

Norske mobilnett i 2016

Nedlasting



Nedlasting

CRNA Centre for Resilient
Networks & Applications

simula

Norske mobilnett i 2016

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 Research Laboratory. 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 (Nexia Management Consulting AS)
Džiugas Baltrūnas (CRNA)

Omslag Image Communication
Publiseringsdato 27. april 2017
ISBN 978-82-92593-19-6

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	9
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	15
4.1	Analyse av stabilitet i tilkoblingen	17
4.2	Utvikling over tid	17
5	Stabilitet i dataplanet	22
5.1	Tapsrate	22
5.2	Utvikling over tid	24
6	Større hendelser	26
7	Stabil ytelse	29
7.1	Opplastings- og nedlastingshastighet	29
7.2	Lasting av websider	33
7.3	Strømming av video	37
8	Mobiltjenester på tog	40
8.1	Mobildekning på tog	40
8.2	Mobildekning per banestrekning	41
8.3	Utvikling over tid	42

1. Sammendrag og hovedfunn

Norske mobiloperatører investerer om lag 2,5 milliarder kroner i sine nett hvert år. De siste årene har disse investeringene i hovedsak gått til å øke deknin-gen og kapasiteten i deres 4G-nett. Det norske mobilmarkedet preges av intens konkurranse på kvalitetsparametere som dekning og hastighet. Som vist i tid-ligere årganger av denne rapporten, har de store investeringene også ført til en forbedring av den brukeropplevde stabiliteten i mobilnettene. Denne utviklin-gen fortsetter også i 2016. Vi observerer større stabilitet i tilkoblingen, redusert pakketap, og forbedret ytelse.

Nytt i årets rapport er en utvidet måling av ytelse og hvordan ytelse virker inn på brukeropplevelsen i mobilnettene. Vi måler hvilken oppstrøms og ned-strøms hastighet vi oppnår, og hvordan denne varierer. Vi ser videre på ytelsen i to populære applikasjoner, nettsurfing og strømming av video. For disse må-ler vi tiden det tar å laste populære websider, og hvilken bitrate video nettet kan håndtere. Ved å sammenholde disse målingene med den tilgjengelige nedlas-tingshastigheten kan vi si noe om hvordan brukeropplevelsen påvirkes av denne.

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

Stabilitet i tilkoblingen

- Målenodenes tilkobling til nettet var mer stabil i 2016 enn tidligere år. Over halvparten av forbindelsene i alle målte nett har en oppetid på over 99,99%, noe som betyr at forbindelsen er utilgjengelig mindre enn 9 se-kunder i døgnet i gjennomsnitt.
- For første gang viser målingene at Telia er nettet med den mest stabile tilkoblingen til nettet, marginalt bedre enn Telenor. Gjennomsnittlig tid mellom hvert avbrudd er noe lenger for Telia enn for de andre operatørene, og nesten tre av fire Teliaforbindelser har en oppetid på minst 99,99%.
- Forbedringen i stabilitet henger sammen med overgangen fra 3G til 4G. Langt flere av våre målenoder har 4G-dekning i 2016 enn i 2015. 4G-forbindelser er mer stabile, noe som bidrar til den positive utviklingen for alle operatører.

Stabilitet i dataplanet

- Pakketapet var lavere i 2016 enn tidligere år. Særlig ser vi en reduksjon i pakketap hos Telenor, som er operatøren med den laveste tapsraten. Reduksjonen i pakketap henger sammen med overgangen fra 3G til 4G.

- Telia opplever en noe høyere tapsrate enn Telenor. Dette skyldes at Teliaforbindelser oftere blir hengende på 3G til tross for eksisterende 4G-dekning, og dermed opplever høyere pakketap. Dersom vi ser på 4G isolert, har Telia en noe lavere tapsrate enn Telenor.
- Vi observerte få større hendelser som berørte mange forbindelser samtidig i 2016. De hendelsene vi observerte, skyldtes feil i sentrale komponenter i mobilnettene.

Stabilitet i ytelse

- Vi gjennomførte i 2016 mer omfattende målinger av ytelse i mobilnettene enn vi har gjort tidligere år. Målingene fokuserer på hastighet, og på hvordan den tilgjengelige hastigheten virker inn på brukeropplevelsen for to populære applikasjoner - nettsurfing og strømming av video.
- Den målte hastigheten hos Telenor og Telia er om lag den samme. Vi oppnår minst 20 Mbit/s nedstrøms og 10 Mbit/s oppstrøms hastighet i over halvparten av målingene hos både Telenor og Telia. I over 20 % av målingene oppnår vi over 40 Mbit/s nedstrøms og over 20 Mbit/s oppstrøms hastighet.
- Den oppnådde hastigheten varierer i begrenset grad gjennom døgnet. Vi observerer ofte 1-2 Mbit/s høyere hastigheter om natten når trafikkbelastningen er lavere. Dette tyder på at mobilnettene per i dag er godt dimensjonert for å håndtere trafikkbelastningen.
- Mobilnettene leverer normalt en hastighet som ikke begrenser brukeropplevelsen for nettsurfing og videostrømming. Disse tjenestene fungerer godt med en moderat hastighet, og vi ser ingen forbedring i brukeropplevelse når den tilgjengelige nedstrøms hastigheten øker utover 7 Mbit/s. Tiden det tar å laste en webside er oftest bestemt av andre forhold enn tilgjengelig nedlastingshastighet.
- Operatørene implementerer ulike mekanismer i sine nett for å forbedre brukeropplevelsen. Vi observerer at Telia benytter en såkalt webaksellerator for å bedre ytelsen. Dette gjør at Telia kan levere video med en høyere bitrate enn andre operatører, selv om den tilgjengelige hastigheten er den samme.

Mobiltjenester på tog

- Målingene av mobildekning på tog er videreført fra 2015 til 2016, men i noe mindre omfang. Dette skyldes praktiske vanskeligheter med innplassering av måleutstyr på tog.
- Vi observerer en kraftig økning i 4G-dekningen fra 2015 til 2016 om bord på togene langs de strekningene vi måler. Dekningen på lokaltogstrekninger har økt fra 9 % til 35 % for Telia og fra 32 % til 62 % for Telenor. På Intercitystrekninger har deknningen økt fra 17 % til 46 % for Telia og fra 28 % til 57 % for Telenor.

- Mobilselskapene samarbeider med jernbanesektoren for å installere signalforsterkere om bord på togene for å bedre den opplevde dekingen om bord. Slike signalforsterkere var ennå ikke på plass ved utgangen av 2016, og vi har derfor ingen målinger som viser effekten av disse. Vi håper å kunne gjøre slike målinger i fremtiden.

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 ett hundre målnoder spredt rundt i Norge. Hver målnode 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.

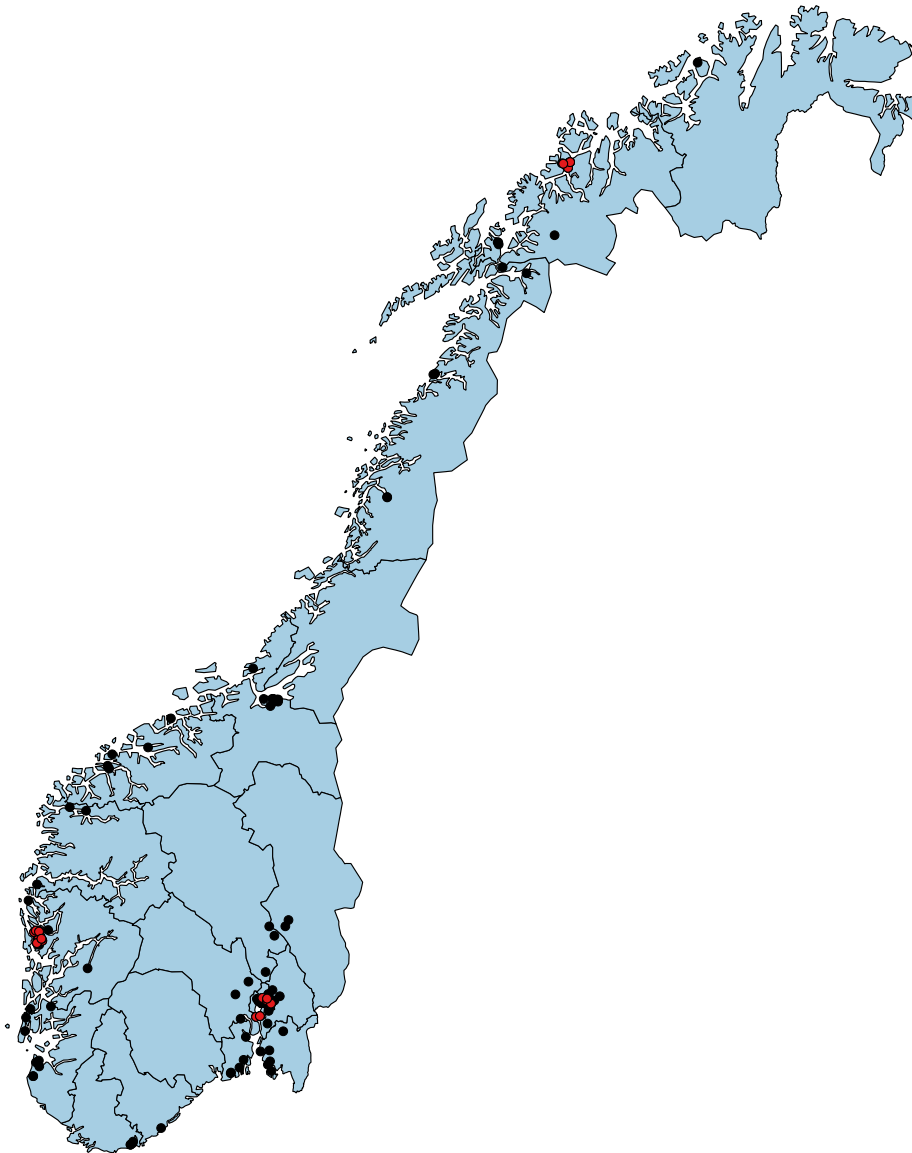
Centre for Resilient Networks and Applications (CRNA) samarbeider med lokale partnere over hele landet som fungerer som vertskap for målnoder. Figur 2.1 gir et inntrykk av den geografiske fordelingen av målnoder. På grunn av et tidligere samarbeid med e-valgprosjektet i Kommunal- og Moderniseringsdepartementet, er mange målnoder 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 målnoder. Det er en overvekt av målnoder 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 målnoder i 59 kommuner, samt om bord på 4 av NSBs regiontog. Antallet målnoder har variert gjennom måleperioden, som vist i figur 2.2. Totalt har vi målinger fra 283 forbindelser fordelt på 141 distinkte målnoder.

