigheten reduseres i perioder med stor trafikk. Store variasjoner gjennom døgnet vil tyde på at nettet opererer nær sin kapasitet. Økningen indikerer igjen at mobilnettene kjørte nærmere sin kapasitet i 2017 enn i 2016, noe som også stemmer overens med den observerte reduksjonen i median nedlastingshastighet diskutert over.

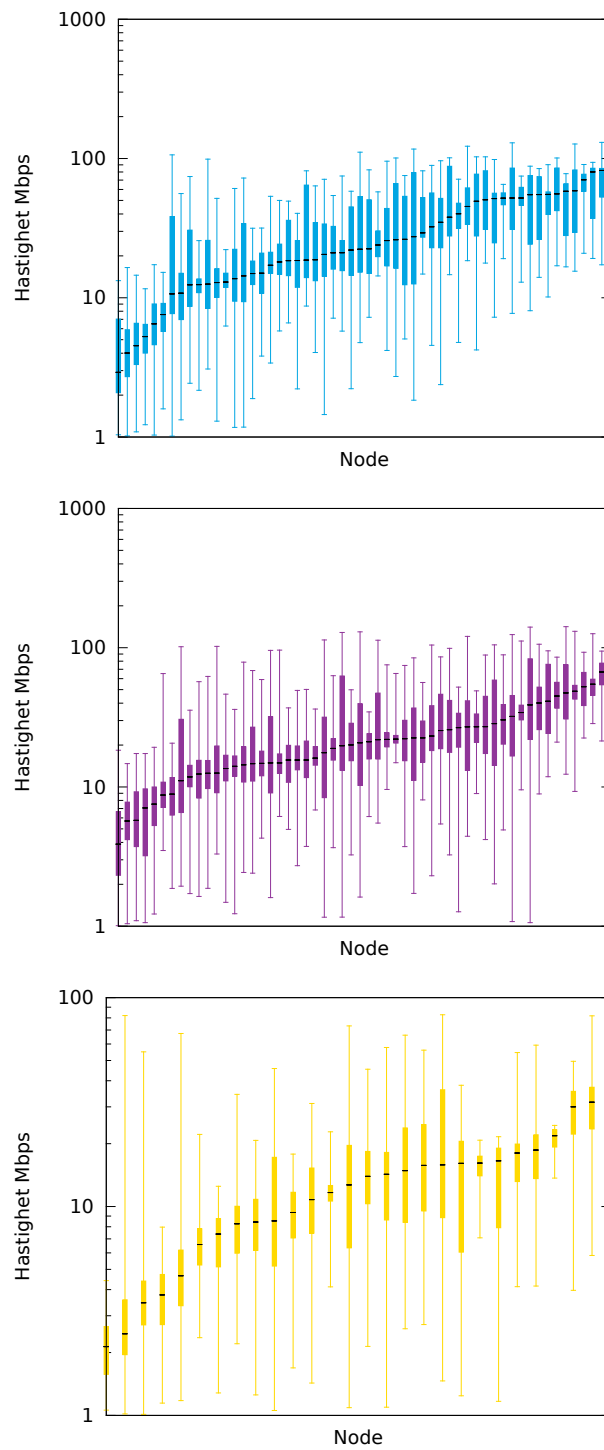
Figur 7.3 viser hvordan den målte nedlastingshastigheten varierer for hver enkelt forbindelse hos hver operatør. Den svarte markøren viser median hastighet, altså ligger halvparten av de målte verdiene over og halvparten under dette nivået. De tykke markørene angir 25 og 75 persentilene for hver forbindelse, mens de lengste vertikale linjene viser den høyeste og laveste målte hastigheten. Halvparten av målingene for den aktuelle forbindelsen ligger innenfor området definert av 25 og 75 persentilene, og avstanden mellom disse kalles interkvartilavstanden. Interkvartilavstanden er et mål på hvor mye hastigheten varierer over tid for en gitt forbindelse. Telenor har generelt noe høyere variasjon i nedlastingshastighet enn Ice og Telia. Mens 14 % av forbindelsene hos Ice og 26 % hos Telia har en interkvartilavstand som er høyere en medianen, gjelder dette 36 % av forbindelsene hos Telenor.

