

A person in a blue jacket stands in a dark, snowy landscape at night, looking at a smartphone. The scene is illuminated by a soft light, possibly from the phone or a nearby light source, creating a glow on the snow and the person's jacket. The background shows dark, silhouetted mountains and a faint city light in the distance.

Norske mobilnett i 2020

CRNA - Centre for Resilient Networks and Applications

Norske mobilnett i 2020

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 Kommunal- og moderniseringsdepartementet. Senteret produserer en årlig rapport om tilstanden i norske mobilnett. Årets rapport er den åttende i rekken.

Ansvarlig for årets rapport Dr. Ahmed Elmokashfi
Bidragstere Dr. Amund Kvalbein
Anas Saeed Al-Selwi
Mah-Rukh Fida

Omslag Image by Diane Leber from Pixabay
Publiseringsdato 06. mai 2021
ISBN 82-92593-30-6

Økonomiske bidragstere Kommunal- og moderniseringsdepartementet
Norges Forskningsråd
Telia Norge
Ice Norge

Innhold

1	Sammendrag og hovedfunn	5
2	Stabilitet i tilkoblingen	9
2.1	Nedetid	10
2.2	Vårighet av brudd i tilkobling	11
2.3	Nedetid gjennom året for enkeltforbindelser	11
2.4	Større hendelser	14
2.5	Utvikling over tid	14
3	Stabilitet i dataplanet	17
3.1	Tapsrate	17
3.2	Utvikling over tid	18
4	Stabil ytelse	21
4.1	Opplastings- og nedlastingshastighet	21
4.2	Variasjon mellom forbindelser	23
4.3	Variasjon gjennom året	24
5	Tidlige erfaringer med 5G	27
5.1	Stabilitet i tilkoblingen	27
5.2	Hastighet	29
6	Bredbånd over satellitt	31
6.1	Forsinkelse	32

6.2	Pakketap	32
6.3	Hastighet	32
6.4	Diskusjon	33
7	Metning	35
8	Bakgrunn og metode	39
8.1	Mobilnettene vi måler	39
8.2	Nornet Edge målenoder	41
8.3	Server-side infrastruktur	42
8.4	Metode	42

1. Sammendrag og hovedfunn

2020 var et spesielt år for alle. Restriksjoner knyttet til håndteringen av Covid-19-pandemien førte til at mange måtte finne nye måter å innrette privat- og arbeidsliv. Disse endringene har også virket inn på kommunikasjonsnett, inkludert mobilnettene. Flere studier har rapportert om økt trafikkmengde og endrede trafikkmønstre. Som denne rapporten viser, har disse endringene i liten grad påvirket stabiliteten og tilgjengeligheten til norske mobilnett. Disse nettene har klart seg godt gjennom året, og våre målinger viser fortsatt høy tjenestekvalitet og få avbrudd.

Vi har gjennom flere år sett en positiv utvikling i stabilitet i norske mobilnett. Denne utviklingen har i stor grad vært knyttet til overgangen fra 3G til 4G. Denne overgangen er nå i praksis fullført, og vi ser svært sjeldent forbindelser over 3G. Stabiliteten i norske mobilnett var om lag den samme i 2020 som i 2019.

I årene som kommer vil vi fortsette å følge utviklingen i stabilitet mens mobilnettene går gjennom den neste store oppgraderingen fra 4G til 5G. Et interessant spørsmål i den forbindelse er hvordan denne overgangen vil påvirke tilgjengelighet og stabilitet i nettene.

Resultatene som presenteres i årets rapport er basert på aktive målinger fra 147 stasjonære målepunkter spredt over store deler av Norge gjennom hele 2020.

Årets rapport viderefører mange av målingene fra tidligere år. Vi ser på stabiliteten i tilkoblingen mellom målenoder og mobilnett, og utviklingen i pakketap. Vi måler også hastigheten som oppnås i de ulike mobilnettene. På et overordnet nivå fortsetter den positive trenden vi har sett de senere årene: norske mobilnett opplevde fortsatt få brudd, lavt pakketap og høyere hastigheter i 2020 enn noe år tidligere.

I årets undersøkelse inkluderer vi for første gang målinger av bredbånd over satellitt. Forbindelsen vi måler er fra tilbyderen Bigblu, og realiseres over en geostasjonær satellitt. Årsaken til at vi inkluderer disse målingene i årets undersøkelse, er rollen satellittbredbånd eventuelt kan spille for å oppfylle en planlagt bredbåndsgaranti, der alle husstander i Norge skal ha rett til et grunnleggende bredbåndstilbud. I et slikt scenario er det viktig å forstå stabiliteten og ytelsen til satellittbasert bredbånd over tid.

Vi rapporterer også for første gang målinger fra 5G-nett. Disse nettene er fortsatt i en tidlig utrullingsfase. I perioden da våre målinger ble foretatt, var denne teknologien kun tilgjengelig i et

fåfall områder.

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

Stabilitet i tilkoblingen

- Vi måler god stabilitet i tilkoblingen til mobilnettene. I sum er stabiliteten om lag den samme som i 2019. Vi observerer et stort antall forbindelser som nesten aldri opplever brudd.
- De fleste forbindelser opplever en tilgjengelighet på over 99,99 %, noe som tilsvarer en nedetid på under 9 sekunder i døgnet. Særlig ser vi en positiv utvikling hos Ice, hvor over 80 % av forbindelsene oppnår en slik tilgjengelighet, opp fra om lag 60 % i 2019. Om lag 80 % av forbindelsene i Telias nett og 60 % hos Telenor oppnår en tilgjengelighet på over 99,99 %.
- Vi observerte høyest stabilitet hos Telia og Ice i 2020. En av fem Iceforbindelser gikk gjennom hele året uten en eneste dag med mer enn ett minutt nedetid. Det samme gjaldt om lag en av sju forbindelser hos Telenor og Telia.
- Vi observerer svært få vesentlige hendelser der et større antall forbindelser mister tilkoblingen til nettet samtidig. De fleste slike hendelser finner sted om natten, noe som kan tyde på at de skyldes vedlikehold eller planlagt arbeid i mobilnettet.

Stabilitet i dataplanet

- Det observerte pakketapet var om lag det samme i 2020 som i 2019. Telenor har fremdeles det laveste pakketapet, men det er små forskjeller mellom Telenor og Telia.
- Pakketapet i Ice var høyere enn for de andre operatørene gjennom de første 9 månedene i 2020, før det falt til om lag det samme nivået i de tre siste månedene.

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.
- De observerte hastighetene har vært stort sett uforandret siden vi begynte med denne typen målinger i 2016. Vi ser endringer fra år til år, men i det store bildet er hastighetene stabile.
- Hastighetene økte imidlertid noe fra 2019 til 2020 i alle nett.
- Vi observerer også noe mindre variasjon i hastighet mellom enkeltmålinger tatt fra samme lokasjon og i det samme nettet. Slik variasjon skyldes i stor grad at en målenode veksler mellom å koble seg til ulike basestasjoner som kan gi svært ulike brukeropplevelser.
- Fremdeles har Telenor noe høyere hastigheter enn Telia og Ice. Hastigheten i Telenors nett falt imidlertid noe gjennom året, og de siste tre månedene var hastigheten relativt lik i alle nettene.

Tidlige erfaringer med 5G

- Målingene i 5G-nettene er foretatt i en utbyggingsperiode med store pågående endringer. Det er derfor grunn til å tro at stabilitet og ytelse vil bli bedre over tid.
- 5G-forbindelsene vi måler er lite stabile, og hopper relativt ofte mellom 4G og 5G.
- Vi måler gode hastigheter i Telias 5G-nett, typisk mellom 200 og 400 Mbit/s nedlastingshastighet. Det er imidlertid stor variasjon i hastigheten.
- I Telenors nett har vi ikke lyktes med å oppnå stabilt høye hastigheter. Dette skyldes trolig at nettet ikke var ferdig konfigurert i området der vi målte.

Satellitt

- Vi presenterer i år for første gang målinger av satellittbasert bredbånd. Satellitt spiller ingen stor rolle i det norske bredbåndsmarkedet i dag, men kan være viktig for å gi et minimumstilbud til husstander som ikke har andre tilbud.
- Nedlastingshastigheten for den målte satellittforbindelsen varierer mellom 15 Mbit/s og 40 Mbit/s. Hastigheten varierer mye gjennom døgnet etter hvor mange brukere som er aktive.
- Opplastingshastigheten ligger normalt mellom 4 og 5,5 Mbit/s. Denne er mer stabil.

- Pakketapet er høyere enn i mobilnettene, og ligger normalt mellom 0,07 % og 0,5 %. Enkelte dager kan pakketapet overstige 1 %.
- Forbindelsen vi målte går over en geostasjonær satellitt. Den har derfor relativt høy forsinkelse, med en round-trip-time på om lag 700 ms.

Metning

- Vi presenterer i år for første gang målinger spesielt utviklet for å måle metning, altså en situasjon der trafikkmengden er så stor at ytelsen påvirkes vesentlig.
- Vi detekterer metning i en relativt liten andel av målingene. Metning er vanligst i radioak-sessdelen av mobilnettene, men observeres også i sentrale deler av nettet.
- Vi observerer oftere metning i tettbygde strøk enn i mer spredtbygde områder.
- I perioder med metning opplever vi typisk en reduksjon i nedlastingshastighet på 4-5 Mbit/s.



2. Stabilitet i tilkoblingen

I dette kapitlet undersøker vi stabiliteten til tilkoblingen mellom våre målnoder og mobilnettet. Målnodene forsøker å opprettholde tilkoblingen til de ulike mobilnettene til en hver tid, og tilkoblingen brytes aldri aktivt fra målnodens side¹. Målnodene overvåker kontinuerlig tilkoblingen til de ulike mobilnettene, og logger status på denne. Dersom tilkoblingen brytes, vil målnoden 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 8. Forbindelsene vi måler i årets rapport er i all hovedsak 4G-forbindelser for alle operatører. Vi opplever kun unntaksvis at forbindelser er koblet til 2G eller 3G. Målinger over 5G er ikke inkludert i dette kapitlet, men diskuteres i kapittel 5.

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 målnodene 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 i fjor resultater for Telenor, Telia og Ice. For Ice rapporterer vi stabilitet for *Ice mobil*, som er samme type abonnement som Ice selger for bruk i mobiltelefoner. Ice mobil benytter ikke 450 MHz-båndet, men benytter i stedet Telias nett der Ice ikke har egen dekning på andre frekvenser.

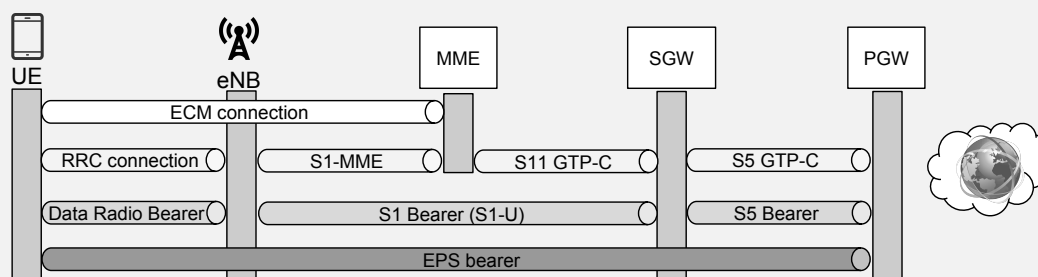
For å sikre at målingene i minst mulig grad påvirkes av feil i vår måleinfrastruktur, gjør vi en rekke filtreringssteg hvor vi fjerner nedetid som vi mistenker skyldes slike forhold. Dette innebærer

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

først og fremst at vi fjerner nedetid knyttet til administrative omstarter av tilkoblingene etter vedlikeholds- eller feilrettingsoperasjoner. Vi opplever også av og til at våre forbindelser låser seg i en tilstand der forbindelsen er aktiv men datatrafikk ikke kan sendes. Nedetid knyttet til slike hendelser filtreres bort.

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 kjernenettet 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 mobilnettet. 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.



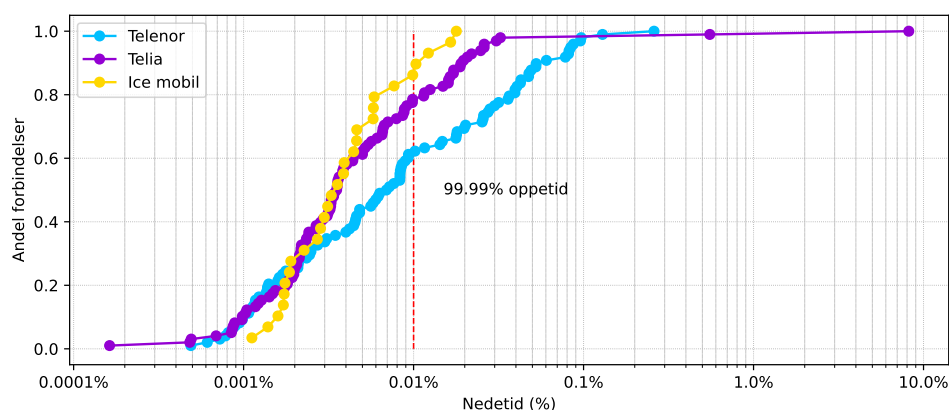
En EPS bærer realiseres over en serie med tunneller mellom brukerterminalen og en komponent i kjernenettet som kalles en Packet Gateway (PGW), som vist i figuren over. Disse tunnelene sørger blant annet for at tilkoblingen beholdes selv om brukerterminalen flytter seg fra et område til et annet. Vi måler 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 kjernenettet, 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.