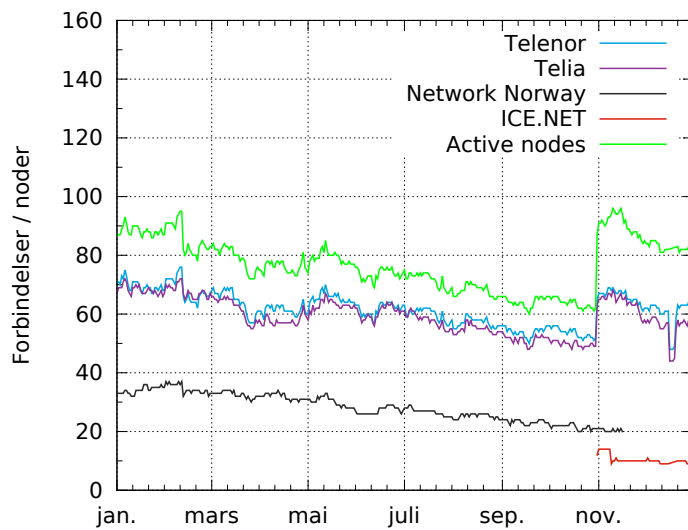
2.1 Mobilnettene vi måler

Vi gjør målinger i flere kommersielle mobilnett i Norge: Telenor, Telia, Network Norway og Ice. Endringer i mobilmarkedet gjør imidlertid at vi ikke har målinger for alle operatørene gjennom hele året. 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

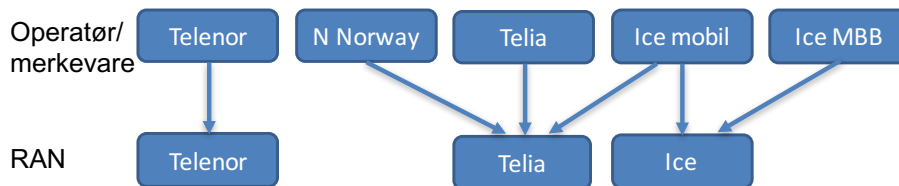
¹Nornet består i tillegg til Nornet Edge av Nornet Core, som brukes til målinger og eksperimenter i fastnett.



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



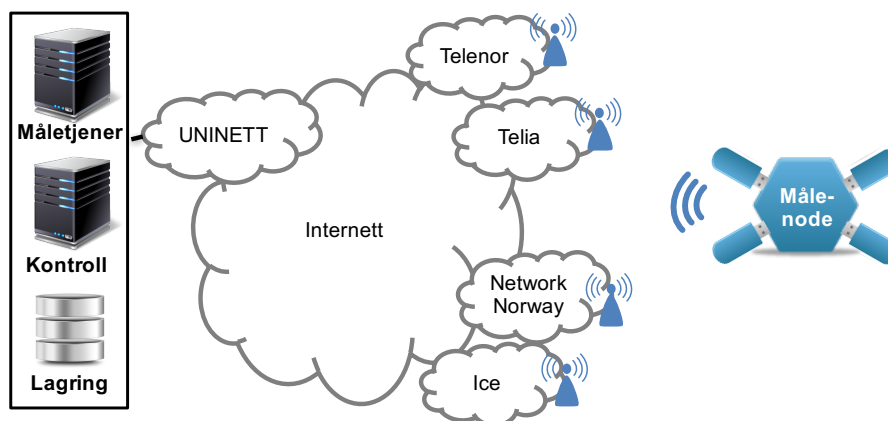
Figur 2.2: Antall aktive målenoder og forbindelser fra hver operatør gjennom 2016.



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

støtter 2G (GSM) og 3G (UMTS). Flatedekningen i LTE-nettet til Ice sikres av deres frekvensressurser 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 har også en del av disse abonnementene i våre målenoder, men av tekniske årsaker inkluderer vi ikke disse i årets undersøkelse. Målingene av mobilt bredbånd i Ice sitt nett startet sent på året, og vi rapporterer derfor ikke resultater som krever lange kontinuerlige måleserier for Ice. I tillegg gjør vi målinger for Network Norway fram til oktober 2016. Network Norway eies av Ice, men både tale og datatrafikken går gjennom Telias radioaksessnett og et eget kjernenett.

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



Figur 2.4: Nornet Edge måleinfrastrukturen.

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 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 modemmet 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. 20 av disse nye nodene er nå operative, i og rundt Oslo, Bergen og Tromsø. Den nye generasjonen målenoder er basert på hyllevarekomponenter, 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. 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 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 ka-

pasitet 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. 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 [1].

3. Bakgrunn og metode

Denne rapporten undersøker den brukeropplevde robustheten og stabiliteten til norske mobilnett. Nytt av året er at vi gjør flere nye målinger knyttet til ytelse i nettene. Vi måler den opplevde nedlastings- og opplastingshastigheten, og vi undersøker hvilken rolle denne hastigheten har for å oppnå en god brukeropplevelse for populære applikasjoner.

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.

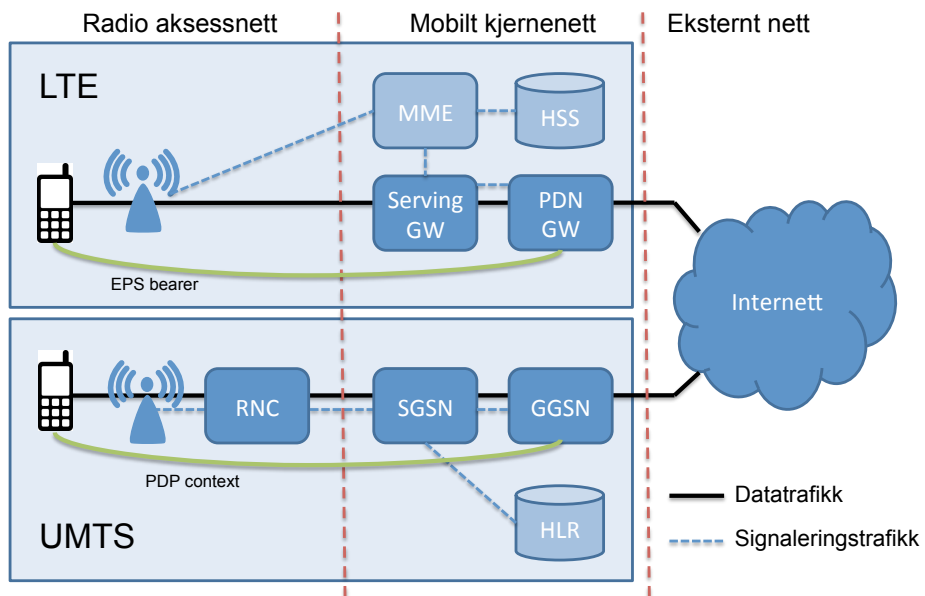
3.1 Mobile bredbåndsnett

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.

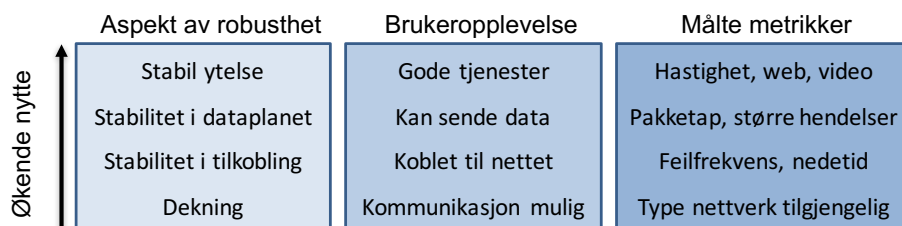
Kjernenettet inkluderer et antall sentrale funksjoner. 4G-nettverk er rene datanettverk, og inkluderer ikke komponenter nødvendig for å produsere linjesvitsjet tale. Slike komponenter er en del av 3G-kjernenettet, men er ikke vist i figuren. Den viktigste delen av kjernenettet for vår diskusjon er komponenten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

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 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.



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



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

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 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 målnoder. Vi rapporterer derfor kun dekningsmålinger fra mobile målnoder, altså noder montert på tog. For disse rapporterer vi den beste teknologien ($2G < 3G < 4G$) som er tilgjengelig for målnoden til en hver tid. Dekningsmålingene langs jernbanen er noe mindre omfattende enn i fjor. Dette skyldes problemer med innplassering av målnoder på tog.

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 årets rapport har vi et utvidet fokus på å måle ytelse. Vi måler hvilken opplastings- og nedlastingshastighet vi oppnår fra våre målnoder. I tillegg måler vi ytelse for to populære nettverksapplikasjoner, nemlig websurfing og videostrømming. Vi måler hvor lang tid det tar å laste en webside, og hvilken

kvalitet vi oppnår på en videostrøm. For begge disse applikasjonene knytter vi 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 mobilnettene. 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.

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 kan vi beregne tre viktige størrelser for hver forbindelse:

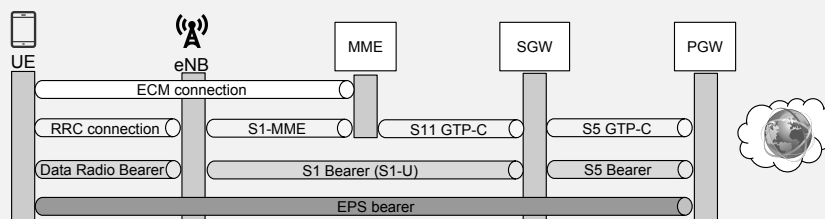
1. Mean Time Between Failures (MTBF) beskriver hvor lenge en forbindelse i gjennomsnitt er tilgjengelig før tilkoblingen blir brutt. Stabile forbindelser vil ha en høy MTBF, mens mindre stabile forbindelser vil ha en lav MTBF. Merk at MTBF bare viser en del av bildet; det kan være stor variasjon i varighet på periodene der forbindelsen er tilgjengelig. En ustabil periode med et høyt antall brudd av kort varighet vil vesentlig redusere 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. Igjen viser denne metrikken bare en del av bildet. En forbindelse med kun ett langvarig brudd vil ha en høy MTTR, mens en forbindelse som i tillegg til det langvarige bruddet har flere korte brudd vil ha en lavere MTTR.
3. Nedetid er beregnet som den totale andelen av måleperioden en tilkobling var utilgjengelig. Nedetiden T_N for en forbindelse henger sammen med MTBF og MTTR: $T_N = MTTR/MTBF$

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.

Vi måler disse størrelsene for Telenor, Telia, og Network Norway. For Ice har vi ikke lange nok måleserier til å presentere meningsfulle resultater for stabilitet i tilkoblingen. Som forklart i kapittel 3, startet målinger av Ice sitt LTE-nett først i november 2016, og det tok noe tid etter dette før driftsstabiliteten for disse forbindelsene var tilfredsstillende. 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.

4.1 Analyse av stabilitet i tilkoblingen

Figur 4.1 viser kumulative distribusjoner for MTBF, MTTR og nedetid for hver operatør. Kumulative 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 *nede til høyre* i det øverste plottet, og *oppe til venstre* i de to nederste.

En overordnet observasjon er at det har vært en positiv utvikling i stabilitet for alle de målte operatørene fra 2015 til 2016. Over 90 % av alle forbindelser har en MTBF på over en dag, og en betydelig andel av forbindelsene (15-45 % for de ulike operatørene) har en MTBF på over en uke. Når man etablerer en tilkobling i et mobilnett kan man altså forvente at det vil gå flere dager før den brytes.