7.2 Lasting av websider

For å undersøke sammenhengen mellom målt nedlastingshastighet og brukeropplevelse, måler vi som i fjor tiden det tar å laste forsiden på to populære nettsider, `nrk.no` og `vg.no`. Målingene er foretatt gjennom hele 2017. I hver kjøring måler vi først nedlastings- og opplastingshastighet som beskrevet over. Deretter laster vi ned de to utvalgte nettsidene tre ganger hver, og registrerer hvor lang tid nedlastingen tok. Dette eksperimentet gjentas tre ganger i døgnet.



Figur 7.2: Gjennomsnittlig nedlastings- (øverst) og opplastingshastighet (nederst) på ulike tider av døgnet.



Figur 7.3: Variasjon i nedlastingshastighet for 4G-forbindelser hos Telenor (øverst), Telia (midten) og Ice (nederst).

På grunn av begrensninger i maskinvaren til de eldre målenoder, ser vi bare på målinger fra den nye generasjonen målenoder som beskrevet i kapittel 3.

Normalt vil operativsystemer og nettlesere bruke flere ulike teknikker for å redusere tiden det tar å vise en nettside. Ofte vil oppslag i DNS² utgjøre en vesentlig del av tidsbudsjettet. For eksempel kan visning av forsiden på **vg.no** involvere lasting av innhold fra så mye som 25 ulike domener. Operativsystemet vil normalt lagre resultatet fra tidligere DNS-oppslag i en periode for å unngå å bruke tid på de samme oppslagene neste gang en side fra samme domene lastes, såkalt DNS caching. Videre vil nettleseren ofte midlertidig lagre bilder og andre objekter slik at de er lokalt tilgjengelige ved senere visninger. I våre eksperimenter har vi slått av DNS caching, og lagring av innhold i webleseren. Våre resultater tilsvarer derfor brukeropplevelsen første gang en nettside besøkes.

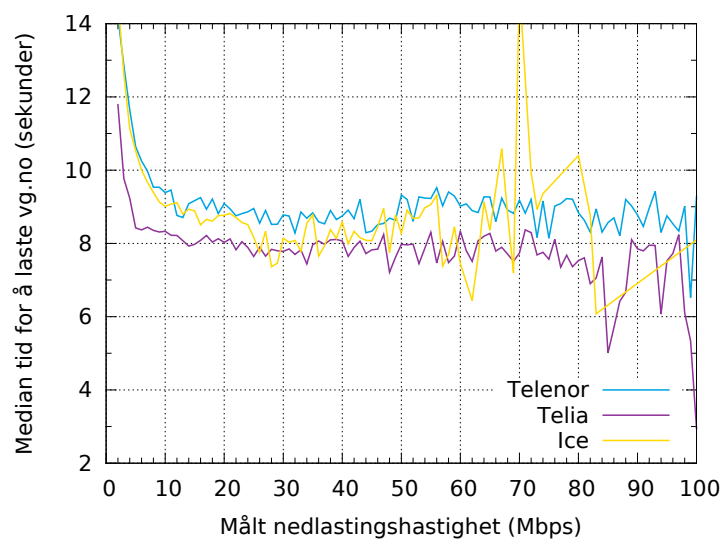
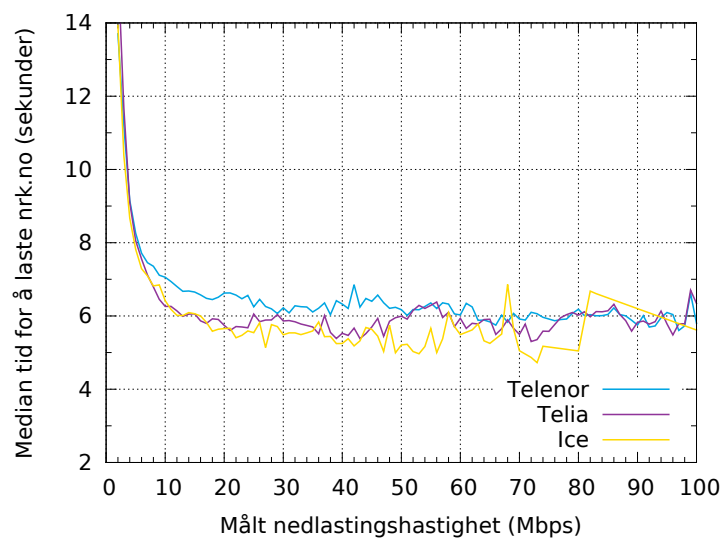
Nettlesere vil ofte også begrense innholdet som lastes ned fra en nettside til det som faktisk vises på skjermen. På denne måten reduseres tiden det tar å vise innholdet, og datatrafikken begrenses. I våre eksperimenter laster vi innhold som kan vises på en skjerm på 1334x750 pixler, tilsvarende oppløsningen på en iPhone 6. En del nyere telefoner vil ofte laste mer innhold enn det vi gjør i våre eksperimenter.

