



Norske mobilnett i 2021

CRNA - Centre for Resilient Networks and Applications

Norske mobilnett i 2021

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 niende i rekken.

Ansvarlig for årets rapport Dr. Ahmed Elmokashfi
Bidragstere Dr. Amund Kvalbein
Anas Saeed Al-Selwi
Dr. Foivos Ioannis Michelinakis
Dr. Thomas Dreibholz
Omslag Image by PublicDomainPictures from Pixabay
Publiseringsdato NBED. april 2022
ISBN 82-92593-36-5

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

Innhold

1	Sammendrag og hovedfunn	5
2	Stabilitet i tilkoblingen	9
2.1	Nedetid	10
2.2	Værlighet av brudd i tilkobling	11
2.3	Nedetid gjennom året for enkeltforbindelser	14
2.4	Større hendelser	14
2.5	Utvikling over tid	15
3	Stabilitet i dataplanet	19
3.1	Tapsrate	19
3.2	Utvikling over tid	20
4	Stabil ytelse	23
4.1	Opplastings- og nedlastingshastighet	23
4.2	Variasjon mellom forbindelser	25
4.3	Variasjon gjennom året	26
5	Tidlige erfaringer med 5G	29
5.1	Stabilitet i 5G-tilkoblingen	29
5.2	Hastighet	29
6	Bredbånd over satellitt	35
6.1	Forsinkelse	36

6.2	Pakketap	36
6.3	Hastighet	36
6.4	Diskusjon	37
7	Mobildekning på tog	39
7.1	Mobildekning på tog	39
7.2	Mobildekning per banestrekning	40
8	Bakgrunn og metode	43
8.1	Mobilnettene vi måler	43
8.2	Nor-net Edge målenoder	45
8.3	Server-side infrastruktur	46
8.4	Metode	46



1. Sammendrag og hovedfunn

For mobilnettene var 2021 et år som først og fremst handlet om introduksjonen av 5G. Særlig Telia, men også Telenor, hadde full fart på utbygging og oppgradering av basestasjoner til 5G gjennom året. Selv om vi primært måler robusthet og ytelse i 4G, ser vi resultatene av denne utbyggingen i form av økte hastigheter for alle operatører.

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 2021 som i 2020 og 2019.

Vi rapporterer også som i fjor målinger fra 5G-nett. Foreløpig opplever vi lite stabile forbindelser på denne teknologien, ofte med hyppige overganger mellom 4G og 5G. Disse nettene er fortsatt i en utrullingsfase, og vi har et begrenset antall 5G-kapable målenoder. Vi observerer generelt høye hastigheter i 5G-nettene, men også stor varians og varierende grad av stabilitet i tilkoblingene. I årene som kommer vil vi fortsette å følge utviklingen i stabilitet mens mobilnettene fullfører oppgraderingen fra 4G til 5G.

Resultatene som presenteres i årets rapport er basert på aktive målinger fra 147 stasjonære målepunkter spredt over store deler av Norge gjennom hele 2021.

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 2021 enn noe år tidligere.

I årets undersøkelse inkluderer vi som i fjor målinger av bredbånd over satellitt. Forbindelsen vi måler er fra tilbyderen Bigblu, og realiseres over en geostasjonær satellitt. Grunnen til å inkludere disse målingene i årets undersøkelse er rollen satellittbredbånd eventuelt kan spille for å oppfylle en eventuell 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.

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 2020 og 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 fortsetter den positive trenden for Ice, hvor over 80 % av forbindelsene oppnår en slik tilgjengelighet. Dette er om lag som i 2020, og opp fra om lag 60 % i 2019. Om lag 72 % 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 2021, som i 2021.
- Hele 66 % av Iceforbindelsene gikk gjennom hele året uten en eneste dag med mer enn ett minutt nedetid. Tilsvarende tall for Telenor og Telia var 47 % og 58 %. Dette er en vesentlig høyere andel enn i 2020, og indikerer at den nedetiden vi målte i 2021 var fordelt på flere dager enn tidligere år
- Vi observerer 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 mobilnettene.

Stabilitet i dataplanet

- Det observerte pakketapet var om lag det samme i 2021 som i 2020. Telenor har fremdeles det laveste pakketapet, men det er små forskjeller mellom Telenor og Telia.
- Pakketapet hos Ice var noe høyere enn hos de andre operatørene, men Ice opplevde samtidig en klar nedgang i pakketap fra 2020 til 2021.

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.
- Vi observerer en klar økning i nedlastingshastigheter fra 2020 til 2021 hos alle operatører. Nedlastingshastigheten har vært relativt konstant gjennom flere år, men økningen i 2021 er klar og betydelig.
- Det er naturlig å se økningen i hastighet i sammenheng med den store oppgraderingen av mobilnettene som skjer i forbindelse med innføring av 5G. Vi observerer at hastigheten har økt gjennom året. For Telia har det vært en økning gjennom hele året, mens det for Telenor særlig har vært en økning gjennom høsten.
- Som tidligere år måler vi fremdeles høyest hastighet hos Telenor, men forskjellene mellom operatørene er relativt liten. For Telenor måler vi noe høyere varians i den oppnådde ytelsen i 2021 enn i 2020, mens variansen for de andre operatørene er om lag som før. Vi har tidligere vist at slik varians skyldes i stor grad at en målenode veksler mellom å koble seg til ulike basestasjoner som kan gi svært ulike brukeropplevelser.

Tidlige erfaringer med 5G

- 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.
- Vi måler gode hastigheter i 5G-nettene, typisk mellom 200 og 400 Mbit/s nedlastingshastighet og mellom 40 og 60 Mbit/s opplastingshastighet. Dette er vesentlig høyere ytelse enn i 4G. Det er imidlertid stor variasjon i hastigheten, særlig for Telia.
- En del 5G-forbindelser er lite stabile, og hopper relativt ofte mellom 4G og 5G.