Når en tilkobling først brytes, tar det som regel kort tid før den kan etableres igjen. Nesten alle forbindelsene hos Telia (100 %) og Telenor (94 %) har en MTTR på under ett minutt. En del forbindelser fra Network Norway har noe lenger MTTR, fra fem minutter og opp til en halv time. Dette skyldes en spesifikk hendelse som rammet Network Norway og varte i tre timer. De aktuelle forbindelsene kunne ikke gjenopprette tilkoblingen i denne perioden. Merk at Network Norway opplevde en lignende hendelse også i 2015, som omtalt i fjorårets rapport.

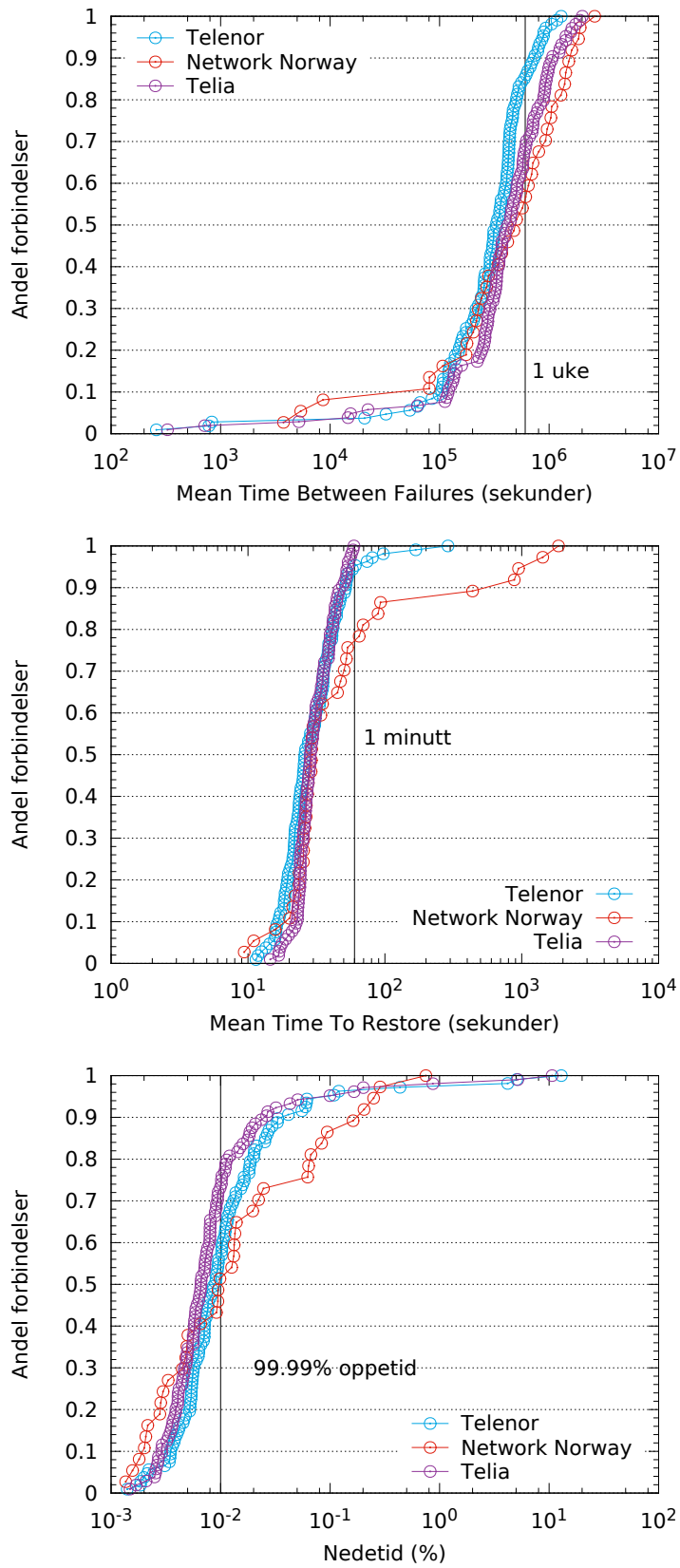
Over halvparten av forbindelsene i alle de målte mobilnettene har en oppetid på minst 99,99 %, noe som betyr at disse forbindelsene er utilgjengelige mindre enn ni sekunder i døgnet i gjennomsnitt. Telia opplever minst nedetid; nesten tre av fire Telia-forbindelser har en oppetid på 99,99 %. Dette skyldes i hovedsak at det går noe lengre tid mellom hvert brudd i tilkoblingen hos Telia enn hos Telenor. Andelen forbindelser som opplever vesentlig nedetid er synkende. Kun to av våre målte forbindelser, en fra Telia og en fra Telenor, opplevde en gjennomsnittlig nedetid på mer enn 10 minutter per dag i 2016.

4.2 Utvikling over tid

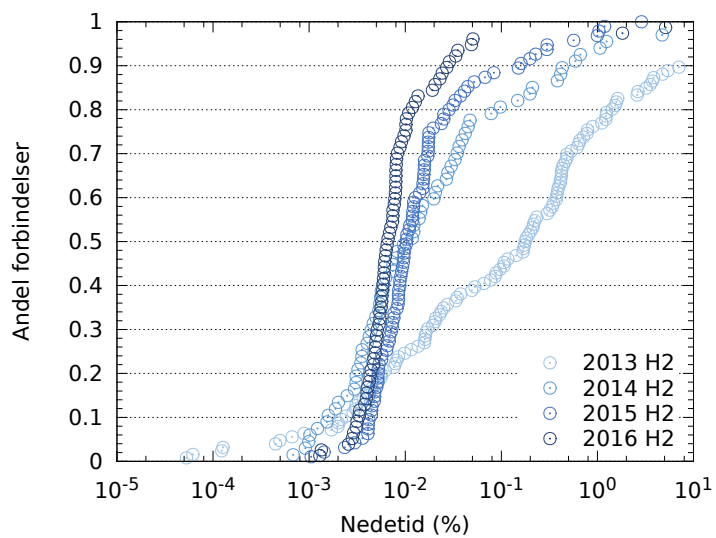
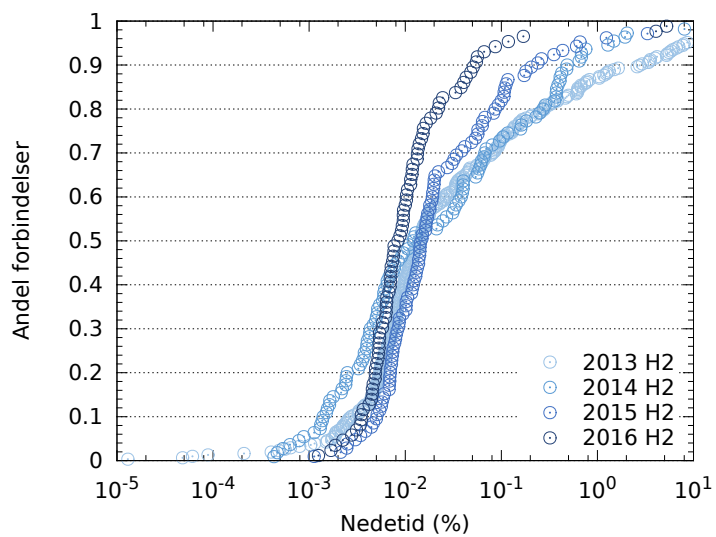
Sammenlignet med tidligere år, ble stabiliteten i tilkoblingen bedre i 2016. Det har vært få større hendelser (se kapittel 6), og færre feil i konfigurasjoner som har slått negativt ut for enkeltoperatører. Tidligere år har vi observert enkeltstående årsaker som har gitt vesentlig nedetid hos minst en operatør. I 2015 og 2016 har vi ikke observert slike effekter.

Figur 4.2 viser utviklingen i nedetid fra 2013 til 2016 for Telenor og Telia. Figuren er basert på måledata fra andre halvår hvert år. Grafene kan sammenlignes med det nederste plottet i 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. Særlig er denne utviklingen tydelig for Telia, som har hatt den største forbedringen i nedetid.

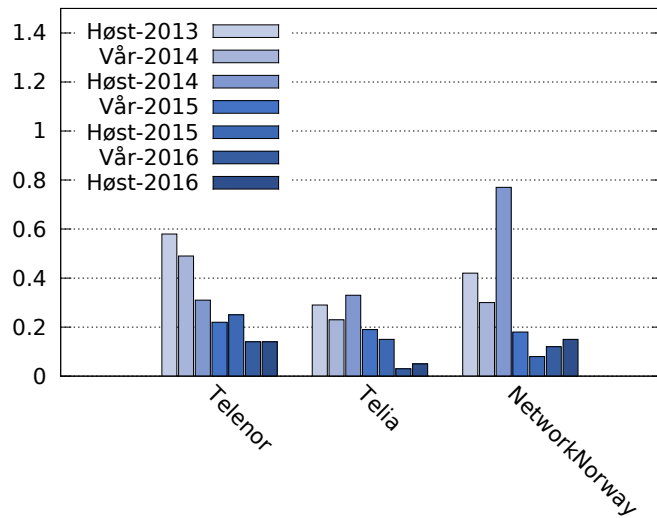
Figur 4.3 viser hvordan andelen forbindelser som i snitt mister tilkoblingen mer enn en gang i døgnet har utviklet seg fra våre målinger startet i juli 2013 til desember 2016. Perioden er delt opp i sju halvår. Denne andelen ligger relativt



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



Figur 4.2: Utvikling i nedetid hos Telenor (topp) og Telia (bunn) fra 2013 til 2016.

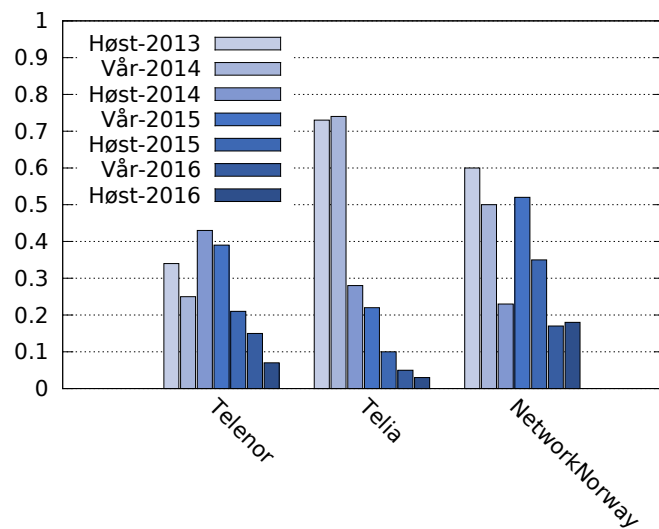


Figur 4.3: Andel forbindelser med MTBF < 1 dag.