Målet med dette eksperimentet er å undersøke sammenhengen mellom den målte ned- og opplastingshastigheten og brukeropplevelsen ved nettsurfing. Vi grupperer derfor alle nettsidevisningene etter hvilken nedlastingshastighet som ble målt rett før nettsiden ble lastet. Vi ser på alle målinger der nedlastingshastigheten var minst 1 Mbit/s, og grupperer målingene etter oppnådd nedlastingshastighet på 1-2 Mbit/s, 2-3 Mbit/s og så videre. Figur 7.4 viser sammenhengen mellom målt nedlastingshastighet og tiden det tar å vise forsiden på **nrk.no** (øverst) og **vg.no** (nederst). Verdien på y-aksen er medianverdien over alle målingene i det gitte hastighetsintervallet.

Som i fjor observerer vi at det er liten sammenheng mellom nedlastingshastighet og tiden det tar å vise en nettside, så lenge hastigheten er over et visst minimumsnivå. Dette minimumsnivået er imidlertid høyere enn i fjor. I fjor rapporterte vi at en videre økning i nedlastingshastigheten utover 7 Mbit/s gir ikke noen målbar reduksjon i lastetiden. I år ser vi at lastetiden reduseres videre for nedlastingshastigheter opp til om lag 10 Mbit/s for **vg.no** og om lag 15 Mbit/s for **nrk.no**. Vi ser også at tiden det tar å laste websidene har økt betydelig. Mens det i 2016 tok om lag 3-4 sekunder å laste begge sidene, tok det i 2017 om lag 6 sekunder for **nrk.no** og 8-9 sekunder for **vg.no**. Merk at ofte vil det innholdet som brukeren er interessert i være tilgjengelig før alle elementene på websiden er lastet. Det er liten forskjell mellom operatørene når det gjelder lastetid, men det tar gjennomgående litt lenger tid for Telenors forbindelsr enn for Telia og Ice.

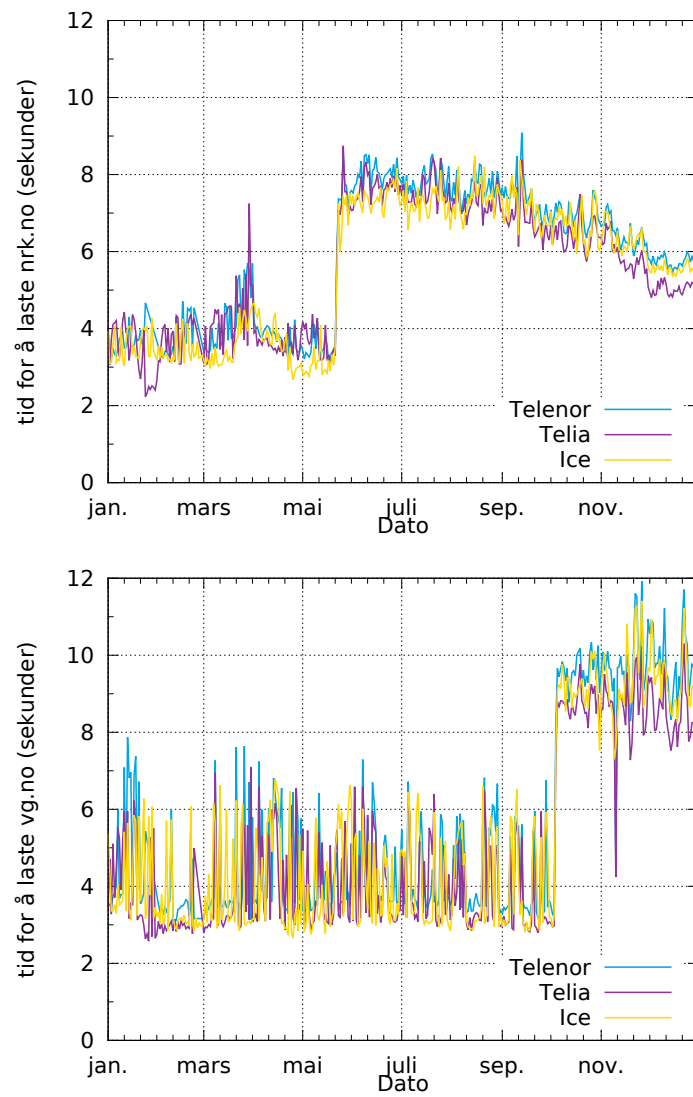
Økningen i lastetid skyldes at forsiden til **vg.no** og **nrk.no** har blitt større, og inneholder flere elementer enn tidligere. På **nrk.no** er det særlig et nyhetsbanner øverst på siden som bidrar til dette. Nyhetsbanneret ble introdusert i mai 2017, inneholder tekst og bilder for en rekke saker. På **vg.no** skyldes økningen særlig er stort annonsefelt et lite stykke ned på forsiden. Dette feltet ble introdusert i oktober 2017, og henter en rekke elementer fra mange ulike kilder,