2.1 Nedetid

Nedetid er beregnet som den totale andelen av måleperioden en tilkobling var utilgjengelig. Figur 2.1 viser fordelingen av nedetid over alle forbindelser for hver operatør. Nedetiden er angitt som en såkalt kumulativ distribusjon. 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 *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 at forskjellene i stabilitet er begrenset. Den observerte stabiliteten var i hovedsak den samme i 2020 som i 2019.

Ice mobil viser den største forbedringen i stabilitet fra 2019 til 2020, fortsetter dermed den positive trenden som vi observerte i fjor. Over 80 % av forbindelsene her oppnådde en tilgjengelighet



Figur 2.1: Fordeling av nedetid over forbindelser for hver operatør.

på over 99,99 %, opp fra om lag 60 % i 2019. Stabiliteten i Ice sine forbindelser er jevnt over minst like god som hos Telia og Telenor.

Sammen med Ice, måler vi de mest stabile forbindelsene hos Telia. Stabiliteten i disse forbindelsene er i praksis uforandret fra 2019 til 2020. 75 % av forbindelsene har en tilgjengelighet på minst 99,99 %, noe som er marginalt lavere enn i 2019 og 2018 (80 %). 8 % av Teliaforbindelsene opplever en tilgjengelighet på 99,999 %, noe som er en nedgang fra 15 % i 2019. En slik tilgjengelighet tilsvarer om lag 5 minutter utilgjengelighet i løpet av hele året, noe som er svært lavt. Som diskutert i fjorårets rapport, må vi forvente at andelen forbindelser som opplever så lite nedetid vil variere fra år til år. Ved så lave tall vil selv små unøyaktigheter i måleoppsettet eller prosesseringen av data få store utslag.

Telenor opplever også god stabilitet i 2019, om enn noe lavere enn Telia og Ice. 60 % av Telenorforbindelsene opplevde en tilgjengelighet på minst 99,99 %, noe som er om lag det samme som i 2019 men en nedgang fra 2018 da rundt rundt 80 % oppnådde en slik stabilitet. Andelen forbindelser med en tilgjengelighet på 99,999 % var om lag 8 %, uforandret fra 2019.

Få forbindelser opplever vesentlig nedetid - kun en eller to forbindelser fra hver operatør opplevde nedetid på over 0,1 % (som tilsvarer 90 sekunder i døgnet).

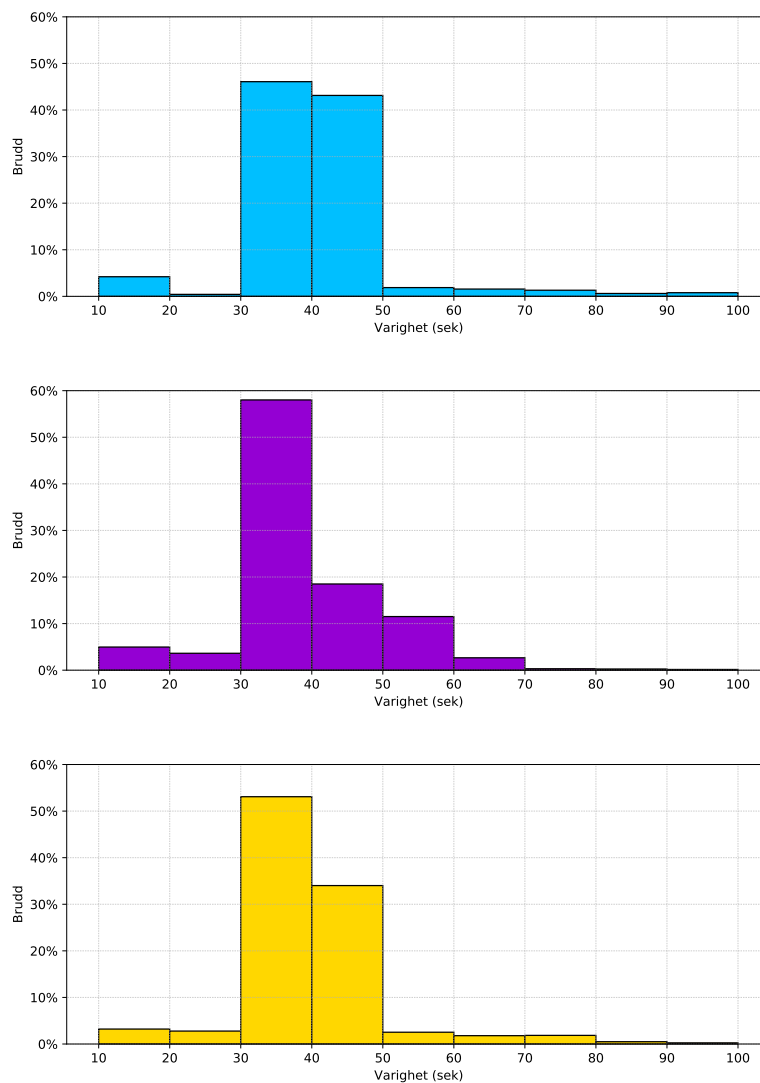
2.2 Varighet av brudd i tilkobling

Figur 2.2 viser fordelingen av varigheten for brudd i tilkoblingen over alle forbindelser for hver operatør. De fleste feilene er kortvarige, og det store flertallet varer under ett minutt.

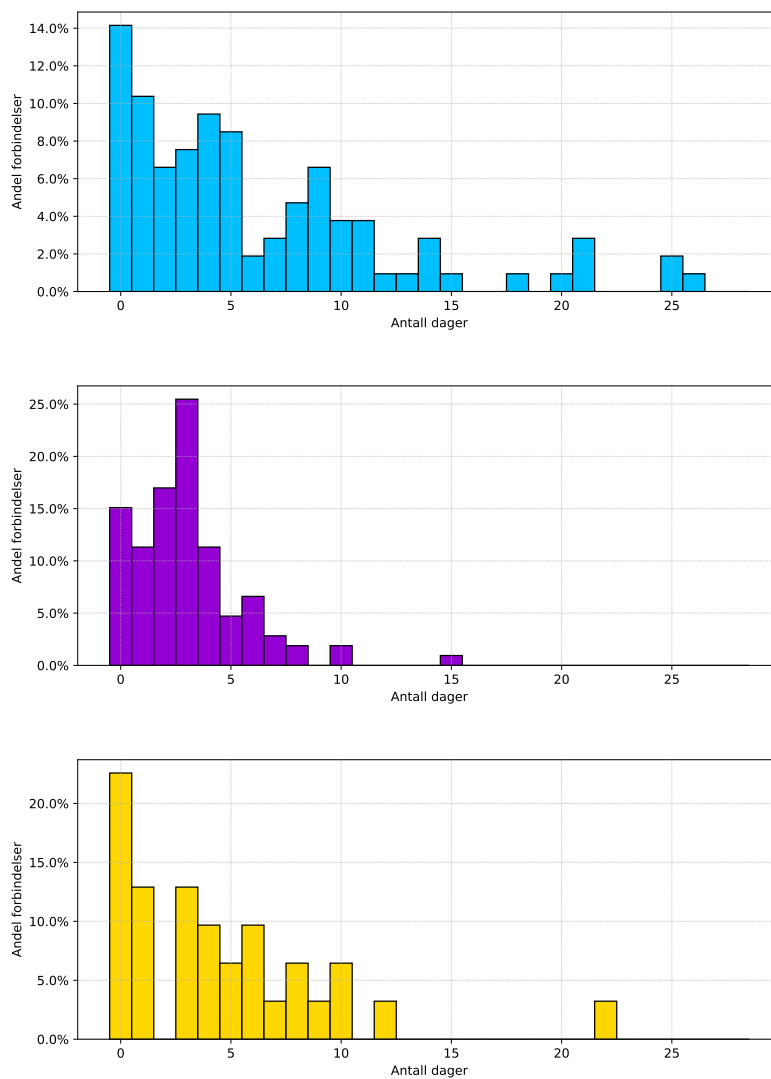
For alle operatører domineres fordelingen av brudd som har varighet fra 35 til 45 sekunder. Dette tilsvarer den typiske tiden det tar å gjennomføre en full tilkoblingsprosedyre mellom målnoden og nettverket, inkludert SIM-autentisering med PIN-kode og etablering av forbindelsen. Våre målnoder vil gjennomføre en slik prosedyre når forbindelsen av ulike årsaker ikke er tilgjengelig. Vi har tidligere observert at antallet slike re-etableringer er høyere hos Telenor enn hos de andre operatørene. Vi mistenker at samspillet mellom modemmet og nettverket gjør at tilstandsinformasjonen som er assosiert med forbindelsen i nettet av en eller annen grunn utløper og tvinger fram en ny tilkobling, og at dette skjer oftere i Telenors nett enn i de andre nettene.

2.3 Nedetid gjennom året for enkeltforbindelser

Figur 2.3 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



Figur 2.2: Varighet på brudd i tilkoblingen. Telenor (øverst), Telia og Ice mobil (nederst).



Figur 2.3: Antall dager med nedetid over ett minutt. Telenor (øverst), Telia og Ice-mobil (nederst).

Operatør	Dato	Ca klokkeslett	Berørte forbindelser	Vedlikeholdsvindu?
Telenor	12. feb	01:00	40	Ja
	12. mars	03:00	44	Ja
	15. mars	19:00	15	Nei
	18. mai	01:00	33	Ja
	24. juni	03:00	58	Ja
Telia	4. feb	08:00	26	Nei
	19. mai	23:00	13	Ja
	18. juni	00:00	10	Ja
	30. juni	12:00	22	Nei
	2. des	01:00	12	Ja
Ice mobil	22. jan	00:00	20	Ja
	29. jan	00:00	18	Ja
	28. feb	02:00	20	Ja
	5. mars	02:00	20	Ja
	10. mars	01:00	16	Ja
	24. mars	01:00	22	Ja
	1. april	04:00	15	Ja
	5. mai	01:00	19	Ja
	27. sept	01:00	16	Ja

Tabell 2.1: Samtidig brudd i flere forbindelser fra en operatør

opplever få slike dager, men antall dager med noe nedetid har likevel økt noe fra 2019 til 2020. Henholdsvis 14 %, 15 % og 23 % av forbindelsene hos Telenor, Telia og Ice mobil opplevde ingen dager i 2020 med over ett minutt nedetid. Tilsvarende tall i 2019 var henholdsvis 11 %, 35 % og 9 %.

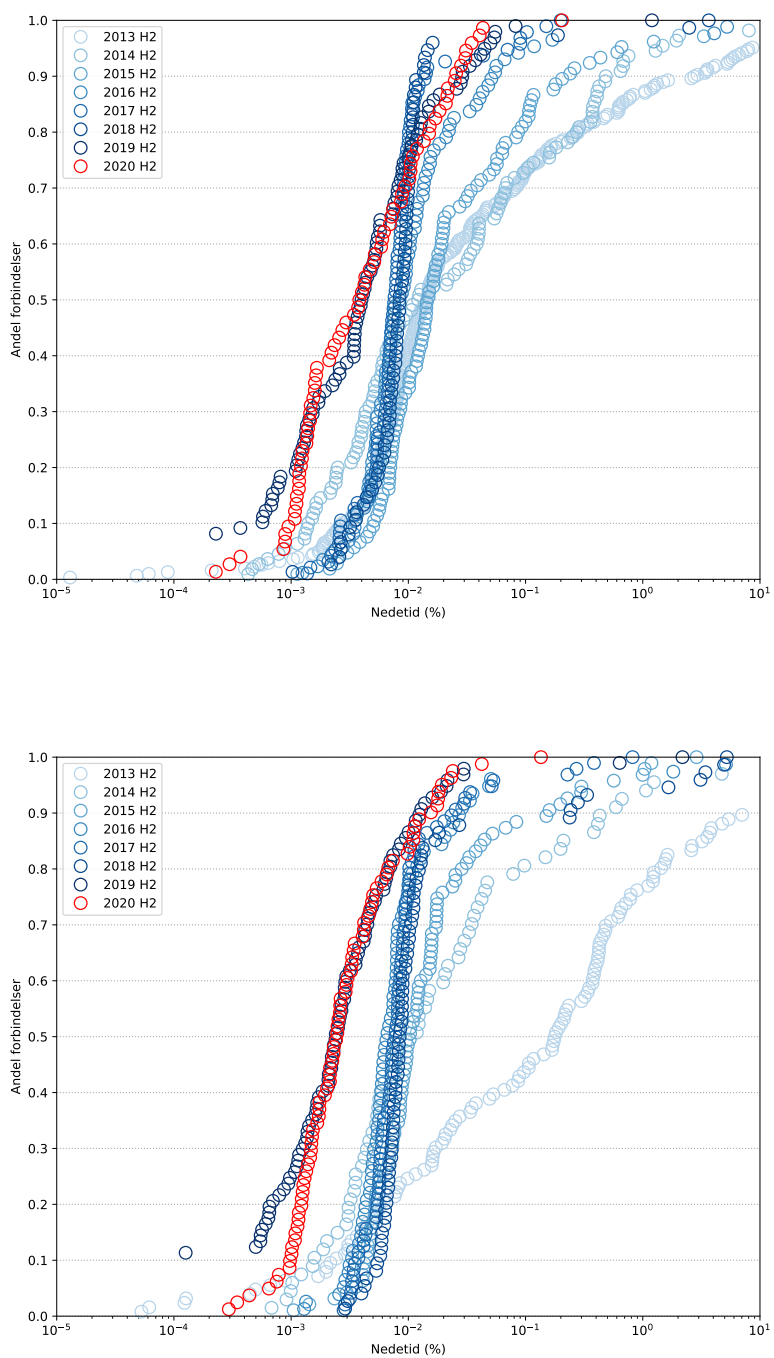
2.4 Større hendelser

Noen ganger oppstår det situasjoner der et større antall forbindelser hos en operatør mister tilkoblingen til nettet samtidig. Dette vil typisk skyldes feil eller endringer som gjøres i sentrale komponenter i mobilnettet. De første årene vi gjorde målinger i mobilnettene observerte vi mange og store slike hendelser. De siste året har antallet hendelser generelt vært lavt, og de hendelsene vi har observert har som regel funnet sted i typiske vedlikeholdsvinduer (om natten). Slik var det også i 2020.