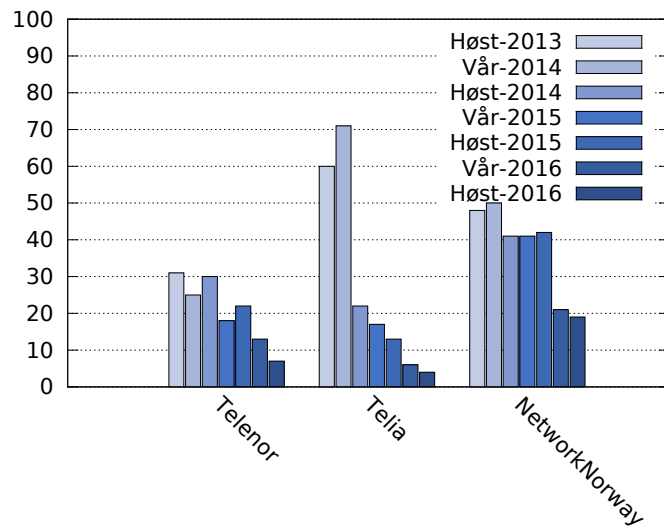
stabil for de fleste operatører tidligere år, men i 2016 så vi en vesentlig reduksjon for Telenor og Telia. Som omtalt i tidligere års rapporter, opplevde Telenor i 2013 og 2014 mange utfall knyttet til problemer med tilordning av dedikerte datakanaler til sine forbindelser. Dette problemet ble løst ved en konfigurasjonsendring i juni 2014, og andelen forbindelser med hyppige brudd i tilkoblingen har vært stabil og gått noe ned siden. Network Norway hadde problemer med hyppige brudd i november 2014 (omtalt i rapporten fra 2015), men lignende problemer har ikke blitt observert siden.

Figur 4.4 viser utviklingen i andel forbindelser der gjennomsnittlig varighet på avbrudd i tilkoblingen var over 1 minutt. Figuren illustrerer hvordan andelen langvarige feil fortsetter å synke hos alle operatører. Særlig er reduksjonen sterk hos Telia, og dette er den viktigste årsaken til den reduserte nedetiden hos denne operatøren. En del forbindelser hos Network Norway opplevde en del langvarige avbrudd i 2015, hvor forbindelser ble brutt og var utilgjengelig i nøyaktig 3 timer før de kunne gjenopprettes. Merk at samme type feil ble observert i 2015, etter porteringen av Network Norways abonnerer fra Mobile Norway til Telias RAN.

I sum observerer vi at reduksjonen i nedetid fra tidligere år fortsetter også i 2016, som vist i figur 4.5. For Telenor og Telia var andelen forbindelser med mer enn 1 minutt nedetid per dag henholdsvis 7 % og 4 % i andre halvdel av 2016.



Figur 4.4: Andel forbindelser med MTTR > 1 minutt.



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

5. Stabilitet i dataplanet

I dette kapitlet ser vi på mobilnettens 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 stor 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.

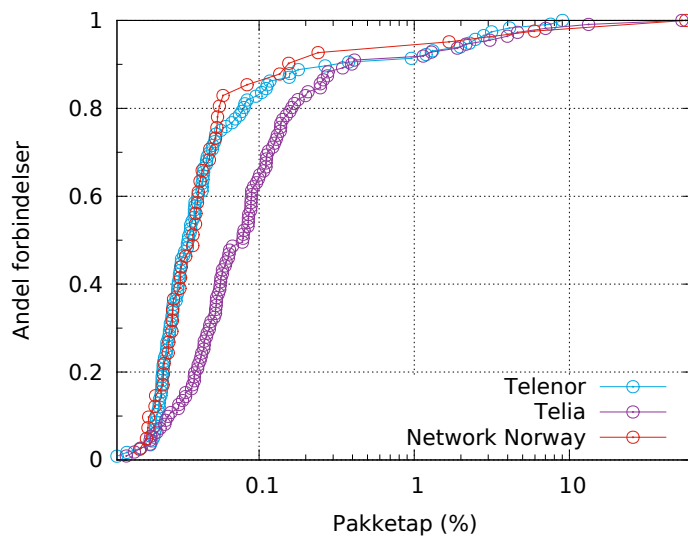
Måletrafikken vi baserer vår analyse på består av små (20 Byte) UDP-pakker som sendes til en sentral server hvert sekund. Serveren sender den samme pakken tilbake umiddelbart. For hver pakke registrerer vi hvor lang tid det tar før svarpakken kommer tilbake. Dersom ingen svarpakke kommer i retur innen 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. Analysen i dette kapitlet er begrenset til Telenor, Telia og Network Norway. Som diskutert over har vi ikke lange nok måleserier for de andre operatørene til å gjøre en meningsfull analyse av stabilitet.

5.1 Tapsrate

Figur 5.1 viser den totale tapsraten hos Telenor, Telia og Network Norway. Denne 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 2016, eller at pakketapet var høyere enn normalt i bare deler av perioden.

Vår første observasjon er at pakketap er beskjedent i det store flertallet av forbindelser, og lavere enn i 2015. 64-85 % av forbindelsene har mindre enn 0,1 % pakketap for alle operatører.

Telenor og Network Norway har det laveste pakketapet. Om lag 85 % av forbindelsene hos disse operatørene har et gjennomsnittlig pakketap på under 0,1 %, og halvparten av forbindelsene har et gjennomsnittlig pakketap under 0,04 %. Telia har noe høyere pakketap. 64 % av forbindelsene til Telia har et gjennomsnittlig pakketap på under 0,1%. Merk at pakketapet i Telia ikke har blitt høyere fra 2015 til 2016, det har faktisk gått noe ned. Pakketapet i Telenor



Figur 5.1: Pakketap

Operatør	10 persentil	Median	90 persentil	Gjennomsnitt
Telenor	0,02%	0,03%	0,10%	0,14%
Telia	0,02%	0,06%	0,25%	0,30%
Network Norway	0,02%	0,04%	0,15%	0,23%

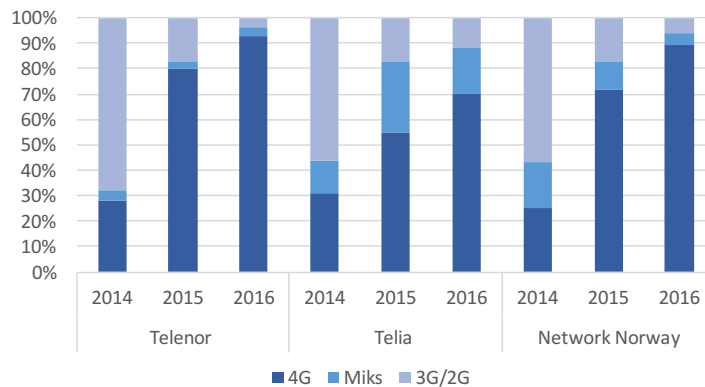
Tabell 5.1: Pakketap

og Network Norway har imidlertid blitt vesentlig lavere.

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 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.

En hovedårsak til den observerte reduksjonen i pakketap er utrulling av 4G. Som diskutert i forrige års rapport er pakketapet vesentlig lavere i 4G enn i 3G. Figur 5.2 viser utviklingen i andel forbindelser som er på henholdsvis 3G, 4G og en miks av disse hos hver av de tre operatørene. Tallene er basert på målinger fra en uke i desember hvert år. En forbindelse klassifiseres som 4G dersom den har vært tilkoblet 4G-nettet minst 90 % av tiden, og som miks dersom den har vært tilkoblet 4G-nettet, men mindre enn 90 % av tiden. Forbindelser som aldri har vært på 4G klassifiseres som 3G/2G. Figuren viser at andelen forbindelser knyttet til 4G-nettet har økt kraftig de siste årene. Vi observerer også at andelen forbindelser som har vært tilkoblet 4G-nettet, altså summen av 4G og Miks, er relativt lik for de ulike operatørene. Telia har imidlertid vesentlig flere forbindelser som tidvis er på 4G og tidvis på 3G/2G.

Det relativt høyere pakketapet i Telia sammenlignet med de andre operatør-



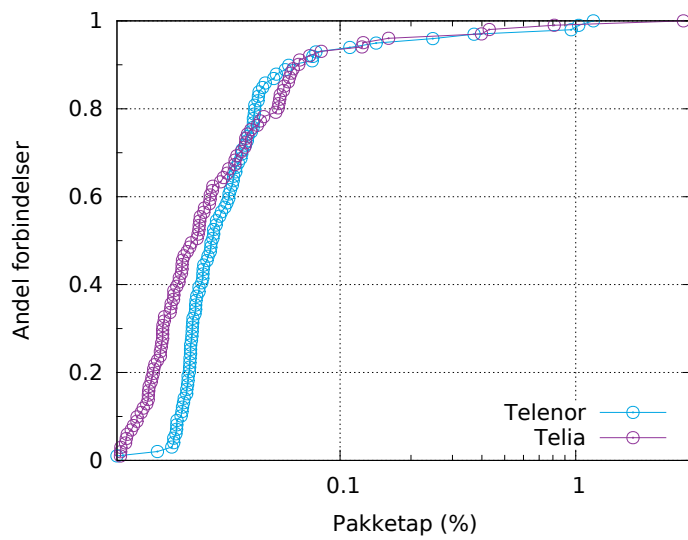
Figur 5.2: Overgang til 4G for ulike operatører

rene skyldes disse forbindelsene som veksler mellom 4G og 3G/2G. Årsaken til denne vekslingen er at Telia ikke implementerer såkalt sømløs handover fra 3G til 4G. Dersom en Teliaforbindelse først har koblet seg til 3G-nettet, kreves det en periode uten datatrafikk over forbindelsen før den oppgraderes til 4G. Siden våre målnoder sender trafikk kontinuerlig, er slike pauser sjeldne. Våre målnoder opplever dermed lengre perioder med 3G-tilkobling enn brukerterminaler med et annet trafikkmønster ville gjort. For eksempel vil en telefon relativt ofte oppleve perioder uten bruk som er lange nok til at den aktive 3G-tilkoblingen brytes, slik at en ny 4G-tilkobling kan etableres. Målingene tyder på at Telenor og Network Norway implementerer sømløs handover fra 3G til 4G, og disse forbindelsene vil derfor ikke på samme måte bli hengende på 3G dersom 4G er tilgjengelig. Dette er et eksempel på hvordan ulike konfigurasjoner i mobilnettet slår ut i ulik tjenestekvalitet.

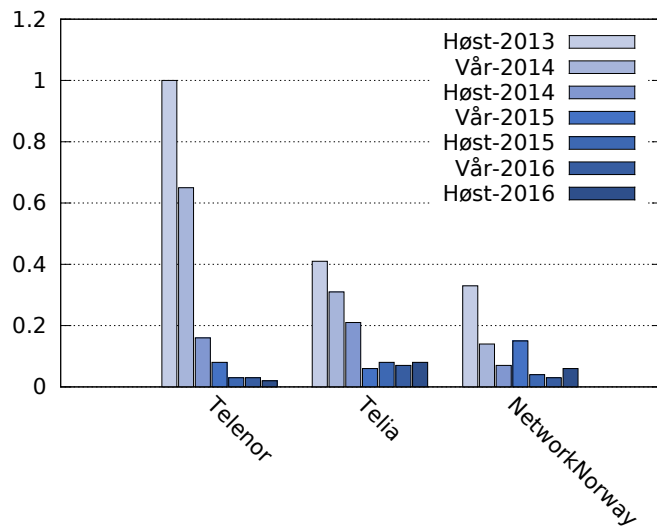
Forskjellen i pakketap mellom Telia og Telenor/Network Norway kan fullt ut forklares av mangelen på sømløs handover. Figur 5.3 viser pakketap hos Telenor og Telia, men kun for 4G. Figuren viser at Telia ikke har høyere pakketap enn Telenor på 4G, faktisk er pakketapet noe lavere for Telia for et flertall av forbindelsene.