²Domain Name System er tjenesten som brukes for å oversette domenenavn til IP-adresser.



Figur 7.4: Sammenheng mellom nedlastingshastighet og tiden det tar å laste en webside

og er tungt å laste. Figur 7.5 viser hvordan disse endringene på websidene fikk umiddelbar innvirkning på lastetidene. Våre målinger omfatter kun to websider, og det kan være tilfeldig at disse websidene introduserte tyngre elementer i 2017. Målingene illustrerer likevel hvordan en utvikling mot tyngre og mer komplekse websider stiller stadig høyere krav til ytelsen i mobilnettene.



Figur 7.5: Utvikling i median lastetid gjennom året. nrk.no øverst, vg.no nederst.

8. Mobiltjenester på tog

I dette kapitlet presenterer vi målinger av mobildekning målt om bord på tog. Målingene omfatter Telenor og Telia, og er gjennomført ved å plassere Nornet målenoder på 15 tog i samarbeid med NSB. Togene er av forskjellige typer, og trafikerer både langdistanse og intercity-ruret. Resultatene som presenteres her er basert på målinger foretatt gjennom hele 2017.

I år har vi for første gang målinger fra tog som har installert signalforsterkere om bord (se faktaboks). For noen strekninger har vi dermed mulighet til å sammenligne dekning og ytelse med og uten signalforsterkere.

I denne analysen ser vi på hvilken teknologi forbindelsen går over. Dette kan være 4G, 3G, 2G eller Ingen tjeneste. Målenodene vil automatisk velge den beste tilgjengelige teknologien. Hver målenode rapporterer status for forbindelsen til hvert mobilnett fire ganger i minuttet, inkludert teknologitype og signalstyrke for forbindelsen. Ved å kombinere disse målingene med lokasjonsdata fra togets GPS, kan vi si noe om den opplevde dekningen om bord på togene langs mye av det norske jernbanenettet.

I vår analyse av målingene deler vi toglinjene opp i segmenter på 1 km, og slår sammen alle målinger av dekning og ytelse i hvert segment. Antallet måleravlesninger vi har i hvert segment vil variere med togsettenes reisemønster. Vi krever minst 10 avlesninger for en operatør for å ta med det aktuelle segmentet 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 det aktuelle intervallet, mens den optimistiske dekningen er definert som den høyeste teknologien som er observert i minst 10% av målingene. Merk at det fremdeles kan finnes mindre hull uten dekning innen hvert 1km-intervall. Den optimistiske dekningen fungerer også som et estimat av hvordan dekningen vil oppleves på tog som har installert signalforsterkere.