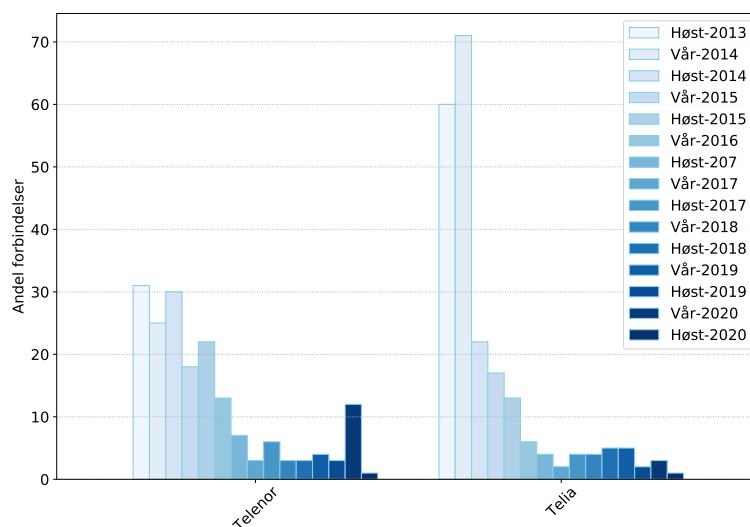
Tabell 2.1 viser en oversikt over vesentlige hendelser i 2020. Vi observerer en håndfull hendelser per operatør, og de fleste forekommer på tidspunkter på døgnet som gjør det naturlig å tro at de er forårsaket av vedlikehold. Én hendelse hos Telenor og to hendelser hos Telia oppsto utenfor vanlige vedlikeholdsvinduer. For de fleste av hendelsene var utfallene av relativt kort varighet.

2.5 Utvikling over tid

Figur 2.4 viser utviklingen i nedetid fra 2013 til 2020 for Telenor og Telia. Figuren er basert på måledata fra andre halvår hvert år. Grafene kan sammenlignes med Figur 2.1. 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. Som i 2019 var det noe mer variasjon mellom forbindelsene i nedetid hos både Telenor og Telia i 2020 enn hva vi har observert tidligere år.



Figur 2.4: Utvikling i nedetid hos Telenor (topp) og Telia (bunn) fra 2013 til 2020.



Figur 2.5: Andel forbindelser med gjennomsnittlig nedetid > 1 minutt per dag.

Figur 2.5 viser hvordan andelen forbindelser som i gjennomsnitt har mer enn 1 minutt nedetid per dag har utviklet seg fra våre målinger startet i 2013 til i dag. Denne andelen har vært relativt stabil de siste årene. Som figuren viser, hadde Telenor en noe høyere andel slike forbindelser i første halvår 2020 enn de siste årene, noe som er relatert til de større hendelsene diskutert over i kapittel 2.4. Som diskutert over fant de fleste av disse hendelsene sted i vedlikeholdsvinduer.



3. Stabilitet i dataplanet

I dette kapittelet 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 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.

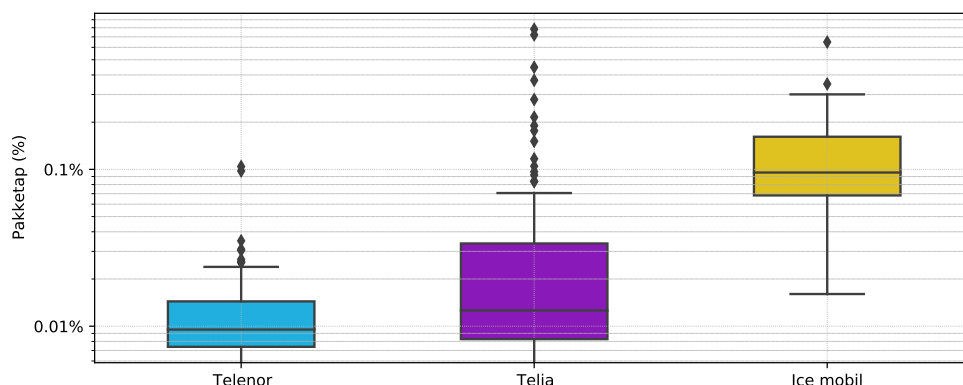
Måletrafikken vi baserer vår analyse på består av små (20 Byte) UDP-pakker som sendes til en sentral server hvert sekund. Serveren sender den samme pakken tilbake umiddelbart. For hver pakke registrerer vi hvor lang tid det tar før svarpakken kommer tilbake. Dersom ingen svarpakke kommer i retur innen 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.

3.1 Tapsrate

Tapsraten er definert for hver forbindelse som (tapte pakker)/(sendte pakker) over hele måleperioden. For å beregne tapsraten for en operatør har vi først beregnet tapsraten for hver enkelt forbindelse. Deretter har vi sortert alle forbindelsene etter pakketap for hver operatør.

Figur 3.1 og Tabell 3.1 viser en oppsummering av tapsraten hos Telenor, Telia, Ice mobil og Ice MBB. Den tykke svarte linjen viser *median* tapsrate, det vil si at halvparten av forbindelsene fra denne operatøren har en tapsrate som ligger over/under denne verdien. De fargede boksene viser 25- og 75-persentilene. Halvparten av forbindelsene hos en operatør har en tapsrate som ligger innenfor boksen. En av fire forbindelser har en tapsrate som er lavere enn nederste grense for boksen, mens en av fire har en tapsrate som er høyere enn øverste grense. De ytterste markørene viser 5- og 95-persentilene. 5 % av forbindelsene har en tapsrate som ligger under den nederste markøren, og 5 % har en tapsrate som ligger over den øverste markøren.

Generelt observerer vi lavt pakketap hos alle operatører, om lag på samme nivå i 2020 som i 2019. Telenor har marginalt lavere pakketapet i 2020 enn i 2019, og har fremdeles det laveste pakketapet med median på 0,010 %. Kun 2 av Telenors forbindelser har en tapsrate på over 0,03



Figur 3.1: Pakketap per operatør

Operatør	10 persentil	Median	90 persentil	Gjennomsnitt
Telenor	0,01%	0,01%	0,02%	0,01%
Telia	0,01%	0,01%	0,10%	0,05%
Ice mobil	0,05%	0,10%	0,23%	0,14%

Tabell 3.1: Pakketap

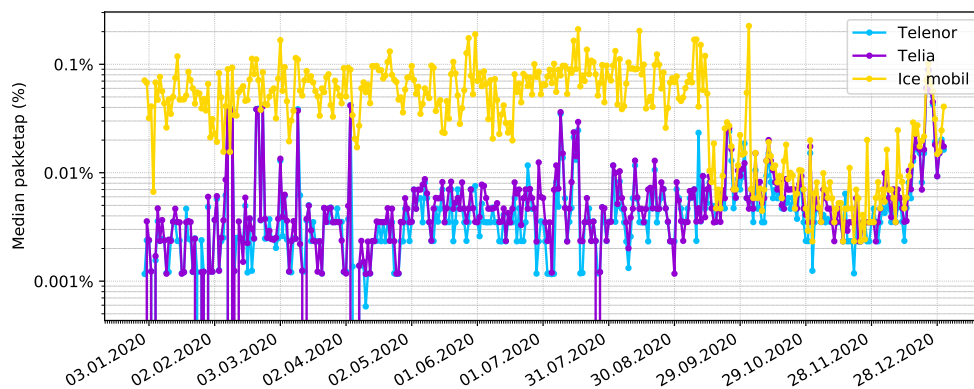
%, og fire av fem forbindelser har en tapsrate på under 0,02 %. Telia opplever en videre reduksjon i pakketap fra i fjor, med et median pakketap på 0,013 %. Tre av fire Telia-forbindelser har et pakketap under 0,04 %, men kun 10 % har et pakketap under 0,01 %. Ice mobil har et noe høyere pakketap med median pakketap på 0,10 %, noe som er en økning fra 0,06 % i 2019. De fleste Ice-forbindelser har et pakketap under 0,2 %, men ingen har et pakketap under 0,01%.

I praksis er alle forbindelsene vi måler 4G. Forbedringen vi har sett i pakketap de siste årene er i stor grad knyttet til overgangen fra 3G til 4G.

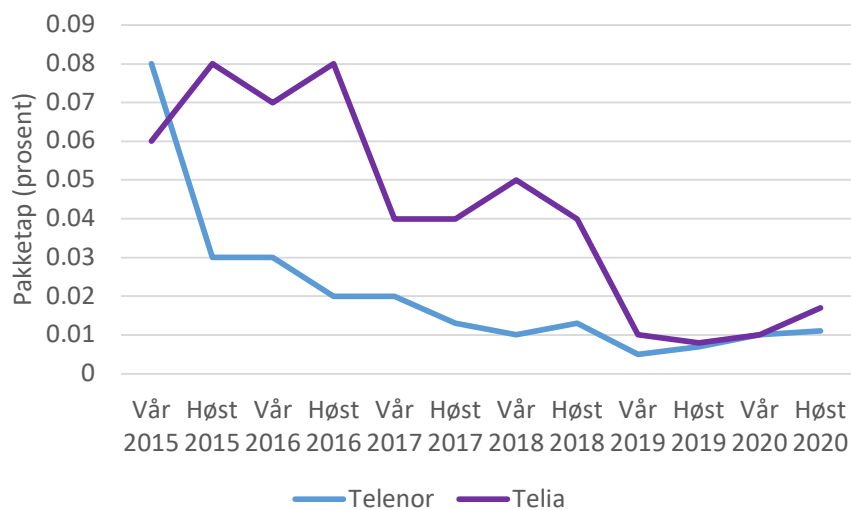
Pakketapet varierer fra dag til dag og gjennom året, som vist i 3.2. For Telenor og Telia det er ingen store endringer gjennom året, selv om alle operatørene opplever noe høyere pakketap i desember. Ice mobil har vedvarende høyt pakketapp fra januar til september, før tapsraten reduseres til om lag samme nivå som Telenor og Telia. Dialog med Ice har avdekket at det høye pakketapet skyldtes en uheldig konfigurasjon i et sentralt nettverkselement.

3.2 Utvikling over tid

Figur 3.3 viser median pakketap hvert halvår de fem siste årene for Telenor og Telia. For Ice mangler vi en sammenhengende tidsserie. I det meste av denne perioden har Telia hatt noe høyere pakketap enn Telenor. Pakketapet har vist en nedadgående trend for begge operatører. Den streke nedgangen i pakketap for Telia i 2019 gjør at forskjellen på disse operatørene nå er mindre enn noen gang. Mye av reduksjonen gjennom denne perioden kan tilskrives overgangen fra 3G til 4G.



Figur 3.2: Median pakketap per dag gjennom 2020.



Figur 3.3: Utvikling i median tapsrate 2015 - 2020



4. Stabil ytelse

De siste årene har vi målt stabilitet i ytelse i mobilnettene. Vi har tidligere sett på oppnådd hastighet, ytelse i lastning av websider og ytelse i videostrømming. I årets undersøkelse inkluderer vi (som i fjor) kun resultater knyttet til hastighet, siden disse er nærmest knyttet til mobilnettens egenskaper.