5.2 Utvikling over tid

Figur 5.4 viser median pakketap i hvert halvår vi har målinger for, for hver operatør. De foregående årene har vi sett en betydelig reduksjon i pakketap. 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, har vi i 2016 sett en ytterligere reduksjon hos Telenor og Network Norway, drevet av overgangen til 4G. Vi observerer en ytterligere, men mer begrenset, reduksjon i pakketap hos disse operatørene fra 2014 til 2015. For Telia er tapsraten om lag den samme i 2016 som i 2015.



Figur 5.3: Pakketap, kun 4G-forbindelser



Figur 5.4: Utvikling i median tapsrate

6. Større hendelser

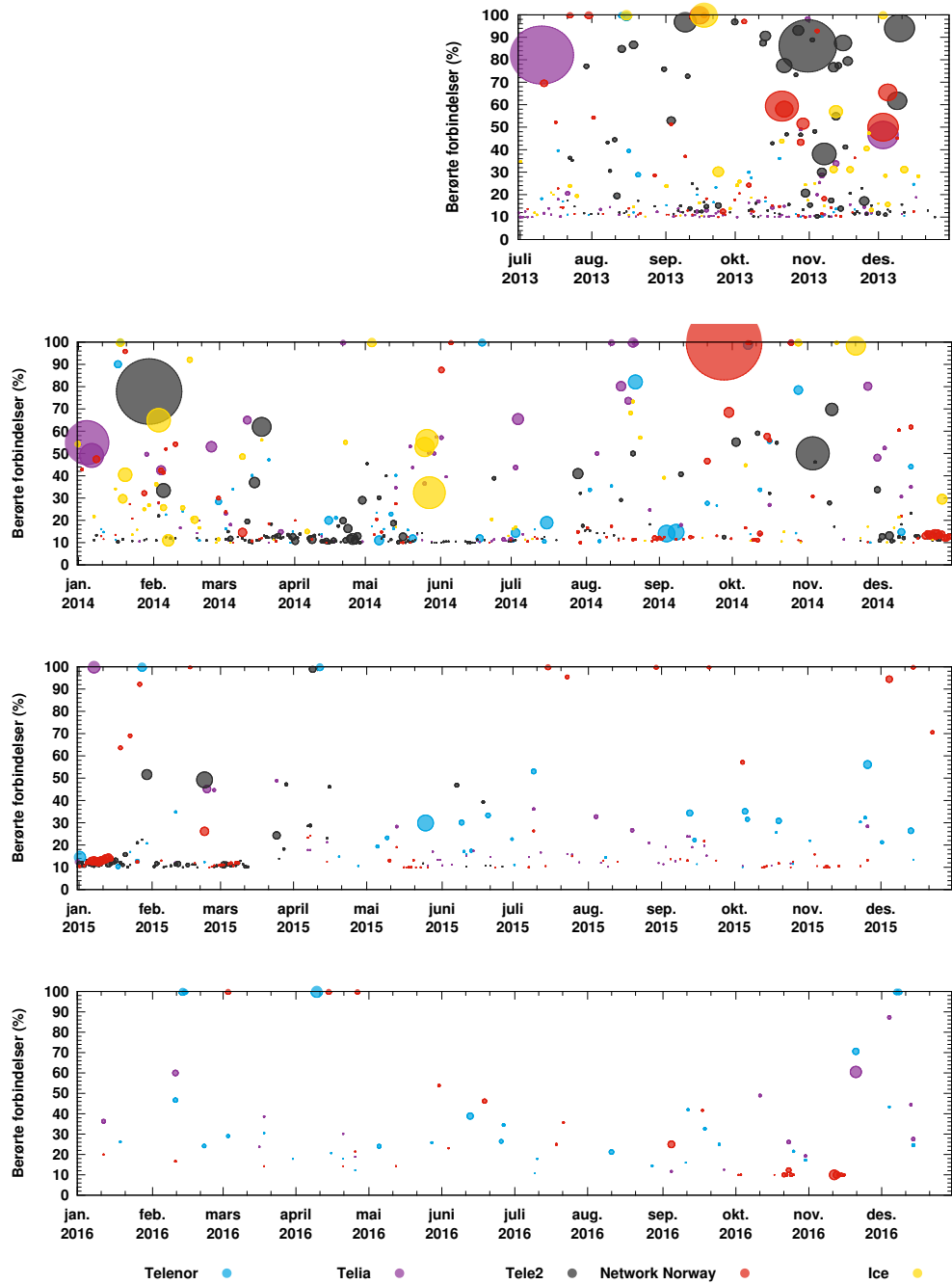
Måledata fra det samme eksperimentet som beskrevet i forrige kapittel kan også brukes til å identifiserer *større hendelser*, der mange forbindelser fra den samme operatøren opplever unormalt stort pakketap. Slike hendelser forårsakes som regel av feil i sentrale deler av mobilnettene. Større hendelser 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. Der-som 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 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 figuren¹.

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

En del hendelser med noe omfang er oppsummert i tabellen under. Merk at ingen av disse hendelsene er i nærheten av å ha samme omfang som utfall omtalt i rapportene for 2014 og 2013.

¹y-aksen angir det maksimale antallet forbindelsen 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>Operatør: Telenor</p> <p>Dato: 11. august</p> <p>Varighet: 08:00 - 08:45</p> <p>Berørte forbindelser: 40%</p> <p>Pakketap: 100%</p> <p>Kommentar: De berørte forbindelsene mistet tilkoblingen til nettet, og kunne ikke gjenopprette denne. To tredjedeler av de berørte forbindelsene var utilgjengelige i minst 5 minutter. Feilen berørte forbindelser fra hele landet, og var derfor trolig forårsaket av en sentral komponent i mobilnettet. En grundigere beskrivelse av denne hendelsen ble publisert på vår blogg https://www.nmtb.no/nornet-edge-monitored-todays-telenor-service-outage/.</p>
<p>Operatør: Telia</p> <p>Dato: 21. november</p> <p>Varighet: 16:04 - 16:20</p> <p>Berørte forbindelser: 60%</p> <p>Pakketap: 100%.</p> <p>Kommentar: De berørte forbindelsene mistet ikke tilkoblingen til nettet, men opplevde 100 % pakketap så lenge hendelsen varte. Telia har bekreftet at hendelsen skyldtes en ruter som feilet på en av deres sentrale lokasjoner. Feilen berørte også One Calls kunder, men disse kunne gjenoppta trafikk etter kort tid.</p>

Merk at vår måleinfrastruktur ikke fanger opp alle store hendelser og utfall i mobilnettene. Noen hendelser påvirker kun tjenester som tale eller SMS/MMS. Disse tjenestene måles ikke av vår infrastruktur, og slike feil vil derfor ikke bli fanget opp. Dette var for eksempel tilfelle den 19. februar, da over 1 million av Telenors kunder opplevde å ikke kunne ringe eller motta samtaler i over 3 timer [2]. Årsaken til utfallet var en programvarefeil i Telenors HLR utløst av en uvanlig signaleringmelding over SS7-protokollen. Merk også at denne feilen kun rammet 2G- og 3G-nettene. Det store flertallet av våre forbindelser går over 4G, som ikke ble berørt av feilen.

Andre feil berører kun geografisk avgrensede områder. Dette vil typisk være tilfelle for stormer eller skred som rammer deler av landet. Vi oppfatter slike utfall som større hendelser kun dersom en vesentlig andel av våre målenoder blir berørt. Dette er grunnen til at flere store hendelser som førte til utfall i mobilnettene ikke fremgår av vår oversikt. Vi registrerer at noen av våre måleforbindelser ble påvirket av ekstremværet Tor som rammet Vestlandet den 29. januar 2016, og av stormen som rammet Sørlandet tidlig november 2016. Vi har imidlertid ikke et tilstrekkelig antall målenoder i disse områdene til å detektere slike utfall som noe utover normal drift.

7. Stabil ytelse

I årets rapport har vi et større fokus enn tidligere på å måle ytelse i mobilnettene. Den brukeropplevde ytelsen avhenger av flere faktorer, som dekningsforhold, antall samtidige brukere og interferens i området. Våre målenoder er plassert innendørs. Vi har ikke kontroll over lokale forhold som hvor i bygningen målenodene er plassert. Dekningsforholdene vil variere noe fra node til node, men alle målenodene har god dekning i henhold til operatørens dekningskart.

I det følgende presenterer vi resultater fra tre ulike typer målinger:

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.
3. Kvaliteten på **videostrømming** over forbindelsene. Vi ser på hvilken videokvalitet som velges av videotjeneren, og hvordan denne avhenger av den målte hastigheten. Vi ser også på hvor ofte vi opplever avbrudd i avspillingen på grunn av manglende data.

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 kapitlet er derfor basert kun på målinger fra nye målnoder.

7.1 Opplastings- og nedlastingshastighet

Vi måler hastigheter ved hjelp av en åpen klient som lar oss kjøre målinger mot Ooklas `speedtest.net`¹ fra våre målnoder. Testene kjøres ikke 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

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

et grovt estimat av nedlastingshastigheten. Deretter velger den en tilstrekkelig stor filstørrelse for å gjennomføre selve hastighetsmålingen. Prosedyren gjentas for både nedlastings- og opplastingshastighet.