Signalforsterkere på tog (fra *Bedre mobiltjenester på tog*, Nexia 2015)

Normal mobildekning 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 gode dekningsforhold i friluft, vil signalkvaliteten inne i toget ikke være tilstrekkelig til å støtte en god brukeropplevelse. Togsettet vil i mange tilfeller opptre som et Faradaybur, som effektivt blokkerer radiosignalene. Særlig moderne togsett gir sterk dempning 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 tidligere gjennomført målinger av hvor mye mobilsignaler dempes i togkarosseriet for ulike togtyper og radiofrekvenser. De fant at typisk dempning er i området 10-15 dB, og noen ganger over 20 dB. 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.

I 2015 inngikk mobilselskapene, NSB og Jernbaneverket en avtale som skulle gi bedre mobiltjenester på tog. Avtalen innebærer at mobilselskapene skal prioritere dekning langs jernbanestrekninger, Jernbaneverket skal bygge dekning i tunneler, og NSB skal installere signalforsterkere på tog. Slike signalforsterkere henter mobilsignaler utenfor toget med en ekstern antenne, og videresender dette inne i tosettet. På denne måten bidrar de til økt opplevd dekning. Det har imidlertid tatt tid før signalforsterkere ble installert på tog, og enda lenger tid før vi har lyktes i å installere måleutstyr om bord på de samme togene. I år har vi imidlertid for første gang målinger også fra tog med signalforsterkere. For noen få strekninger har vi målinger fra tog både med og uten signalforsterkere, og kan dermed måle effekten disse har på den opplevde dekningen.

8.1 Mobildekning på tog

Mobiloperatørene bygger ut sine 4G-nett i høyt tempo, og en økende del av jernbanestrekningene er dekket av 4G. Denne dekningen har tidligere stort sett vært konsentrert rundt byer og andre sentrale områder, men er nå i ferd med å omfatte også mer øde områder. Dekningen er imidlertid fremdeles varierende mange steder, og brukerterminaler med 4G støtte vil derfor oppleve hyppige skifter mellom 4G og andre teknologier, noe som vil påvirke brukeropplevelsen negativt.

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. 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, som omtalt i kapittel 5. 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 undervurderer Telias 4G-dekning i våre målinger, sammenlignet med hva en bruker med et annet trafikkmønster vil oppleve.

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.

Figur 8.1 viser den typiske dekningen for Telenor og Telia på alle banestrekninger vi har målinger fra. Figuren illustrerer at Telenor har 4G-dekning langs det meste av jernbanenettet i Sør-Norge, selv om det fremdeles finnes huller uten dekning mange steder. Vi diskuterer dekningen per banestrekning under. For Telia er situasjonen ganske annerledes, med 3G som den dominerende teknologien. Det er imidlertid grunn til å tro at problemene med manglende sømløs handover diskutert over er hovedforklaringen på den manglende målte 4G-dekningen.