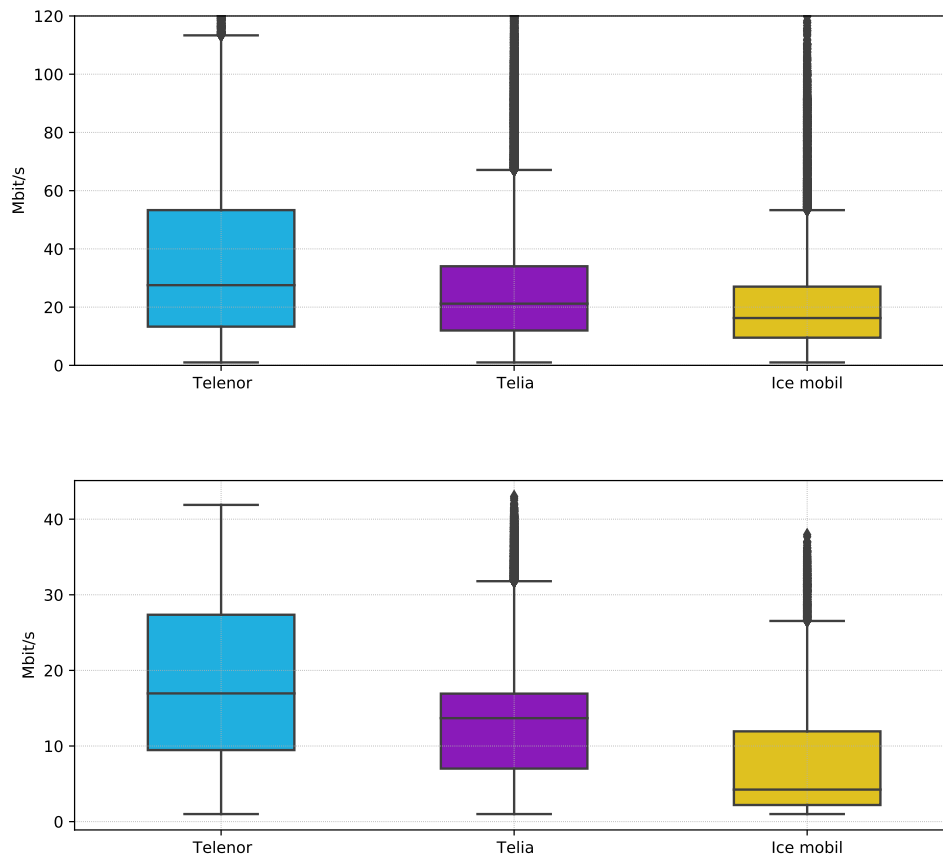
Merk at den brukeropplevde ytelsen avhenger av flere faktorer, som dekningsforhold, antall samtidige brukere og interferens i området. Resultatene som presenteres her vil være avhengige av de konkrete forholdene på de steder og de tidspunkt målingene er foretatt. Våre målenoder er plassert innendørs. 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. Vi mener at antallet målenoder og den geografiske spredningen gjør at resultatene gir et representativt bilde av ytelsen som kan forventes i mobilnettene.

Målenodene som benyttes for hastighetsmålinger er 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 i våre målinger ikke alltid vil oppnå den maksimale hastigheten som kan tilbys i nettene vi måler. Blant annet støtter ikke disse modemene aggregering av kapasitet fra mer enn to frekvensbånd. Resultatene bør tolkes med dette i mente. Våre resultater sier likevel noe om stabiliteten i hastighetene som oppnås i mobilnettene.

4.1 Opplastings- og nedlastingshastighet

Vi måler hastigheter ved hjelp av en klient basert på åpen kildekode som lar oss kjøre målinger fra våre målenoder mot Ooklas `speedtest.net`¹. I motsetning til de andre målingene presentert i denne rapporten kjøres altså 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 målenoder i Oslo. Etter å ha valgt måleserver, gjør

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



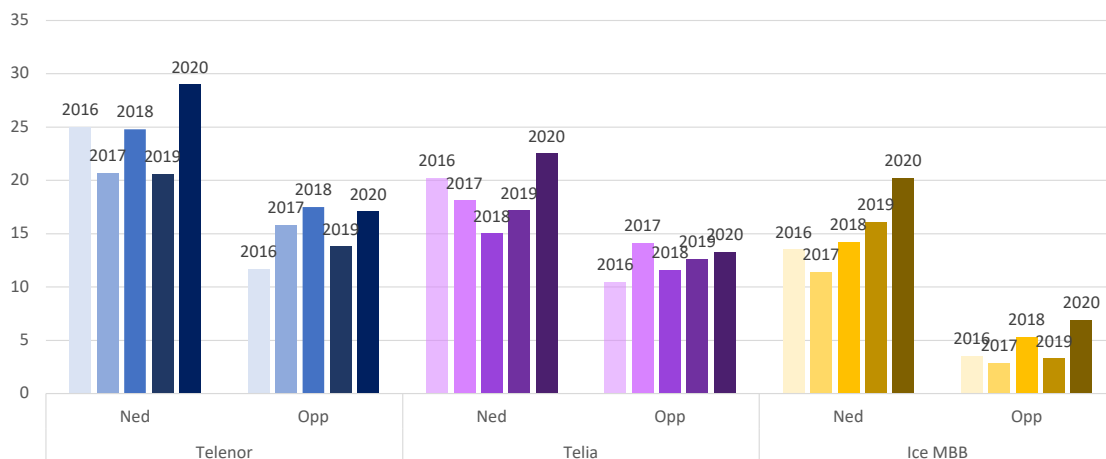
Figur 4.1: Nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) for ulike operatører.

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. 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.

Målingene for Ice er foretatt med deres mobiltelefonabonnement. Disse målingene benytter Ice sitt nett i 800 MHz og 1800 MHz båndene, men ikke frekvenser i 450 MHz-båndet. Der Ice ikke har egen dekning i disse båndene, benyttes Telias nett.

Figur 4.1 viser fordelingen av nedlastings- og opplastingshastigheter for hver av operatørene. Den tykke svarte linjen viser *median* hastighet, det vil si at halvparten av alle målingene i det aktuelle mobilnettet oppnådde en hastighet som ligger over/under denne verdien. De fargede boksene viser 25- og 75-persentilene. Halvparten av målingene i et mobilnett ligger innenfor boksen. En av fire målinger viste en hastighet som er lavere enn nederste grense for boksen, mens en av fire viste en hastighet som er høyere enn øverste grense. De ytterste markørene viser 5- og 95-persentilene. 5 % av målingene ligger under den nederste markøren, og 5 % ligger over den øverste markøren.

Målingene viser generelt noe høyere hastigheter i 2020 enn i 2019. Telenor oppnår fremdeles høyere hastigheter enn Telia og Ice både nedstrøms og oppstrøms, på tross av en nedgang i hastighet fra 2018 til 2019. Median nedlastingshastighet er 24,9 Mbit/s i Telenors nett, 21,1 Mbit/s i Telias nett



Figur 4.2: Utvikling i ned- og opplastingshastighet 2016-2020.

og 17,6 Mbit/s i Ice mobil sitt nett. 87 % av målingene i Telenors nett viser en nedlastingshastighet over 10 Mbit/s (en økning fra 72 % i 2019). Tilsvarende tall er 83 % (74 %) for Telia og 92 % (75 %) for Ice mobil. 28 % av målingene i Telenors nett viser en nedlastingshastighet over 50 Mbit/s (en økning fra 18 % i 2019). Tilsvarende tall er 12 % (7 %) for Telia og 4 % (3 %) for Ice mobil.

Median opplastingshastighet er 16,5 Mbit/s i Telenors nett (mot 13,8 Mbit/s i 2019), 13,4 (12,6) Mbit/s i Telias nett og 7,0 (3,3) Mbit/s i Ice mobil. 75 % av målingene i Telenors nett viser en opplastingshastighet over 10 Mbit/s (opp fra 61 % i 2019). Tilsvarende tall er 69 % (61 %) for Telia og 14 % (24 %) for Ice mobil.

Figur 4.2 viser utviklingen i median ned- og opplastingshastighet fra 2016 til 2020. Merk at figuren må tolkes med noe varsomhet, siden målepunktene ikke er nøyaktig de samme hvert år. Vi har ikke historiske data for Ice mobil, så tallene fra 2016 - 2019 er for Ice MBB. Figuren viser ingen klar utvikling i målte hastigheter over de siste fem årene, selv om det har vært en økning fra 2019 til 2020.

For Telenor gikk median nedlastingshastighet markant opp i 2020, og var på sitt høyeste nivå siden våre målinger startet i 2016. Telia har hatt en økning de to siste årene, etter en nedgang de foregående årene, og er også på sitt høyeste nivå siden målingene startet. Ice hadde også høyere median nedlastingshastighet i 2020 enn i noe tidligere år². Median opplastingshastighet var noe høyere i 2020 enn i 2019 for alle operatørene.

4.2 Variasjon mellom forbindelser

Figur 4.3 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 henholdsvis 5 og 95 persentilene. 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. Denne variansen var mindre i 2020 enn tidligere år, noe som betyr at den oppnådde nedlastingshastigheten har blitt mer stabil. Vi observerer denne utviklingen hos alle operatørene, men den er tydeligst hos Telenor. 13 % av

²Merk at målinger fra noen tidligere år inkluderer data fra Ice mobilt bredbånd, som er et annet produkt enn Ice mobil.

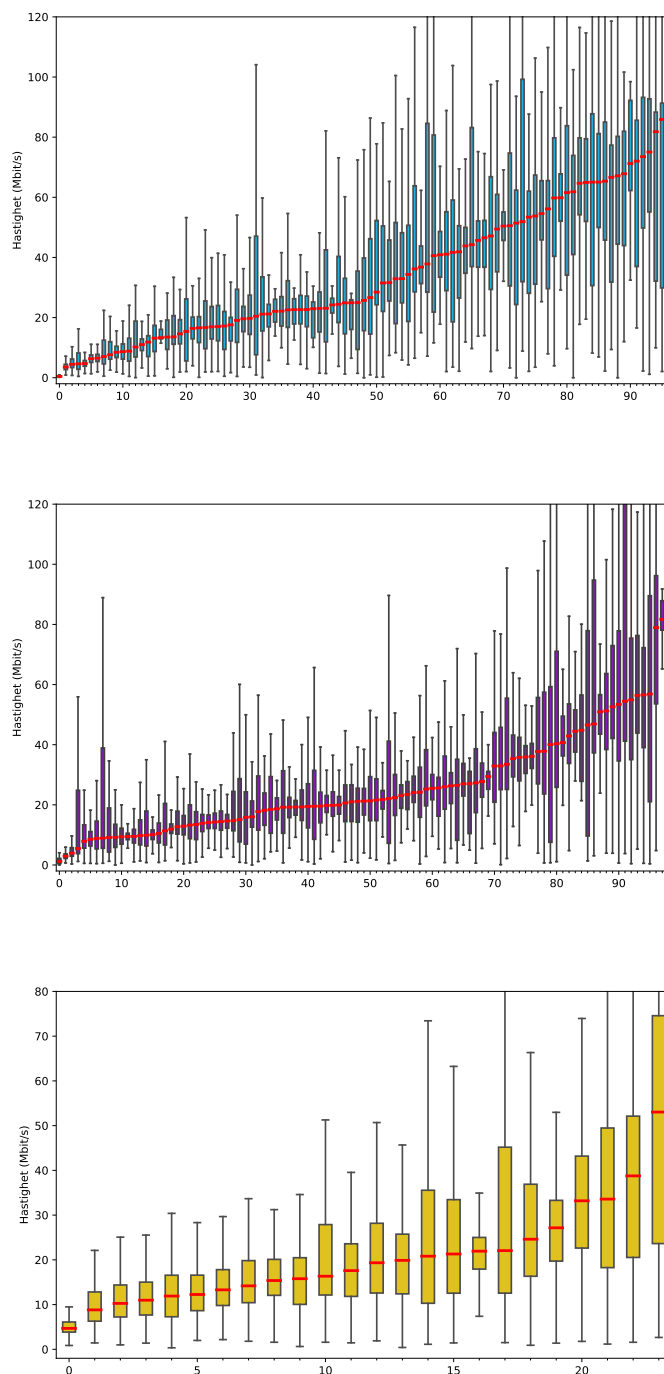
forbindelsene hos Telenor hadde en interkvartilavstand som er større enn medianen i 2020, mot 33 % i 2019. For Telia var tilsvarende tall 21 % i 2020, mot 26 % i 2019. For Ice 8 % i 2020 mot 12 % i 2019.