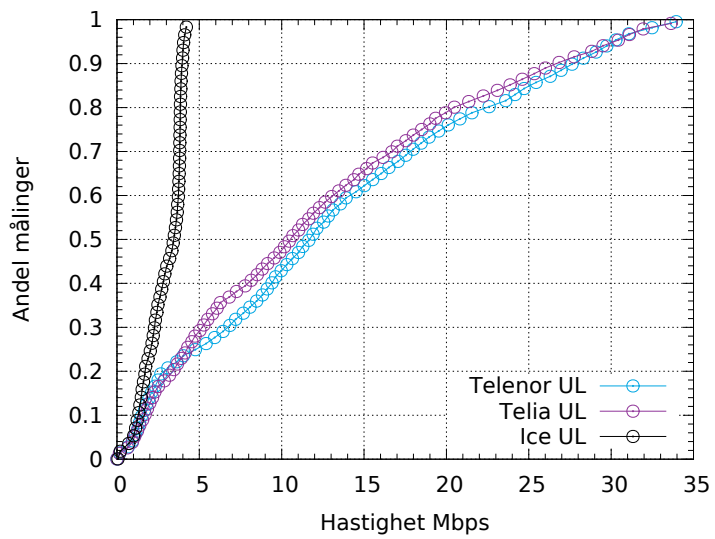
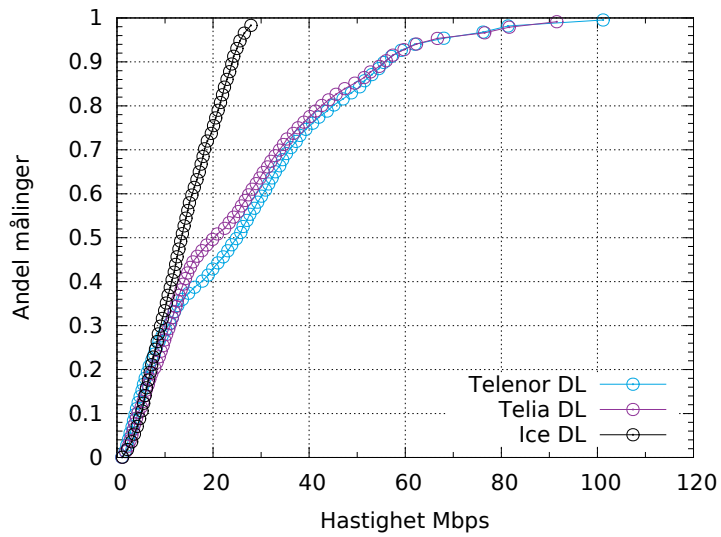
Målingene er foretatt over en periode på 84 dager fra 09/11/2016 til 31/01/2017. Hastighetsmålingen gjentas tre ganger i døgnet, klokken 01:00, 13:00 og 18:00, for å fange opp eventuelle forskjeller som skyldes ulik trafikkbelastning gjennom døgnet. Til sammen har vi opptil 236 målinger for hver forbindelse, totalt 3229 målinger fra 17 forbindelser for Telenor, 3395 målinger fra 17 forbindelser for Telia, og 1025 målinger fra 12 forbindelser for Ice.

Figur 7.1 viser fordelingen av nedlastings- og opplastingshastigheter for hver av operatørene. Målingene for Ice er foretatt med deres mobilt bredbåndsabonnement, som benytter frekvenser i 450 MHz-båndet i tillegg til høyere frekvenser. Det kan virke som Ice-abonnementene hadde administrative hastighetsbegrensninger på det tidspunktet da målingene ble utført, og dermed ikke gir et reelt bilde av den maksimale hastigheten som kan oppnås i nettet. Tydeligst ses denne begrensningen for opplastingshastigheter, som er begrenset til 4 Mbit/s.

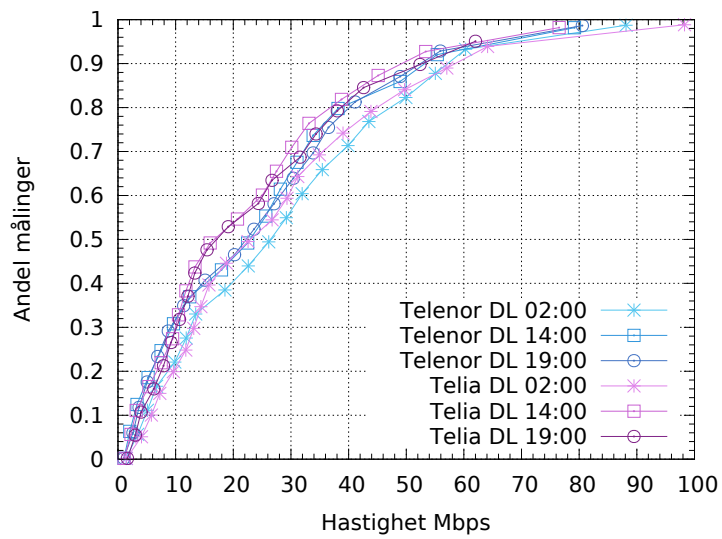
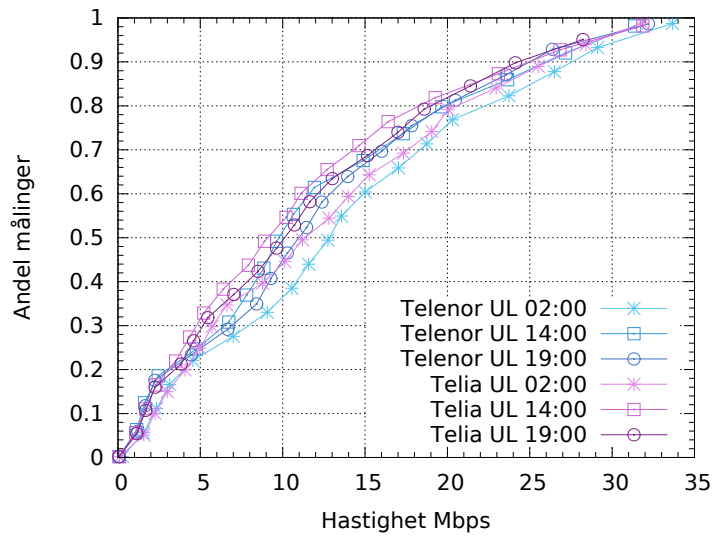
For Telenor og Telia er det ingen administrative begrensninger på hastigheten som kan oppnås i nettet, og disse nettene oppnår vesentlig høyere hastigheter. Det er svært små forskjeller i hastighet mellom disse operatørene, både oppstrøms og nedstrøms. Den gjennomsnittlige nedlastingshastigheten er 31,6 Mbit/s for Telenor og 27,4 Mbit/s for Telia. For opplastingshastigheten er tilsvarende tall 13,1 Mbit/s for Telenor og 12,2 Mbit/s for Telia. I over halvparten av forsøkene hos begge operatører oppnår vi over 20 Mbit/s nedstrøms og over 10 Mbit/s oppstrøms hastighet. I over 20 % av forsøkene oppnår vi over 40 Mbit/s nedstrøms og over 20 Mbit/s oppstrøms hastighet. Hos begge operatører ser vi et lite antall målinger, om lag 0,5 %, 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. I den grad det finnes forskjeller i hastighet mellom Telenor og Telia, er dette grunnen.

Figur 7.2 viser hvordan den målte hastigheten varierer mellom ulike tidspunkter på døgnet. Både Telenor og Telia har noe høyere hastigheter (opp og ned) om natten enn om dagen. Typisk oppnår våre målenoder 1 - 2 Mbit/s høyere hastighet om natten enn midt på dagen. 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. De observerte forskjellene er imidlertid ikke særlig store, noe som tyder på at mobilnettene har nok kapasitet til å håndtere dagens trafikkbelastning.

Figur 7.3 viser hvordan den målte nedlastingshastigheten varierer for hver enkelt forbindelse. For hver forbindelse hos Telenor (øverst) og Telia (nederst) viser figuren median, høyeste og laveste oppnådde hastighet. De tykke markørene angir 25 og 75 persentilene for hver forbindelse. 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. Halvparten av forbindelsene til Telenor har en interkvartilavstand på mindre enn 13,3 Mbit/s, mens tilsvarende tall for Telia er 12,5 Mbit/s. Variasjonen i hastighet er med andre ord ganske lik hos de to operatørene. For begge er interkvartilavstanden under halvparten av gjennomsnittlig nedlastingshastighet.



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



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

Vi ser også at det i stor grad er de samme målenodene som oppnår høy/lav nedlastingshastighet hos begge operatørene. En naturlig forklaring på dette kan være at nodene som oppnår lave hastigheter står på lokasjoner med krevende dekningsforhold.

7.2 Lasting av websider

For å undersøke sammenhengen mellom målt nedlastingshastighet og brukeropplevelse, måler vi tiden det tar å laste forsiden på to populære nettsider, **nrk.no** og **vg.no**. Målingene er foretatt mellom 09/11/2016 og 31/01/2017. 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 gjennom måleperioden. 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. Totalt har vi gjennomført 22947 nedlastinger av hver nettside.

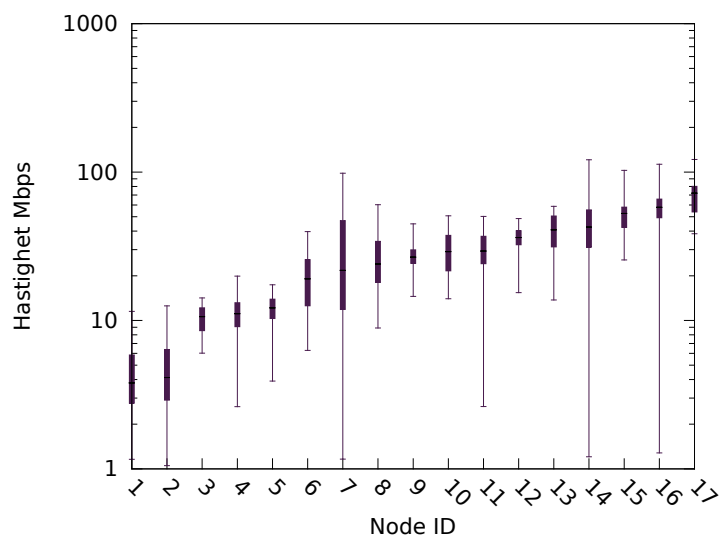
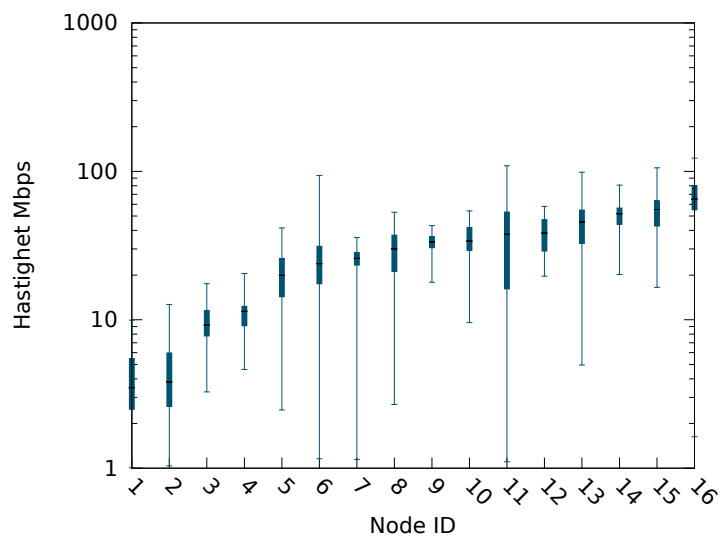
Normalt vil operativsystemer og nettlesere bruke flere ulike teknikker for å redusere tiden det tar å vise en nettside. Ofte vil oppslag i DNS² utgjøre en vesentlig del av tidsbudsjettet. For eksempel kan visning av forsiden på **vg.no** involvere lasting av innhold fra så mye som 25 ulike domener. Operativsystemet 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.