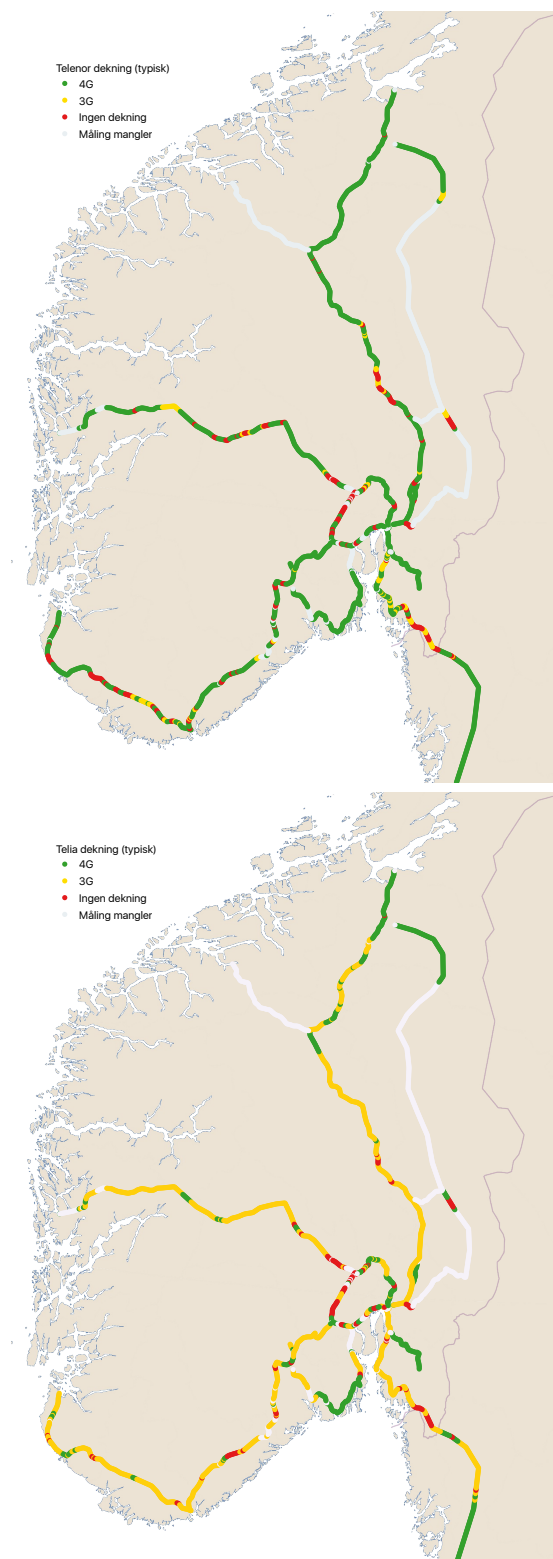
Figur 8.2 viser at det finnes 4G-dekning også hos Telia langs store deler av jernbanenettet, selv om målenodene ofte blir hengende igjen på 3G. Den optimistiske dekningen gir en indikasjon på hvilken dekning som kan forventes om bord på tog med signalforsterkere. De (begrensede) målingene vi har, tyder på at *optimistisk* dekning på tog uten signalforsterkere er relativt lik *typisk* dekning på tog med slikt utstyr.

8.2 Mobildekning per banestrekning

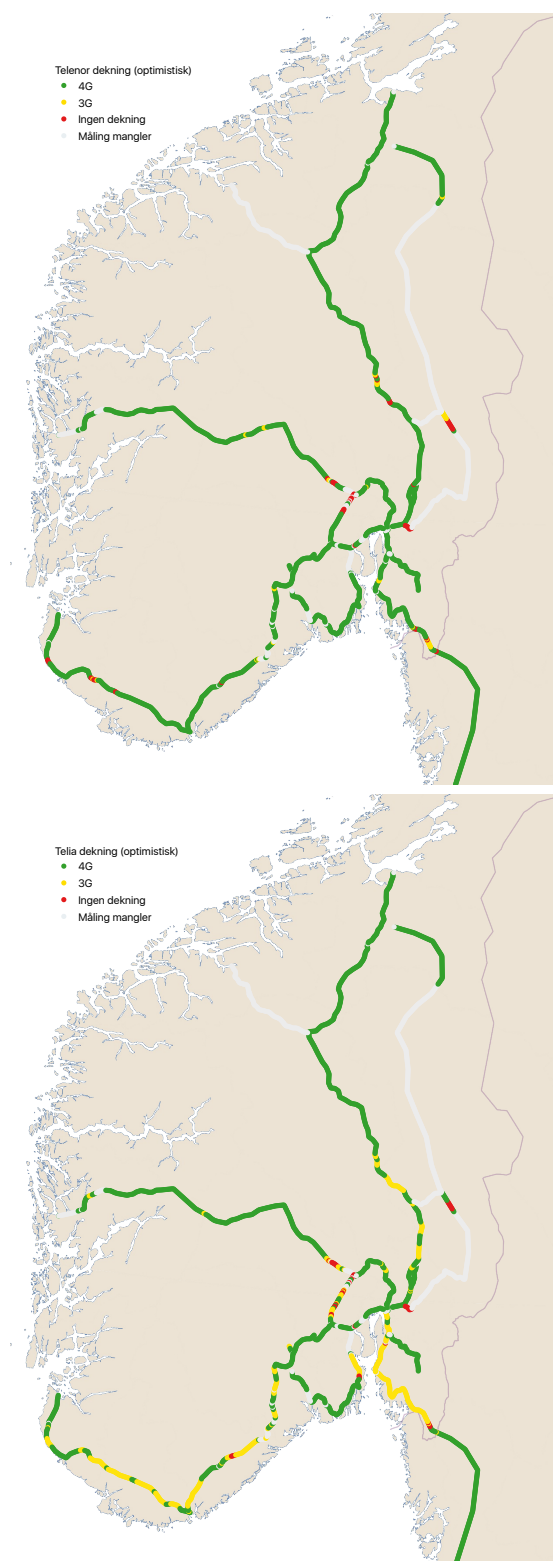
For vår videre analyse deler vi det norske jernbanenettet inn i delvis overlappende områder, som vist i tabell 8.1.