4.3 Variasjon gjennom året

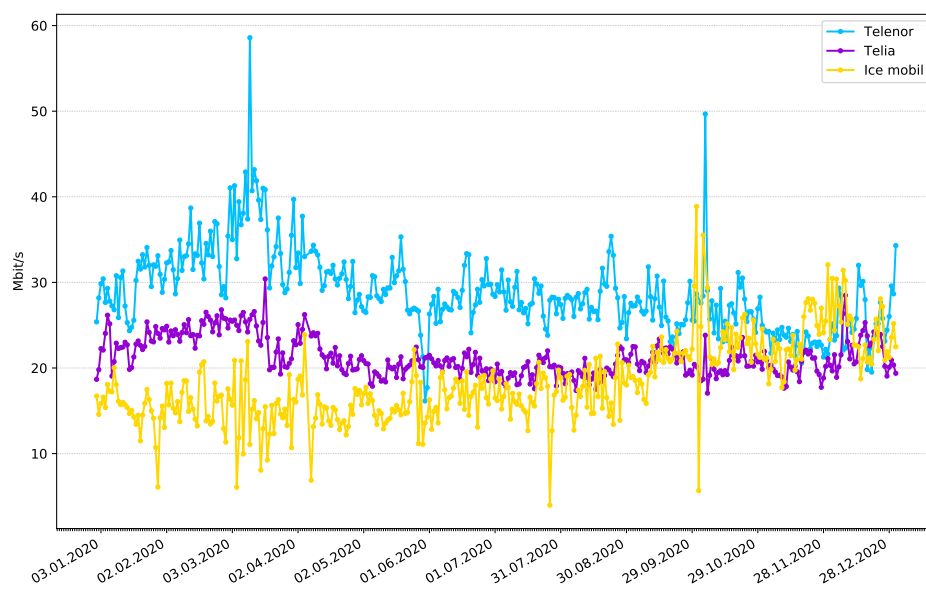
Figur 4.4 viser hvordan median nedlastingshastighet utvikler seg gjennom året for hver operatør. Hvert punkt i grafen viser median hastighet over alle målingene som ble foretatt for det aktuelle nettet gjennom ett døgn.

For Telenor måler vi klart høyere hastigheter i første halvår enn i andre halvår, og høyest i første kvartal. Den første uken i mars målte vi median nedlastingshastigheter på nesten 40 Mbit/s i Telenors nett. Vi måler også høyest hastigheter i første kvartal i Telias nett. En mulig forklaring på den reduserte hastigheten fra andre kvartal er økt trafikk og/eller endrede trafikkmønster i mobilnettene etter at myndighetene satte inn strenge smitteverntiltak for å redusere spredningen av Covid-19 fra midten av mars. For Ice ser vi ikke den samme utviklingen, tvert imot, her målte vi høyere hastigheter i andre halvår enn i første halvår.

Når vi skal tolke denne utviklingen er det igjen viktig å være oppmerksom på at målenodene ikke nødvendigvis kan utnytte all kapasitet som er tilgjengelig i mobilnettene. For eksempel kan ikke målenodene gjøre såkalt *carrier aggregation* mellom 2100 MHz-båndet og andre LTE frekvensbånd, noe som vil påvirke hastigheten som oppnås. Høyt pakketap vil også påvirke opplevd nedlastingshastighet.



Figur 4.3: Variasjon i nedlastingshastighet for 4G-forbindelser hos Telenor (øverst), Telia (midten) og Ice mobil (nederst).



Figur 4.4: Utvikling i nedlastingshastighet gjennom 2020.



5. Tidlige erfaringer med 5G

I dette kapitlet presenterer vi tidlige erfaringer fra målinger av 5G. Mobiloperatørene er i en tidlig fase av 5G-utrollingen, og resultatene bærer preg av at denne teknologien fremdeles ikke har samme modenhet som 4G. Dette merker vi særlig på to måter. For det første ser vi at våre målenoder i en del tilfeller ikke oppnår den hastigheten som kan forventes fra 5G. Dette gjelder særlig i Telenors nett, og vi diskuterer mulige årsaker til dette under. For det andre ser vi at forbindelsene ofte skifter tilknytning fra en celle til en annen, selv når dette fører til dårligere hastighet.

Målingene i dette kapitlet er foretatt fra fire målenoder i perioden desember 2020 - februar 2021. To av nodene er plassert i Oslo på Bislett og Holmlia, mens to av målenodene er plassert henholdsvis i Uninetts lokaler og på NTNU i Trondheim. På hver lokasjon er én målenode knyttet til henholdsvis Telenors og Telias 4G nett. Nodene i Oslo er også koblet til Telias 5G nett mens de i Trondheim er koblet til Telenors 5G nett. På begge lokasjonene er det god 5G-dekning gjennom testperioden. Målenodene er utstyrt med Huawei 5G CPE Pro som er koblet via Gigabit ethernet til noden.

5.1 Stabilitet i tilkoblingen

Selv om målenodene har god 5G-dekning, opplever vi at forbindelsene veksler mellom 4G og 5G. Figur 5.3 viser hvordan de fire målenodene veksler mellom å være koblet til 5G og 4G. Vi opplever at det ofte er uoverensstemmelser mellom hvilken tilkoblingstype modemmet rapporterer, og den ytelsen vi faktisk ser på forbindelsen. I denne figuren er tilkoblingstypen bestemt basert på hvilken hastighet og forsinkelse som observeres for forbindelsen.

Figuren viser at målenodene i noen perioder kan være stabilt koblet til 5G i mange dager (til og med uker), mens de i andre perioder veksler hyppig mellom 5G og 4G. Vi observerer opptil 15 overganger fra 4G til 5G eller motsatt i løpet av en dag. Vi observerer også perioder på flere dager der målenodene er koblet til 4G-nettet. Totalt var forbindelsene i Telenors nett koblet til 5G 34 % av tiden, mens forbindelsene i Telias nett var koblet til 5G 64 % av tiden. I gjennomsnitt vekslet Telenorforbindelsene mellom 5G og 4G 2,46 ganger i døgnet, mens Teliaforbindelsene vekslet 0,5 ganger i døgnet.



Figur 5.1: 5G målenodene veksler mellom 4G (blått) og 5G (gult) tilkoblinger.

5.2 Hastighet

De norske 5G-nettene er basert på frekvenser i det såkalte C-båndet, mellom 3400 MHz og 3800 MHz. Nkom planlegger en auksjon av disse frekvensressursene i september 2021. I mellomtiden bygger mobiloperatørene 5G basert på midlertidige frekvenstillatelser som varer ut 2022. Telenor kontrollerer 90 MHz i dette spektrumet (3610-3700 MHz), mens Telia kontrollerer 100 MHz (3700-3800 MHz). Frekvensblokkene som benyttes er langt større enn de som benyttes i 4G, noe som er hovedgrunnen til at 5G kan tilby langt høyere hastigheter enn 4G.

Vi har gjort hastighetsmålinger fra alle våre målenoder. Her presenterer vi kun resultater fra Telias nett. Årsaken til dette er at vi i Telenors nett oppnår mye lavere 5G-hastigheter enn det som er forventet - faktisk lavere enn i 4G. Vi har ikke funnet årsaken til de lave hastighetene, men det er klart at disse forbindelsene aldri oppnår like høy modulasjonsrate som Telias forbindelser¹. Når vi tester hastigheter på samme lokasjon med vanlige 5G-telefoner, ser vi noen ganger høyere hastigheter. Vi har vært i dialog med Telenor, som bekrefter at det 5G-nettet i Trondheim kan ha hatt en suboptimal konfigurasjon i etableringsfasen.

Figur 5.2 viser nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) for de to målenodene i Telias nett. Vi skiller mellom målinger som er foretatt på 5G og målinger som er foretatt på 4G.

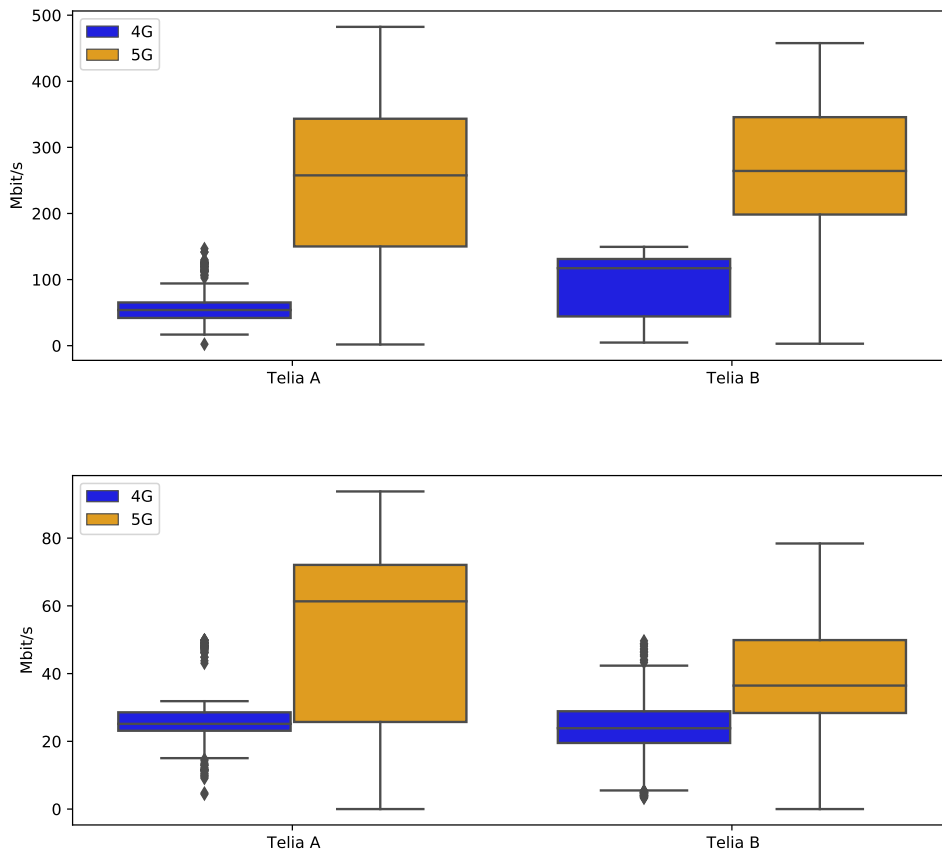
Vi observerer langt høyere nedlastingshastighet i 5G enn i 4G. Median hastighet ligger rundt 260 Mbit/s for begge forbindelsene. Vi observerer svært sjeldent nedlastingshastigheter under 100 Mbit/s. I noen tilfeller observerer vi hastigheter over 400 Mbit/s.

Opplastingshastighetene varierer noe mer, og ligger nærmere de hastighetene vi opplever i 4G. Median opplastingshastighet er henholdsvis 61 Mbit/s og 38 Mbit/s for de to forbindelsene. Denne hastigheten er sjeldent under 25 Mbit/s.

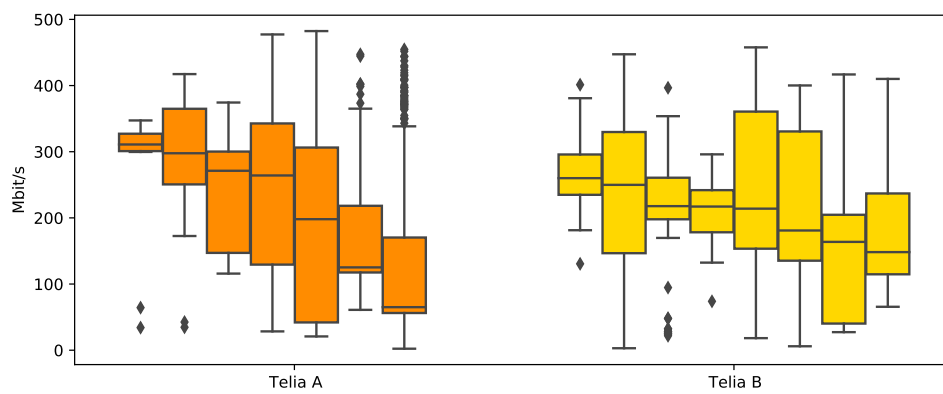
Disse resultatene gir grunn til optimisme for at 5G skal kunne levere stabile høye hastigheter. Regjeringen har nylig satt et mål om at alle norske husstander skal ha tilbud om minst 100 Mbit/s nedlastingshastighet og minst 10 Mbit/s opplastingshastighet innen 2025. Det er forventet at mobilnettene, og 5G spesielt, vil spille en viktig rolle for å oppnå dette målet. Våre tidlige erfaringer med 5G tyder på at dette er en realistisk forventning. Det er imidlertid verdt å nevne at målingene er foretatt på et tidlig stadium i 5G-utrollingen, i et nett som foreløpig har svært få brukere. Vi vil fortsette å måle opplevde hastigheter i 5G-nettene etter hvert som trafikkmengden øker.

Figur 5.3 viser hvordan nedlastingshastigheten for de to Telia målenodene varierer for hver 5G celle forbindelsen har vært knyttet til. Vi observerer at ulike celler gir ulik ytelse. Det er imidlertid også store variasjoner i oppnådd hastighet innen hver celle. For flere av cellene observerer vi et klart mønster der den oppnådde hastigheten veksler mellom to distinkte hastighetsintervaller. For disse cellene kan vi for eksempel i en periode oppnå hastigheter rundt 150 Mbit/s, før vi i en periode oppnår over 300 Mbit/s. Dette kan trolig forklares med at forbindelsene endrer modulasjonsrate som diskutert over, enten som følge av konfigurasjonsendringer i nettet eller som følge av endrede trafikk mønstre.

¹Modulasjonsraten avgjør hvor mye informasjon (hvor mange bit) som overføres per signalenhet. Modulasjonsraten oppgis i et såkalt Modulation Coding Scheme (MCS). Mens andre 5G-forbindelser typisk oppnår en MCS på over 20, ser vi MCS på 15, 10 eller lavere for de aktuelle Telenorforbindelsene.