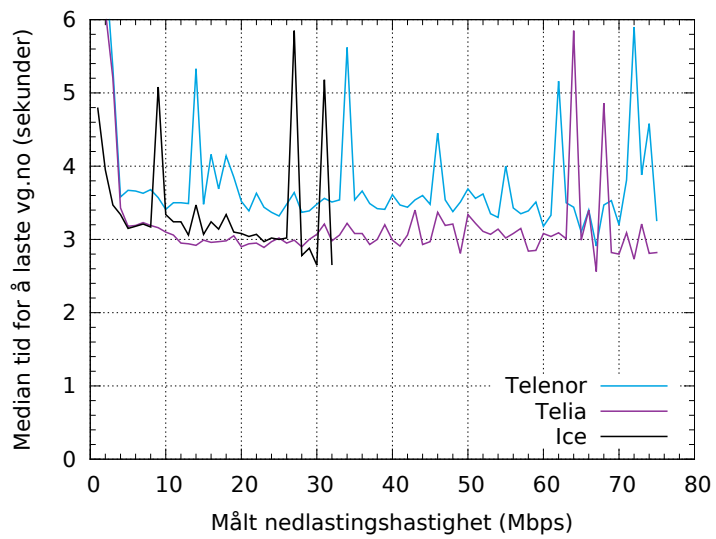
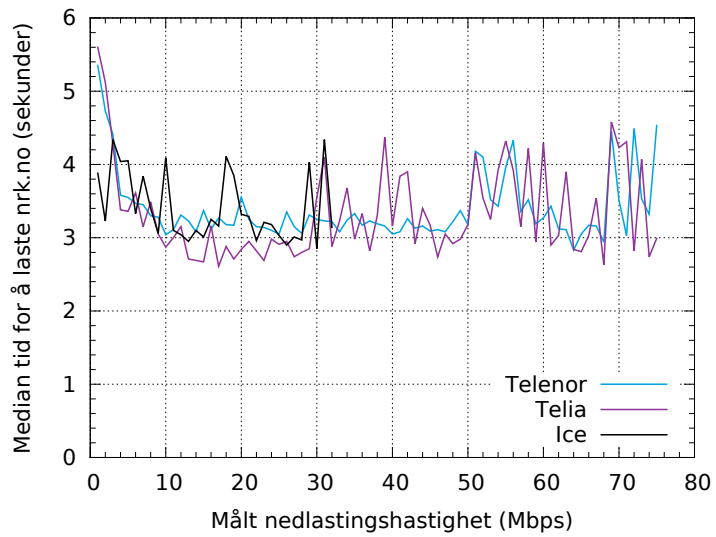
Målet med dette eksperimentet er å undersøke sammenhengen mellom den målte ned- og opplastingshastigheten og brukeropplevelsen ved nettsurfing. Vi grupperer derfor alle nettsidevisningene etter hvilken nedlastingshastighet som ble målt rett før nettsiden ble lastet. Vi ser på alle målinger der nedlastingshastigheten 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.

Den viktigste observasjonen fra figuren er at det er liten sammenheng mellom nedlastingshastighet og tiden det tar å vise en nettside, så lenge hastigheten er over et visst minimumsnivå. Dersom nedlastingshastigheten økes fra 4 Mbit/s til 7 Mbit/s gir det en svært beskjeden reduksjon i lastetiden. En videre økning utover 7 Mbit/s gir ikke noen målbar reduksjon i lastetiden. Det er også liten

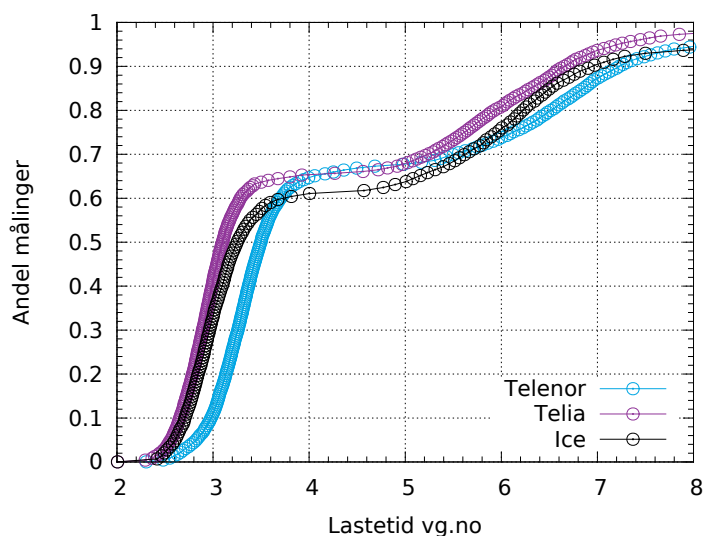
²Domain Name System er tjenesten som brukes for å oversette domenenavn til IP-adresser.



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



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



Figur 7.5: Fordeling av lastetider for `vg.no`

forskjell mellom operatørene når det gjelder lastetid. Vi har gjort tilsvarende analyse for opplastingshastigheter, med tilsvarende resultater. Dette viser at for vanlig nettsurfing har nedlastingshastigheten lite å si for brukeropplevelsen. Viktigere for brukeren er det at en akseptabel minimumshastighet kan oppnås i ulike situasjoner. Dekning, stabilitet og nok kapasitet til å håndtere mange samtidige brukere er viktige parametere for å gi en god brukeropplevelse.

Figur 7.4 viser imidlertid en betydelig varians i median lastetid for de forskjellige hastighetene. Denne variansen er særlig tydelig for `vg.no`, men er også synlig for `nrk.no`. En nærmere analyse av dataene viser en *bimodal* distribusjon av lastetider, det vil si at lastetiden ofte havner i et av to typiske intervaller. Figur 7.5 viser fordelingen av lastetider for `vg.no`, uavhengig av den målte nedlastingshastigheten. Figuren viser at i om lag 60 % av forsøkene opplever vi en lastetid på mellom 2,5 og 4,0 sekunder. Vi ser nesten aldri lastetider mellom 4,0 og 5,0 sekunder, mens en vesentlig andel av forsøkene ender med en lastetid på mellom 5,0 og 7,0 sekunder. Den samme effekten finnes for lasting av `nrk.no`, om enn i noe mindre grad.

Ved nærmere inspeksjon ser vi at i tilfeller der nedlastingen tar mer enn 4 sekunder blir vesentlig flere objekter lastet ned fra websidene. Normalt involverer den simulerte visningen av `vg.no` at mellom 60 og 70 objekter lastes ned. Noen ganger observerer vi imidlertid at dette antallet øker til godt over 100 objekter. De ekstra objektene virker å være tilleggsinformasjon som benyttes av ulike analyseverktøy relatert til objektene som vises på siden. Dette er typisk informasjon som benyttes for statistikk, analyse og avregning forbundet med brukeradferd eller reklame. Resultatene tyder på at slik informasjon genereres tilfeldig for et utvalg av dem som laster ned siden. Det er uklart fra våre forsøk om den ekstra lastetiden generert av dette innholdet vil ha en innvirkning på brukeropplevelsen i form av senere sidevisning. Vi ser at det meste av innholdet som vises på siden lastes ned før dette analytiske innholdet.

7.3 Strømming av video

Video er den formen for innhold som genererer mest trafikk i mobilnettene. I følge Ericsson Mobility Report er halvparten av all datatrafikk i mobilnettene video i 2016, og denne andelen forventes å øke til 75 % i 2022 [3]. Telenor publiserte nylig en oversikt som viser at også i Norge er det video-tunge applikasjoner som dominerer trafikkbildet.

Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) er den mest populære teknikken for strømming av videoinnhold over Internett, og har bred støtte fra alle relevante deler av industrien. DASH deler videostrømmen opp i mange små filer som inneholder korte videoklipp på noen få sekunder. Hvert segment er ofte kodet i flere forskjellige kvaliteter, og klienten velger dynamisk hvilken kvalitet den skal be om for hvert segment. Hvilket kvalitetsnivå som velges avgjøres blant annet av hva slags klient som etterspør videoen, og av kvaliteten på forbindelsen mellom klient og tjener.

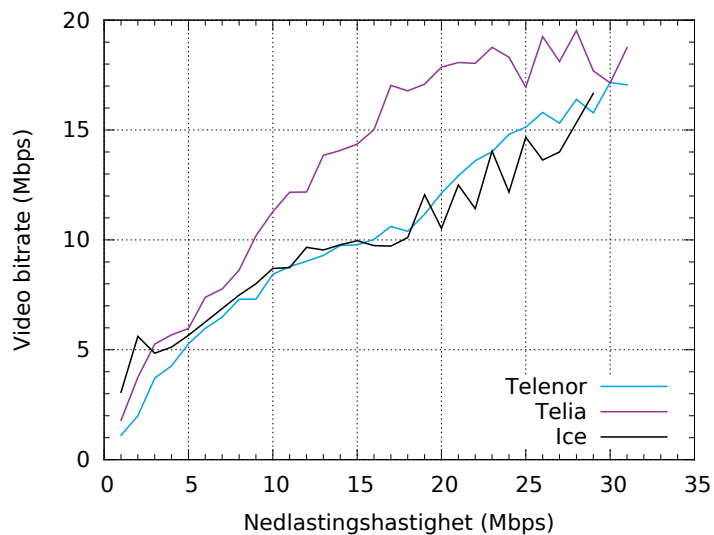
I våre målinger emulerer vi DASH strømming ved hjelp av et rammeverk kalt Neubot [4]. Vi strømmer en 30 sekunders video bestående av 15 2-sekunders segmenter fra en HTTP-tjener som er en del av Nornet. Hvert segment er tilgjengelig i 20 forskjellige kvaliteter, tilsvarende bitrater fra 100 kbit/s til 20 Mbit/s. Klientene (NNE målenodene) starter med å be om et videosegment med den laveste bitraten. For hvert mottatt segment estimeres tilgjengelig båndbredde basert på tiden det tok å laste det ned. Klienten fortsetter så å be om nye segmenter med den høyeste bitraten som er mindre enn den estimerte tilgjengelige båndbredden.

Figur 7.6 viser hvilken video bitrate som blir valgt hos hver operatør for forskjellige estimerte nedlastingshastigheter. For hvert eksperiment beregner vi median bitrate over de 15 videosegmentene. Bitraten som vises er gjennomsnittet av disse medianverdiene for den gitte operatøren og nedlastingshastigheten. Figuren viser hvordan den valgte bitraten for alle operatører øker når den tilgjengelige hastigheten blir større. Klienten vil da etterspørre videosegmenter med en høyere kvalitet.