For hver strekning beregner vi den typiske dekningen i prosent for en gitt teknologi som andelen 1km-segmenter langs strekningen der den aktuelle teknologien (eller en nyere teknologi) er den mest observerte. Tabell 8.2 viser den typiske dekningen per banestrekning for 4G og 3G/4G.

Tabell 8.2 viser at Telenor hadde noe høyere 4G-dekning langs jernbanen enn Telia sett under ett. I våre målinger finner vi relativt liten forskjell på 4G-dekningen om bord på tog i sentrale og gravgrendte strøk. Dette er overraskende, siden vi tidligere har sett langt bedre 4G-dekning i sentrale områder. Merk at en del av forklaringen på dette kan være at tog med signalforsterkere er overrepresentert på noen langdistansestrekninger, særlig på Dovrebanen. Dersom vi også inkluderer 3G-dekning, ser vi at Telia har noe høyere dekning enn Telenor på alle målte banestrekninger.



Figur 8.1: Målt typisk dekning på tog. Telenor (øverst) og Telia (nederst)



Figur 8.2: Målt optimistisk dekning på tog. Telenor (øverst) og Telia (nederst)

Banestrekning	Områder
Lokal	Oslo - Moss Oslo - Eidsvoll Oslo - Drammen Stavanger - Nærbø
Intercity	Oslo - Skien Oslo - Lillehammer Oslo - Drammen
Bergensbanen	Oslo - Bergen via Drammen, Kongsberg og Hønefoss
Sørlandsbanen	Oslo - Stavanger via Drammen, Kongsberg og Kristiansand
Dovrebanen	Oslo - Trondheim via Lillehammer og Dombås

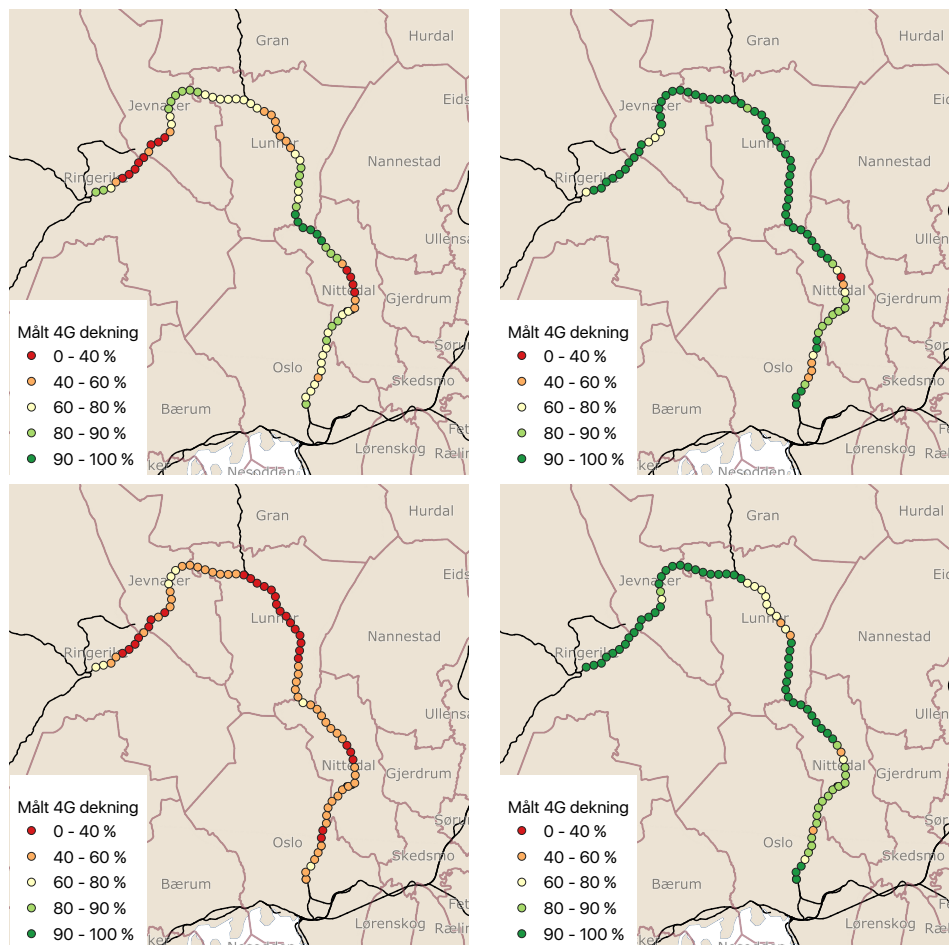
Tabell 8.1: Banestrekninger.