Figur 5.2: Nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) for 5G målnoder i Telias nett.



Figur 5.3: Nedlastingshastighet i forskjellige celler for 5G målnoder i Telias nett.

A satellite in space with the Earth in the background. The satellite is in the foreground, and the Earth is a large blue and white sphere in the background. The satellite has solar panels and a large antenna. The Earth shows clouds and landmasses.

6. Bredbånd over satellitt

I dette kapittelet presenterer vi for første gang målinger av bredbånd over satellitt. Satellittbredbånd spiller ingen viktig rolle i det norske bredbåndsmarkedet i dag, med kun noen tusen abonnenter. Det er likevel interessant å studere ytelsen for denne aksessformen. For det første kan satellitt gi et bredbåndstilbud i områder der det ikke finnes andre muligheter. I følge Nkoms dekningskartlegging mangler om lag 20 000 husstander utendørs 4G-dekning¹, og for mange av disse kan satellittbredbånd være et alternativ. For det andre kan satellittbaserte løsninger være en aktuell reserveløsning for virksomheter og kommuner med et særlig behov for pålitelig kommunikasjon.

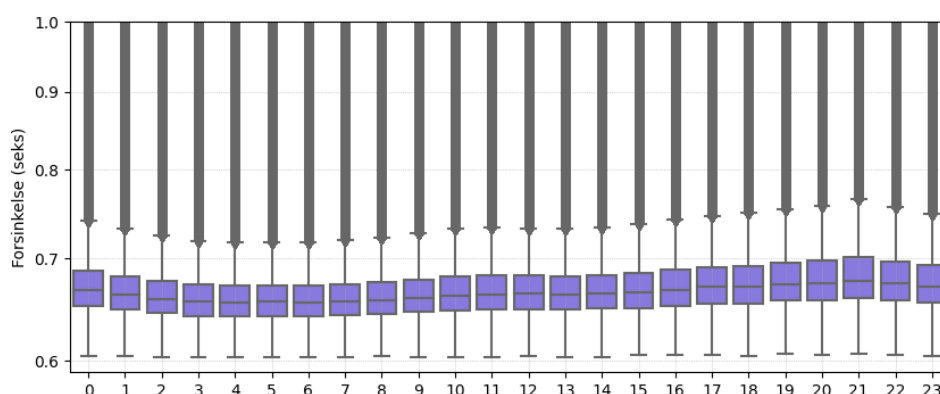
Satellittforbindelsene som måles i denne rapporten er kommersielle forbindelser levert fra Bigblu². Disse forbindelsene leveres over en geostasjonær satellitt tilhørende Eutelsat, og opererer i det såkalte Ka-båndet. Denne satellitten dekker det meste av Europa med et system av rettede antenner (såkalte *beams*). Norge dekkes av tre slike rettede antenner, som grovt sett dekker vest, øst og nord i landet. Vår målenode er lokalisert i Oslo, og representerer således ytelsen i antennen som dekker sørøstnorge. Dette er den antennen som opplever størst trafikk, og det er derfor grunn til å anta at ytelsen i andre deler av landet vil være minst like god som i dette området. Alle målingene er foretatt over en enkelt forbindelse. Siden alle satellitterminaler i samme område er knyttet til den samme basestasjonen (samme transponder på satellitten) og deler på ressurser i denne, forventer vi ikke at resultatene ville sett vesentlig annerledes ut dersom vi økte antall målenoder i samme område.

Våre målinger foretas fra den samme typen målenode som målingene av mobilnett. Målenoden er koblet til et satellittmodem via ethernet. Modemet er igjen koblet direkte til en parabolantenne på taket av Simulas lokaler på Bislett i Oslo. Resultatene som vises her er basert på målinger foretatt i perioden august - desember 2020.

Her rapporterer vi målinger av forsinkelse, pakketap og hastighet.

¹<https://www.nkom.no/aktuelt/74-prosent-av-norske-husstander-har-tilgang-til-fiberbredband>

²<http://bigblu.no>



Figur 6.1: Forsinkelse i satellittforbindelse

6.1 Forsinkelse

Geostasjonære satellitter har en omløpstid rundt jorda på 24 timer, og befinner seg derfor alltid på det samme punktet på himmelen sett fra bakken. For å oppnå dette må satellitten fly i en høyde på omtrent 36 000 km. Dette betyr at dersom to brukere på jorda skal kommunisere via en satellitt, vil den minimale forsinkelsen (round-trip time) mellom disse ligge på over et halvt sekund. Forsinkelse knyttet til prosessering og videre framsendelse i bakkebaserte nett gjør at den opplevde forsinkelsen normalt vil ligge et stykke over dette.

Figur 6.1 viser hvordan opplevd forsinkelse varierer gjennom døgnet. Forsinkelse her er definert som tiden det tar fra en datapakke sendes fra vår målenode til denne mottar svar fra vår måletjener. Figuren viser at forsinkelsen normalt ligger mellom 650 og 700 ms. Forsinkelsen er lavest i perioder med lite trafikk (natt og tidlig morgen), og øker noe i perioder med høyere trafikkbelastning. Høyest er forsinkelsen om kvelden, omtrent kl 21. Noen datapakker opplever ekstra høy forsinkelse. Om lag 6 % av trafikken opplever en forsinkelse på over ett sekund, mens noen få datapakker kan oppleve forsinkelse på over fem sekunder.

For mange applikasjoner vil en forsinkelse i dette området være OK, men for interaktive applikasjoner (særlig spill) vil dette gi en klart dårligere opplevelse.

6.2 Pakketap

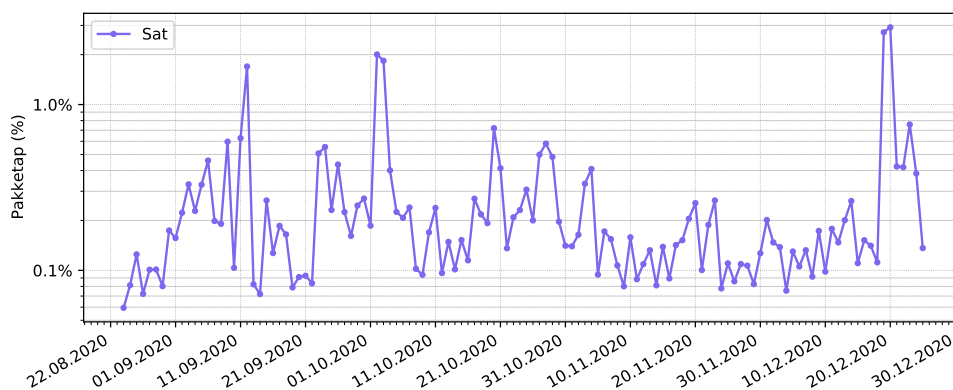
Figur 6.2 viser pakketapet hver dag i måleperioden. Vi observerer at pakketapet varierer forholdsvis mye. De fleste dager ligger pakketapet mellom 0.07 % og 0.5 %. Dette er vesentlig høyere enn pakketapet i mobilnettene presentert i kapittel 3. Enkelte dager kan pakketapet overstige 1 %.

Vi observerer ingen klar forskjell på helger og ukedager i våre målinger. Vi ser høyere pakketap i høstferien (første uken i oktober) og i juleferien (siste uken i desember), men dette kan være utslag av tilfeldige variasjoner.

6.3 Hastighet

Figur 6.3 viser hvordan nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) varierer gjennom døgnet.

Nedlastingshastigheten ligger normalt mellom 15 Mbit/s og 38 Mbit/s. I perioder med svært lite trafikk opplever vi hastigheter over 40 Mbit/s, mens i perioder med høy trafikk opplever vi hastigheter under 10 Mbit/s. Nedlastingshastigheten varierer relativt mye gjennom døgnet, med



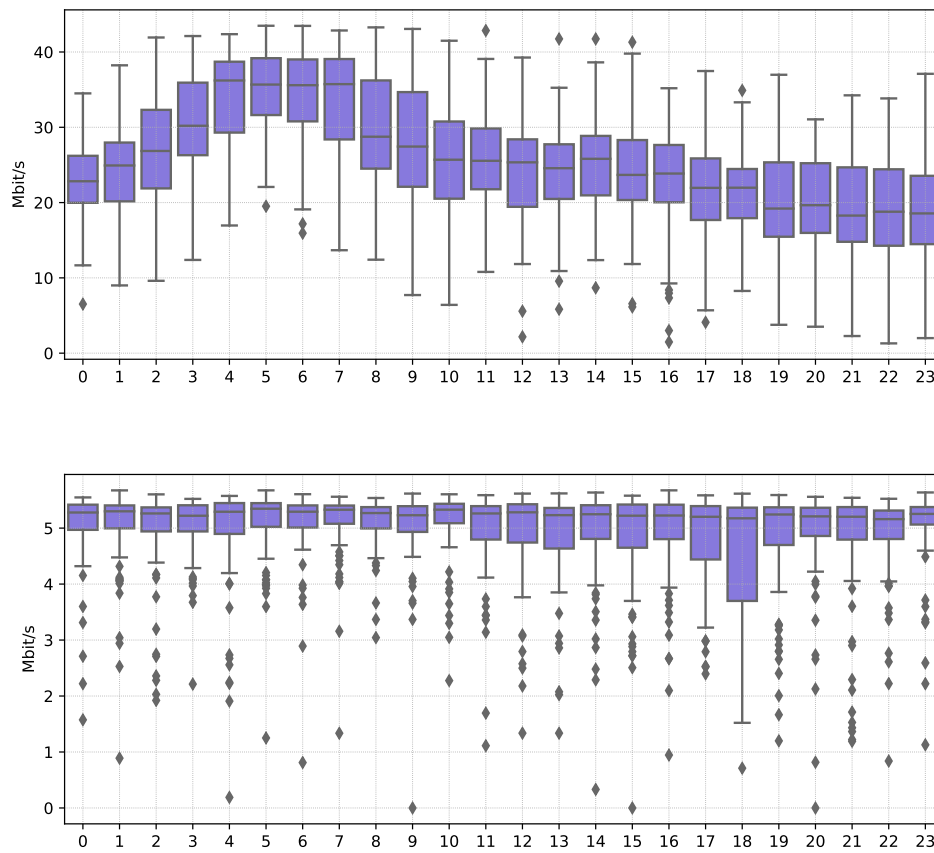
Figur 6.2: Pakketap i satellittforbindelse

klart høyere hastigheter om natten enn om dagen. I de travleste timene om kvelden faller median nedlastingshastighet under 20 Mbit/s.

Opplastingshastigheten varierer mindre enn nedlastingshastigheten, denne ligger normalt rundt 5 Mbit/s, og nesten alltid over 4 Mbit/s. Vi observerer noe større variasjon i hastighet på dagtid enn om natten.

6.4 Diskusjon

Målingene presentert her er som forklart over foretatt i en av tre beamssom dekker Norge. Vår målenode ligger i området med flest aktive brukere, så det er naturlig å forvente at brukere i andre deler av landet vil oppleve minst like god ytelse. Merk at at det totale antallet brukere som deler satellittens kapasitet fremdeles er relativt lavt. Forskjellen i ytelse, særlig hastighet, er likevel betydelig mellom perioder med høy bruk og perioder med lav bruk. Dersom populariteten til satellittbredbånd skulle øke som en konsekvens av nedleggelsen av Telenors kobbernett, er det grunn til å tro at disse forskjellene vil bli forsterket.



Figur 6.3: Nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) over satellittforbindelse.



7. Metning

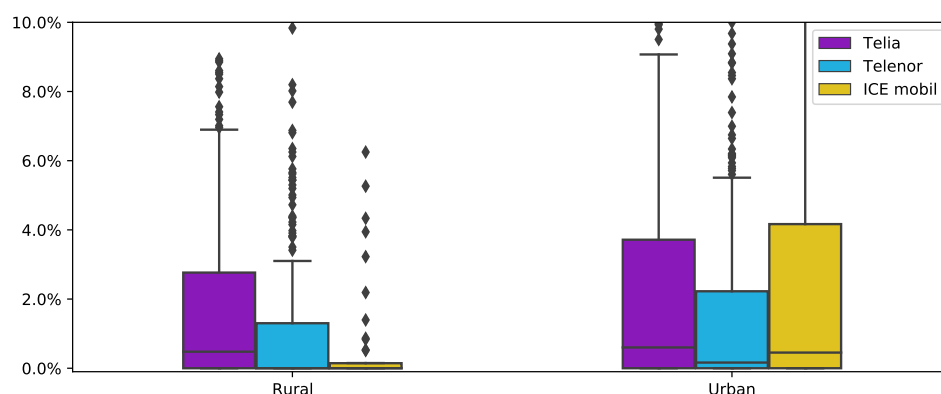
I dette kapitlet ser vi nærmere på fenomenet *metning*, altså en situasjon der hastigheten til en dataforbindelse reduseres vesentlig fordi etterspørselen etter kapasitet er større enn det nettet kan tilby. Hensikten med disse målingene er å kaste lys over når og hvor metning oppstår, og hvilke konsekvenser metning har for den opplevde hastigheten.