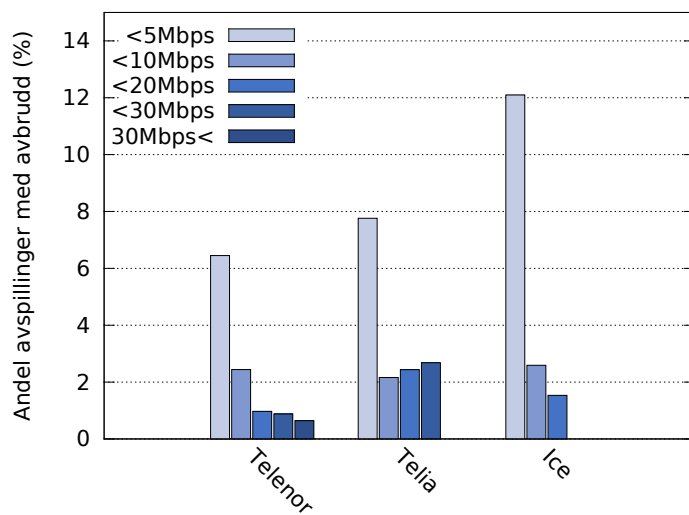
Vi observerer at den valgte bitraten gjennomgående er høyere for Telia enn for de andre operatørene for en gitt estimert nedlastingshastighet. Dette skyldes trolig at Telia benytter en såkalt webaksellerator i sitt nett, for å kunne sende data raskere til sine brukere. En webaksellerator er en boks som står mellom klienten og tjeneren og fungerer som en *proxy* i kommunikasjonen mellom disse. En slik boks vil i praksis dele forbindelsen fra klient til tjener i to. Forbindelsen mellom webakselleratoren og tjeneren er ikke begrenset av hastigheten i mobilnettet, og tjeneren kan derfor sende videosegmenter med høyere kvalitet. Webakselleratoren vil så sende disse segmentene videre til klienten, ofte med spesielle optimeringer i transportlaget for å sørge for at data fortsatt sendes selv om kapasiteten er begrenset. Telia har bekreftet at de bruker en slik webaksellerator i sitt nett. Vi kjennet ikke til om andre operatører bruker tilsvarende teknikker; disse resultatene tyder i så fall på at de er konfigurert mindre aggressivt.

En webaksellerator kan få DASH-tjeneren til å sende videosegmenter med høyere kvalitet enn forbindelsen kan håndtere. I slike tilfeller vil det kunne føre til at klienten ikke har nok tilgjengelig data i sitt avspillingsbuffer. Videoavspillingen må da stoppes i påventa av at mer data skal mottas, ofte kalt *bufring*.

Figur 7.7 viser andelen videoavspillinger der vi opplever avbrudd i avspil-



Figur 7.6: Sammenheng mellom estimert nedlastingshastighet og bitrate for video



Figur 7.7: Andel videoavspillinger som opplever stans i avspillingen på grunn av buffering.

lingen på grunn av bufring for ulike estimerte nedlastingshastigheter. I disse beregningene antar vi to sekunders avspillingsbuffer. Figuren viser at sjansen for avbrudd er størst i situasjoner med lav tilgjengelig båndbredde. Mellom 6 % og 14 % av videoene opplever avbrudd når den tilgjengelige hastigheten er under 5 Mbit/s. Når hastigheten øker over 5 Mbit/s reduseres sjansen for avbrudd til under 4% hos alle operatører. Vi observerer imidlertid at andelen avspillinger med avbrudd er marginalt høyere for Telia enn for Telenor for høyere hastigheter. Dette kan skyldes bruken av webakselleratorer som diskutert over.

Disse resultatene illustrerer hvordan ulike hensyn må veies opp mot hverandre for å oppnå en god brukeropplevelse. I dette tilfellet kan bruk av en webaksellerator gi bedre kvalitet på videoinnholdet, men med økt risiko for avbrudd som konsekvens. Den observerte forskjellen i avbrudd er imidlertid liten, og i dette tilfellet virker det som bruken denne teknikken slår positivt ut for brukeropplevelsen.

Video fra populære innholdsleverandører strømmes i dag i forskjellige kvaliteter. Mange strømmetjenester tilbyr innhold i HD-kvalitet, noen også i UHD-kvalitet, ofte omtalt som 4K. En vanlig SD videostrøm med en effektiv kodek bruker typisk en bitrate på mindre enn 1 Mbit/s. Normal HD bitrate er 3-5 Mbit/s, mens 4K video typisk benytter 15-20 Mbit/s. Flere populære leverandører, for eksempel NRK, sender i utgangspunktet video med lavere kvalitet til håndholdte enheter. Det er lite trolig at vi får se utstrakt strømming av video med 4K oppløsning over mobilnett med det første. En slik oppløsning gir bare mening på store skjermer, og vi vil trolig ikke se mye av dette før operatørene eventuelt lanserer abonnementer som gjør en mobilforbindelse til et alternativ til fast bredbånd.

Mobilnettene virker derfor å være godt i stand til å strømme video med dagens oppløsning. Våre målinger viser at vi oppnår en median bitrate på 3 Mbit/s i 90 % av tilfellene når nedlastingshastigheten når 5 Mbit/s. Vi oppnår en median bitrate på 5 Mbit/s i 90 % av tilfellene når nedlastingshastigheten når 7 Mbit/s. Som vist i kapittel 7.1, vil man i de fleste tilfeller kunne forvente hastigheter som er høyere enn dette i alle norske mobilnett. Merk likevel at alle våre målinger er foretatt fra stasjonære målenoder; kvaliteten på forbindelsene reduseres betraktelig under mobilitet [5].

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 4 regiontog som benyttes på strekningene Oslo-Bergen og Oslo-Halden. Resultatene som presenteres her er basert på målinger foretatt gjennom hele 2016. En grundigere diskusjon av forhold som påvirker mobiltjenester på tog er gitt i [6].

På grunn av vanskelig tilgang til togsett er målingene fra tog mindre omfattende i 2016 enn de var i 2015. I årets rapport har vi ikke målinger fra strekningene Oslo-Stavanger, Oslo-Trondheim eller Trondheim-Bodø. Vi har heller ikke målinger av Telia på strekningen Oslo-Bergen.

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 den 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. 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. Mobiloperatørene oppgir i sine dekningskart at det er minimum 2G-dekning langs det aller meste av jernbane i Norge. Brukeropplevelsen om bord på toget er imidlertid en ganske annen.

Mobiloperatørene bygger ut sine 4G-nett i høyt tempo, og en økende del av jernbanestrekningene er dekket av 4G. Denne dekningen har stort sett vært konsentrert rundt byer og andre sentrale områder, men er nå i ferd med å om-

Banestrekning	Områder
Lokal	Oslo - Moss Oslo - Eidsvoll Oslo - Drammen Stavanger - Nærbø
Intercity	Oslo - Halden Oslo - Lillehammer Oslo - Drammen
Bergensbanen	Oslo - Bergen via Drammen, Kongsberg og Hønefoss

Tabell 8.1: Banestrekninger.

fatte også mer øde 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.

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 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.

8.2 Mobildekning per banestrekning

Vi deler det norske jernbanenettet inn i 3 delvis overlappende områder i vår analyse, som vist i tabell 8.1.

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"). De oppgitte verdiene er for andre halvdel av 2016.

Tabell 8.2 viser at Telenor hadde noe høyere 4G-dekning langs jernbanen enn Telia sett under ett. Høyest 4G-dekning finner vi naturlig nok i sentrale strøk, med 62% dekning fra Telenor på lokaltogstrekningene.

Operatør	Lokal	Intercity	Bergensbanen
Telenor	62%	57%	39%
Telia	35%	46%	NA

Tabell 8.2: Typisk 4G-dekning per banestrekning, H2 2016

Operatør	Lokal	Intercity	Bergensbanen
Telenor	89%	79%	64%
Telia	83%	72%	NA

Tabell 8.3: Typisk 3G- eller 4G-dekning per banestrekning, H2 2016

Operatør	Lokal	Intercity	Bergensbanen
Telenor	89%	81%	67%
Telia	83%	73%	NA

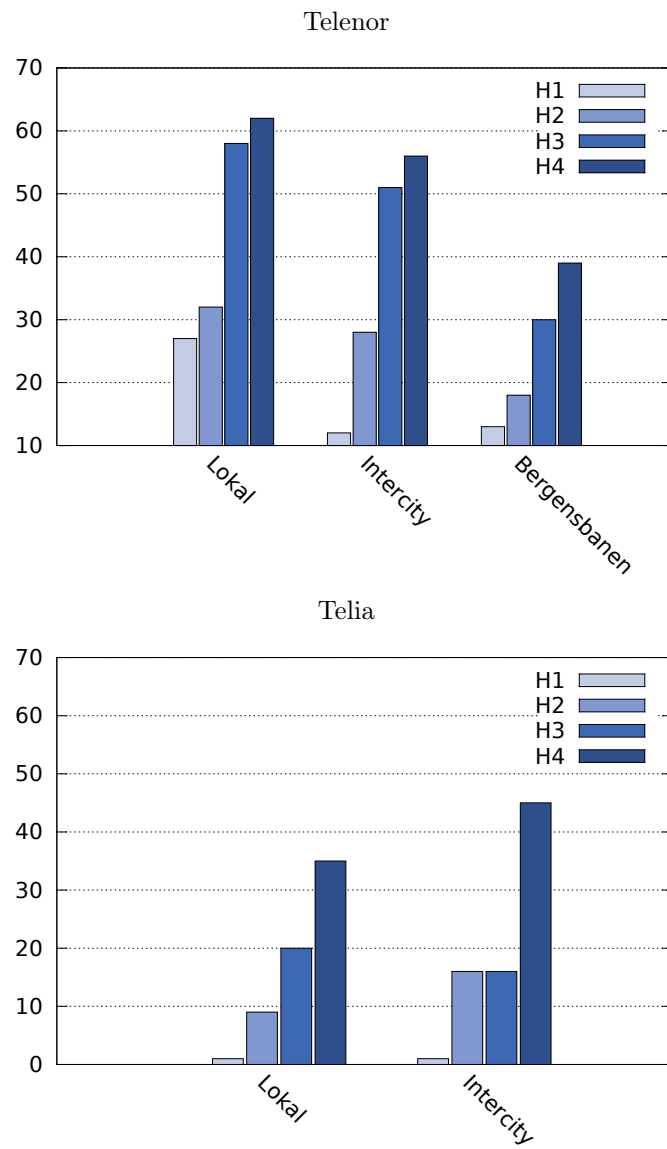
Tabell 8.4: Typisk 2G-, 3G- eller 4G-dekning per banestrekning, H2 2016

Som vist i tabell 8.3, er dekningen fremdeles høyere når vi inkluderer 3G. Om lag 90% av lokaltogstrekningene og over 70% av regiontogstrekningene 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.

8.3 Utvikling over tid

Figur 8.1 viser utviklingen i 4G-dekning fra 2015 til 2016 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 46 % på under to år, og i Lokal-området fra 1% til 35%. Telenor har også en særlig sterk økning i Intercity-området, fra 12% til 57%.



Figur 8.1: Utvikling i 4G-dekning langs jernbanen for hvert halvår fra 2015 til 2016 Telenor (øverst) og Telia (nederst).

Bibliografi

- [1] 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.
- [2] “Rapport etter utfallet i telenor norges mobilnett 19. februar 2016,” tech. rep., Nasjonal Kommunikasjonsmyndighet, April 2016.
- [3] Ericsson, “Ericsson mobility report,” tech. rep., November 2016.
- [4] S. Basso, A. Servetti, E. Masala, and J. C. De Martin, “Measuring dash streaming performance from the end users perspective using neubot,” in *Proceedings of the 5th ACM Multimedia Systems Conference, MMSys '14*, (New York, NY, USA), pp. 1–6, ACM, 2014.
- [5] D. Baltrunas, A. Elmokashfi, A. Kvalbein, and Ö. Alay, “Investigating packet loss in mobile broadband networks under mobility,” 05/2016 2016.
- [6] 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.