Banestrekning	4G		4G/3G	
	Telenor	Telia	Telenor	Telia
Lokal	83 %	19 %	91 %	94 %
Intercity	78 %	23 %	88 %	93 %
Bergensbanen	72 %	13 %	79 %	82 %
Dovrebanen	88 %	28 %	92 %	98 %
Sørlandsbanen	77 %	12 %	83 %	90 %

Tabell 8.2: Typisk dekning per banestrekning

Banestrekning	4G		4G/3G	
	Telenor	Telia	Telenor	Telia
Lokal	97 %	71 %	99 %	99 %
Intercity	96 %	58 %	98 %	99 %
Bergensbanen	92 %	86 %	94 %	94 %
Dovrebanen	97 %	88 %	99 %	100 %
Sørlandsbanen	96 %	61 %	97 %	99 %

Tabell 8.3: Optimistisk dekning per banestrekning



Figur 8.3: Andel målinger med 4G på strekningen Oslo-Roa-Hønefoss. Alle målinger (venstre) vs kun tog med signalforsterkere (høyre). Telenor (øverst) og Telia (nederst).

Dersom vi ser på den optimistiske dekningen angitt i tabell 8.3, ser vi at det finnes delvis 4G-dekning fra Telenor i over 90 % av alle 1km-intervaller for alle banestrekninger. Tilsvarende 3G/4G-dekning nærmer seg 100 % på de fleste banestrekninger for både Telenor og Telia.

8.3 Effekt av signalforsterkere på togsett

For noen banestrekninger har vi målinger fra tog både med og uten signalforsterkere. Dette setter oss i stand til å kvantifisere effekten av slikt utstyr. Figure 8.3 viser målinger for Telenor og Telia på strekningen Oslo-Roa-Hønefoss, henholdsvis med og uten signalforsterkere. Figuren viser hvor stor andel av målingene innen hvert 1km-segment som var 4G.

Vi observerer at signalforsterkere har betydelig effekt på den opplevde dek-

Øyer-Trondheim	Telenor	Alle tog 89 %	Med signalforsterkere 100 %
	Telia	27 %	100 %
Oslo-Hønefoss	Telenor	84 %	96 %
	Telia	64 %	100 %

Tabell 8.4: Typisk 4G-dekning med og uten signalforsterker.

ningen om bord. Mange 1km-intervaller har svært sporadisk 4G-dekning uten signalforsterkere. For mange intervaller måler vi 4G-dekning i under 40 % av observasjonene. Med signalforsterkere endrer dette bildet seg kraftig, og vi måler 4G i over 80 % av observasjonene i de aller fleste intervallene.

Tabell 8.4 bekrefter det samme inntrykket. Tabellen viser typisk 4G-dekning (som definert over) for to strekninger hvor vi har målinger fra tog både med og uten signalforsterkere. Som tabellen viser, øker den typiske 4G-dekningen kraftig om bord på tog med signalforsterkere, og er nær 100 % på disse strekningene.

Disse målingene gir grunn til optimisme. Det er all grunn til å tro at en fortsatt utrulling av signalforsterkere i stadig flere togsett kan gi vesentlig bedre tilbud om mobiltjenester på tog i årene som kommer.