Vi benytter en kombinasjon av flere metoder for å oppdage og lokalisere metning. Målingene gjøres gjennom hele døgnet for å fange opp forskjeller. På et overordnet nivå består metoden av tre ulike tester:

1. Måletjeneren sender en serie med små datapakker til målenoden, med nøyaktig 1 ms avstand. Mellom hver lille datapakke sendes en større datapakke. Denne store datapakken er sendes ikke helt fram til målenoden, men droppes før den sendes gjennom radiodelen av mobilnettet. Ved å observere ankomstmønsteret til de små målepakkene er det mulig å detektere metning i fastnettdelen av nettet og i radiodelen av nettet.
2. Målenodene sender rettede ping-pakker til hver ruter mellom seg og måletjeneren. Ved å se etter nivåendringer i forsinkelsen til hvert hopp, kan vi detektere og lokalisere metning i oppstrømsforbindelsen fra målenoden til måletjeneren.
3. Måletjeneren sender rettede ping-pakker til hver ruter mellom seg og målenodene. Ved å se etter nivåendringer i forsinkelsen til hvert hopp, kan vi detektere og lokalisere metning i nedstrømsforbindelsen fra måletjeneren til målenoden.

Den øverste testen gjør det mulig å skille mellom metning i radio- og fastnettdelen av mobilnettene, mens de to andre testene gjør det mulig å slå fast om metningen oppstår i mobilnettet eller i nettet mellom målenoden og mobilnettet.

Vi bruker ulike terskelverdier for endring i forsinkelse og endring i ankomstmønster for å avgjøre om vi observerer metning i en test. Vi flagger metning i mobilkjernenett eller transportnettet dersom forsinkelsen i denne delen av nettet øker med minst 20 % sammenlignet med den normale forsinkelsen vi måler. Samtidig krever vi at ankomstmønsteret til de små målepakkene strekkes ut noe i forhold til normalsituasjonen. Metning i radiodelen av nettet detekteres ved at målepakkene ankommer i klyngersom en følge av køing i basestasjonen. I tillegg krever vi en 20 % økning i forsinkelsen mellom målenoden og det første synlige IP-hoppet i mobilnettet.



Figur 7.1: Metning i tettbygde versus spredbygde strøk.

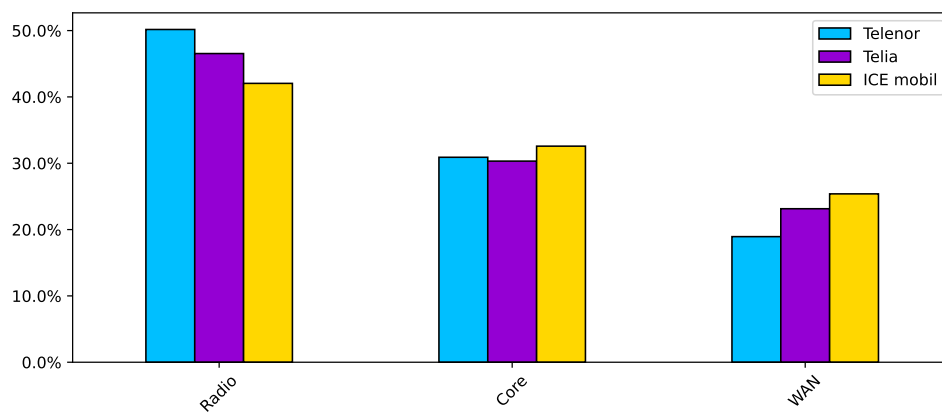
Figur 7.1 viser hvor stor andel av målingene som viser tegn på metning. I figuren skiller vi mellom målinger gjort fra noder i tettbygde strøk og målinger gjort utenfor tettbygde strøk. Andelen målinger med detektert metning er relativt lav hos alle operatører, og de aller fleste forbindelsene indikerer metning i under 5 % av testene.

Vi observerer noe færre indikasjoner på metning hos Telenor enn hos Telia. Den mest belastede fjerdedelen av forbindelsene i Telenors nett opplever metning i minst 2 % av forsøkene. Den mest belastede fjerdedelen av forbindelsene i Telias nett opplever metning i minst 3,5 % av forsøkene. Situasjonen for Ice er om lag som for Telenor, men med større forskjeller mellom forbindelser i tettbygde og spredbygde strøk. Vi observerer generelt noe mer metning i tettbygde strøk hos alle operatørene.

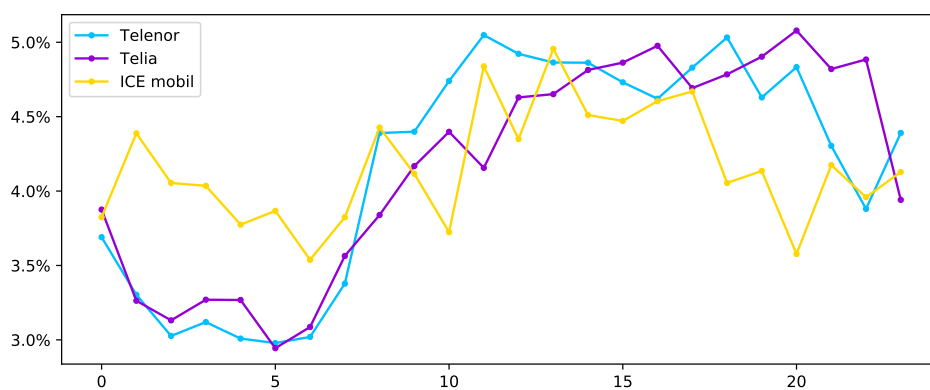
Figur 7.2 viser hvor stor andel av den identifiserte metningen som kan tilskrives henholdsvis radioaksessnettet, mobilkjernenettet og nettet mellom mobilnettet og måletjeneren. Figuren viser at 40-50 % av metningen skyldes manglende kapasitet i radioaksessnettet. Denne andelen er høyest hos telenor og lavest hos Ice. Om lag 30 % av metningen kan tilskrives manglende kapasitet i mobilkjernenettet, mens 20-30 % skyldes begrenset kapasitet i forbindelsen mellom mobilnettene og måletjeneren.

Figur 7.3 viser hvordan målingene som indikerer metning fordeler seg gjennom døgnet. Som forventet observerer vi at i alle nettene er det større sannsynlighet for metning på dagtid når trafikkbelastningen er høy enn om natten.

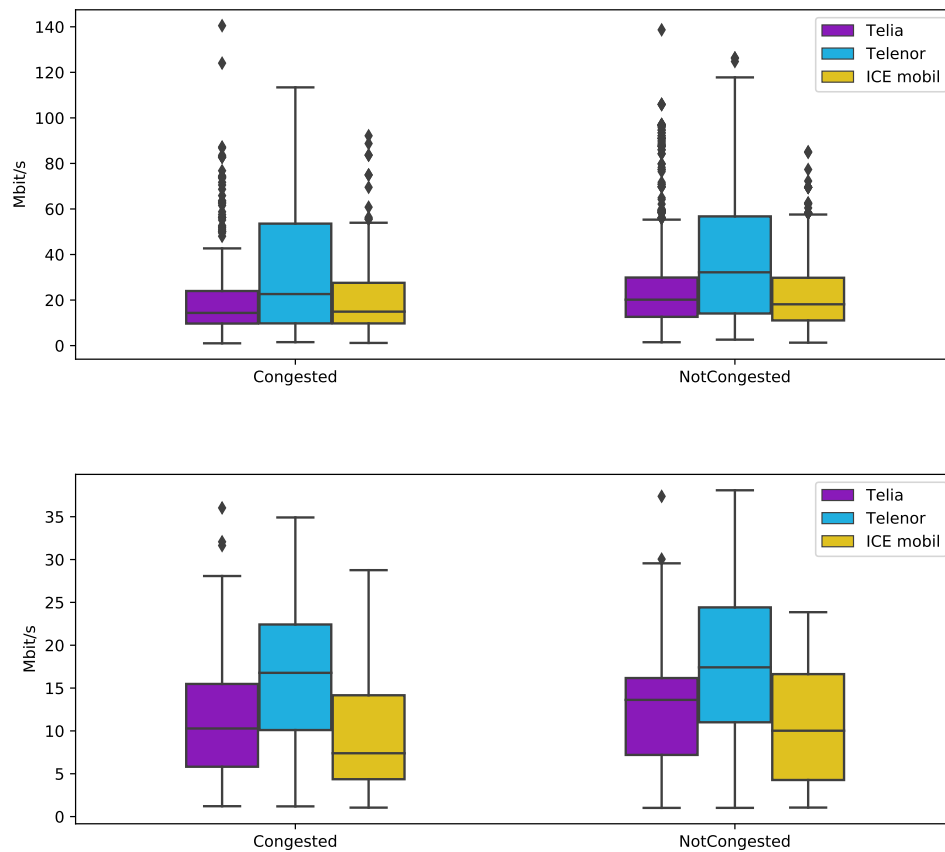
Figur 7.4 viser hvordan nedlastingshastighet og opplastingshastighet påvirkes av metning i de ulike mobilnettene. Effekten er tydeligst for nedlastingshastigheten. Gjennomsnittlig nedlastingshastighet reduseres fra 37,5 Mbit/s til 33,5 Mbit/s hos Telenor, fra 25,4 Mbit/s til 19,6 Mbit/s hos Telia, og fra 22,5 Mbit/s til 21,7 Mbit/s hos Ice.



Figur 7.2: Metning i radioaksessnettet, mobilkjernenettet og i nettet mellom mobilnettet og vår måletjener.



Figur 7.3: Vi måler oftere metning i perioder med mer trafikk i mobilnettet.



Figur 7.4: Nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) i perioder med og uten metning.

8. Bakgrunn og metode

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 et hundretalls målenoder spredt rundt i Norge. Hver målenode er koblet til 2-4 mobiloperatører, og samler kontinuerlig inn data om dekningsforhold, status for tilkoblingen og ytelse for hver forbindelse. Infrastrukturen omfatter også en sentral komponent plassert på Simula som tar i mot, prosesserer og lagrer måledata.

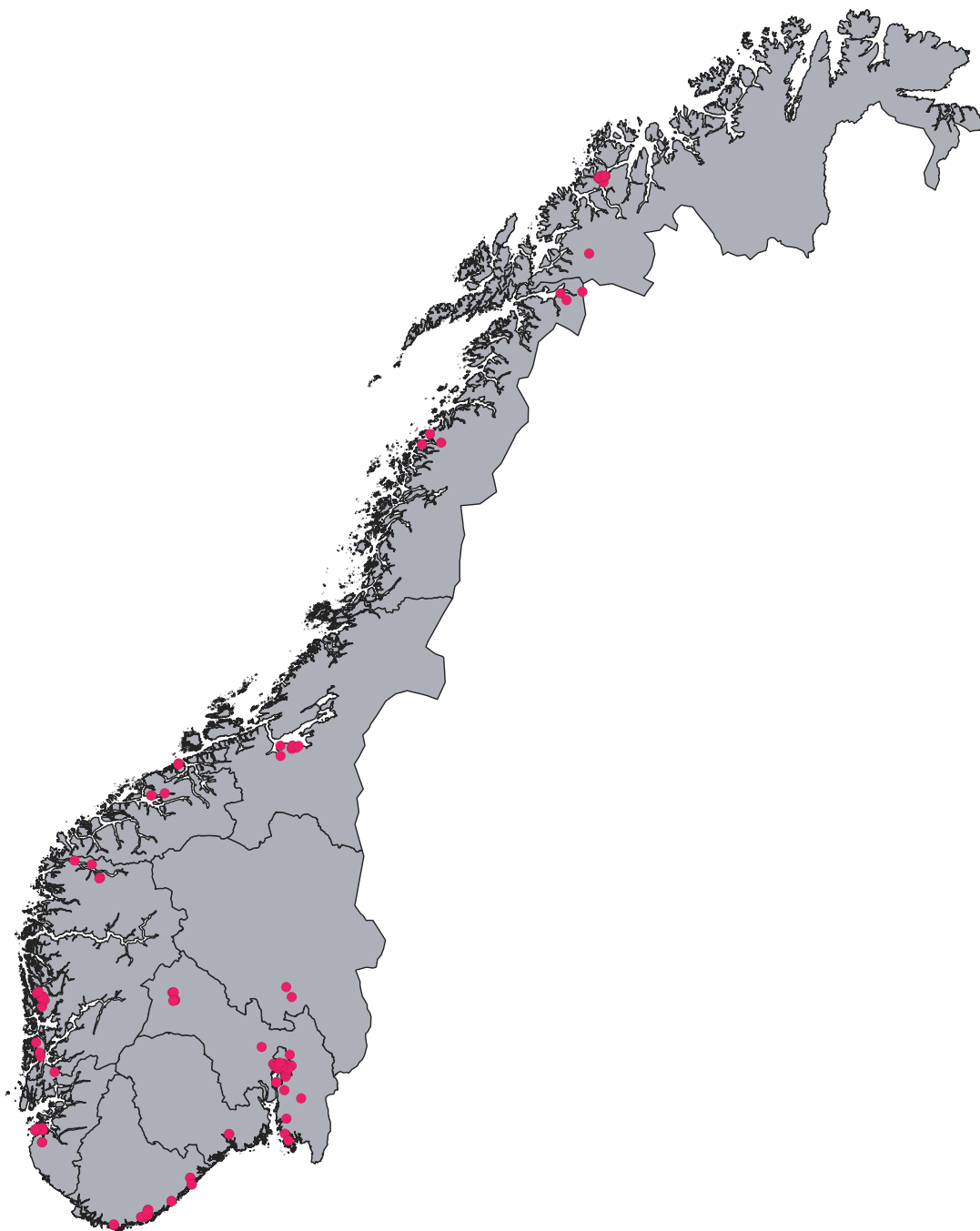
Centre for Resilient Networks and Applications (CRNA) samarbeider med lokale partnere over hele landet som fungerer som vertskap for målenoder. Figur 8.1 gir et inntrykk av den geografiske fordelingen av målenoder. På grunn av et tidligere samarbeid med e-valgprosjektet i Kommunal- og Moderniseringsdepartementet, 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 ligget på rundt 120 gjennom året, men har variert noe gjennom måleperioden, som vist i figur 8.2. Vi har stasjonære målenoder i alle landsdeler. Resultatene i denne rapporten er basert på målinger fra totalt 244 forbindelser fordelt på 147 ulike stasjonære målenoder.

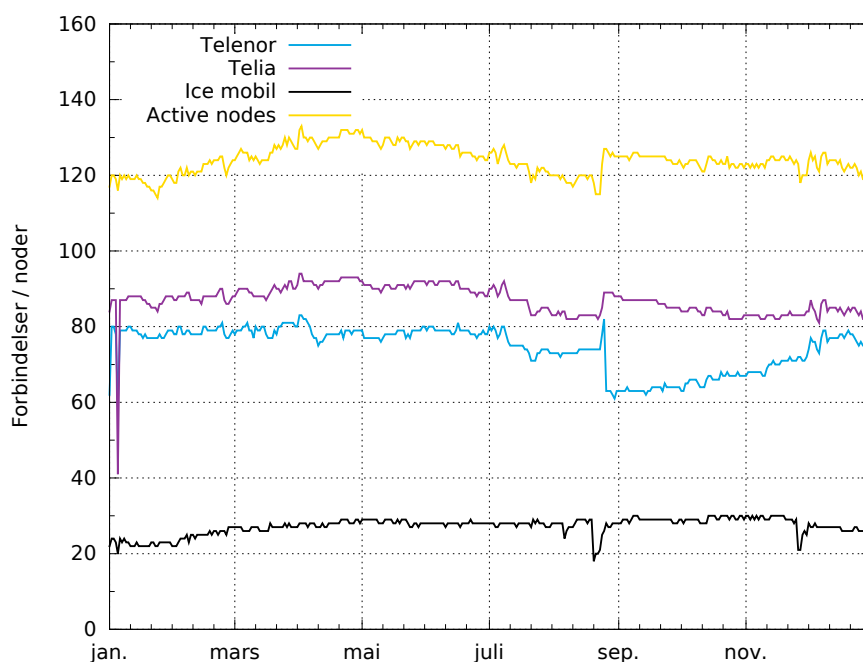
8.1 Mobilnettene vi måler

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

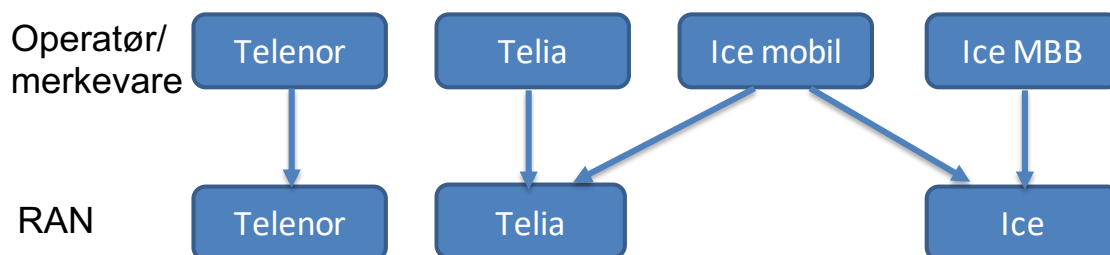
¹Nornet består i tillegg til Nornet Edge av Nornet Core, som brukes til målinger og eksperimenter i fastnett.



Figur 8.1: Geografisk fordeling av målenoder.



Figur 8.2: Antall aktive målenoder og forbindelser fra hver operatør gjennom 2020.



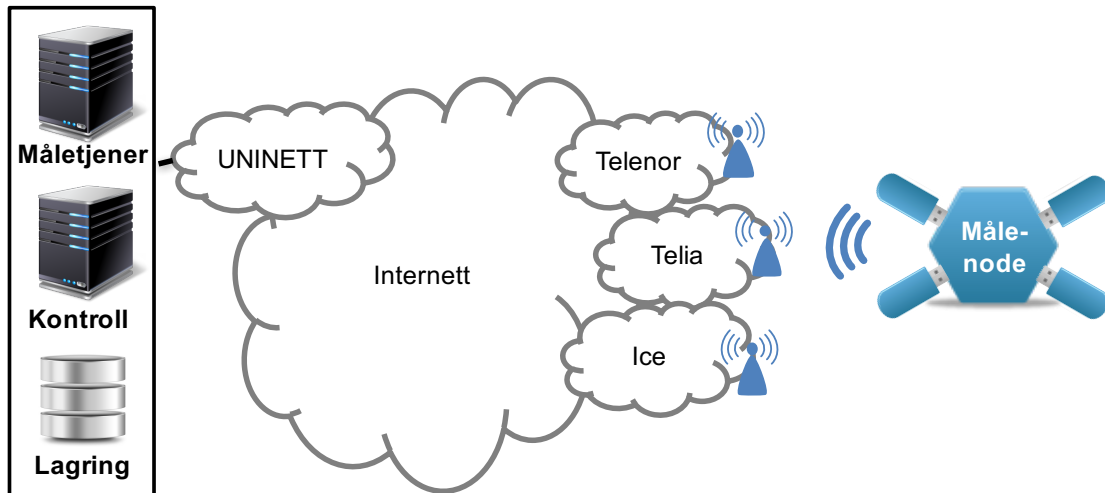
Figur 8.3: Operatører og nettverk behandlet i denne rapporten.

i 2015 et teknologiskifte i sitt nett, fra CDMA til LTE. Dette nettet er et rent 4G (LTE) nett, i motsetning til Telenor og Telias nett som også støtter 2G (GSM), 3G (UMTS) og etter hver også 5G. Vi presenterer kun målinger for Ice mobil i denne rapporten. Ice mobil kan ikke benytte 450 MHz-frekvensene, og benytter Telias nett dersom de er utenfor områder som Ice dekker med andre frekvenser.

Figur 8.3 viser sammenhengen mellom operatør/merkevare og hvilket radioaksessnett (RAN) operatøren bruker.

8.2 Nornet Edge målenoder

I slutten av 2016 startet vi utrulling av andre generasjon målenoder, og gjennom 2017 tok nye målenodene gradvis tatt over for de en eldre versjon. 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



Figur 8.4: Nornet Edge måleinfrastrukturen.

målinger som kan støttes.

Teknisk er 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 MBB benytter vi WeTelecom WDP-600N LTE modemer, siden disse også støtter frekvenser i 450 MHz-båndet.

8.3 Server-side infrastruktur

Målenodene utfører målinger ved å sende trafikk til Simulas måleservere i Oslo, som vist i figur 8.4. Trafikk til og fra måleserverne rutes gjennom de ulike mobilnettene og videre gjennom UNINETT. Måleserverne har god kapasitet i form av minne, prosessering og nettverkstilknytning, for å unngå at de skal være en flaskehals i målingene.

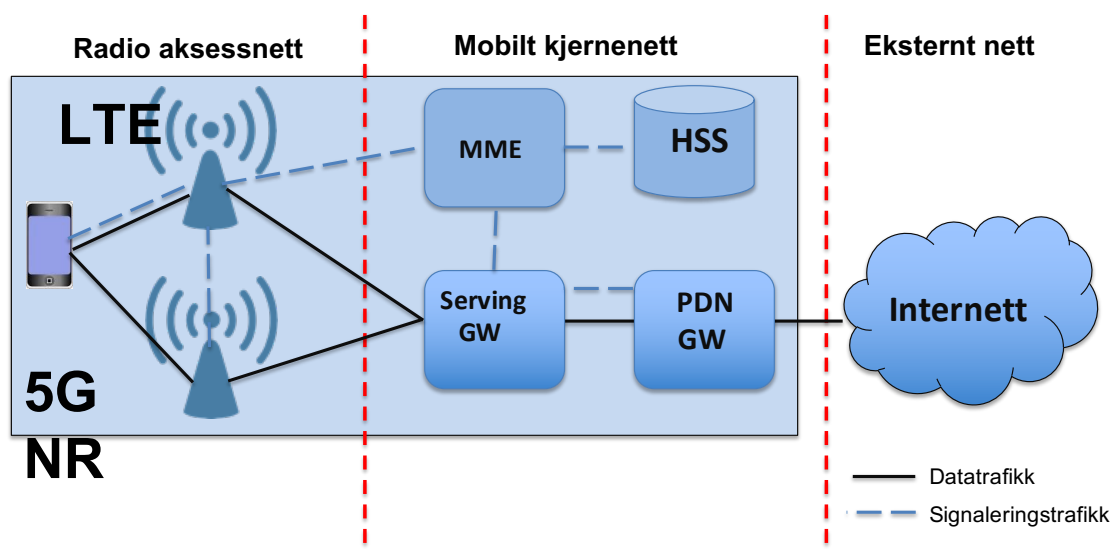
Målenodene overfører resultater fra målingene fortløpende til en sentral server, hvor de prosesseres og legges inn i en database. De innsamlede dataene behandles og filtreres for å fjerne perioder der vi opplevde problemer i server-side infrastrukturen.

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

8.4 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, gjennom å måle den opplevde nedlastings- og opplastingshastigheten. Vi ser også på dekning og ytelse på tog, og rapporterer tidlige målinger fra mobilnettets tjenester rettet mot Internet of Things.

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.



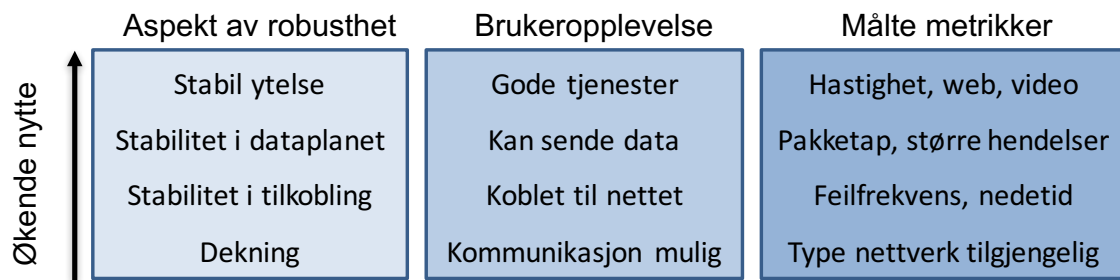
Figur 8.5: Hovedkomponentene i 3G (UMTS) og 4G (LTE) nettverk.

Figur 8.5 viser en forenklet framstilling av de viktigste komponentene i et 4G (LTE) 5G mobilnett. Begge nettverkene består av et radio aksessnettverk. Radionettet inkluderer brukerterminaler og basestasjoner (kalt heholdsvis eNodeB i 4G og gNodeB i 5G). Kjernenettet inkluderer et antall sentrale funksjoner. 4G-nettverk er rene datanettverk, og inkluderer ikke komponenter nødvendig for å produsere linjesvitsjet tale. Den viktigste delen av kjernenettet for vår diskusjon er komponenten som forbinder mobilnettet med eksterne nett (Internett). Denne enheten kalles Packet Data Network Gateway (PGW) i 4G.

De første 5G-nettverkene er såkalte Non-Standalone (NSA) nettverk, som er en inkrementell utvikling fra 4G-nettene. 5G NSA gjør det mulig å raskere etablere et nettverk som oppfyller deler av 5G-visjonen. 5G basestasjoner etableres parallelt med 4G basestasjoner. 4G-basestasjonene fungerer som en primærforbindelse for kontrolltrafikk, og all signalering forbundet med å etablere kommunikasjon i både 4G og 5G går over denne forbindelsen. 5G-forbindelsen styres via 4G, og er en ren kapasitetsforbindelse som gir brukere tilgang til økt båndbredde. Annen funksjonalitet, som svært lav forsinkelse og støtte for svært mange samtidige tilkoblinger på en basestasjon, støttes ikke i 5G NSA. Disse egenskapene kommer først senere når hele 5G kjernenettet er på plass i såkalt Standalone (SA) modus.

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 8.6. 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 endebrukeren. 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.

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



Figur 8.6: Rammeverk for å måle robusthet på flere nivåer.

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.

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 pakketap for å karakterisere stabilitet i dataplanet, og sammenligner pakketap hos de ulike operatørene.

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.