Satellitt

- Vi presenterer i år som i fjor 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 20 Mbit/s og 40 Mbit/s. Hastigheten varierer mye gjennom døgnet etter hvor mange brukere som er aktive. Nedlastingshastigheten har gått noe opp fra 2020 til 2021.
- Opplastingshastigheten ligger normalt mellom 2 og 5,5 Mbit/s. Vi observerer en tydelig nedgang i opplastingshastighet i 2021 sammenlignet med 2020.
- Pakketapet i satellittforbindelsen er høyere enn i mobilnettene, og ligger normalt mellom 0,1 % og 0,3 %. Enkelte dager kan pakketapet være opp mot 1 %. Vi opplever noe mindre varians i pakketapet i 2021 enn i 2020.
- Forbindelsen vi måler går over en geostasjonær satellitt. Den har derfor relativt høy forsinkelse, med en round-trip-time på om lag 700 ms.

Mobildekning på tog

- Vi presenterer igjen målinger fra utstyr om bord på tog, som vi sist gjorde i rapporten for 2019.
- Alle tog vi måler fra er nå utstyrt med aktive signalforsterkere, som skal motvirke dempning i togkarosseriet og sørge for god dekning inne i toget.
- Vi observerer en vesentlig bedring i dekningen langs jernbanen i 2021 sammenlignet med 2019.



2. Stabilitet i tilkoblingen

I dette kapittelet 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 kapittelet, 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.

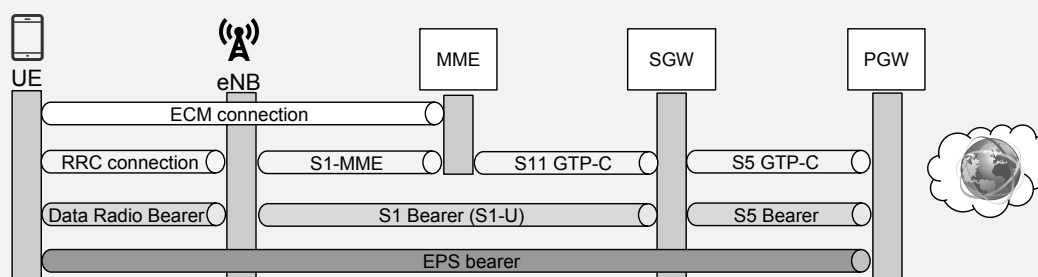
For å sikre at målingene i minst mulig grad påvirkes av feil i vår måleinfrastruktur, gjør vi en rekke filtreringssteg hvor vi fjerner nedetid som vi mistenker skyldes slike forhold. Dette innebærer

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 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 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.



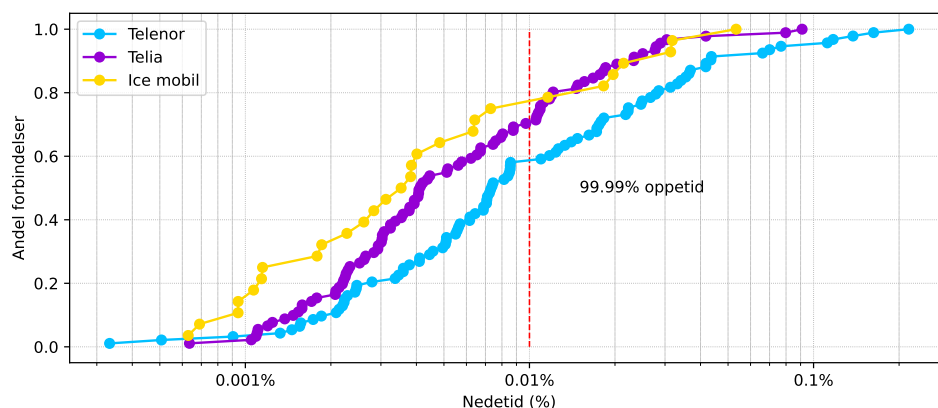
En EPS bærer realiseres over en serie med tunneller mellom brukerterminalen og en komponent i kjernenettet som kalles en Packet Gateway (PGW), som vist i figuren over. Disse tunnelene sørger blant annet for at tilkoblingen beholdes selv om brukerterminalen flytter seg fra et område til et annet. Vi måler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

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. Forskjellene i stabilitet mellom operatører er begrenset. Den observerte stabiliteten var i hovedsak den samme i 2021 som i 2020 og 2019.

Ice mobil fortsetter den positive trenden vi har observert de to siste årene, og var i 2021



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

den operatøren som i gjennomsnitt opplevde minst nedetid for sine forbindelser. Over 80 % av forbindelsene her oppnådde en tilgjengelighet på over 99,99 %. Dette er om lag den samme andelen som i 2020, og 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 2020 til 2021, og var også svært lik i 2019. 72 % av forbindelsene har en tilgjengelighet på minst 99,99 %, noe som er om lag som i 2020 og marginalt lavere enn i 2019 og 2018 (80 %). Kun én av Teliaforbindelsene opplever en tilgjengelighet på 99,999 %, noe som er en nedgang fra 8 % i 2020 og 15 % i 2019. En slik tilgjengelighet tilsvarer om lag 5 minutter utilgjengelighet i løpet av hele året, noe som er svært lavt. Det er som forventet at andelen forbindelser som opplever så lite nedetid vil variere fra år til år, siden selv små unøyaktigheter i måleoppsettet eller prosesseringen av data vil få store utslag.

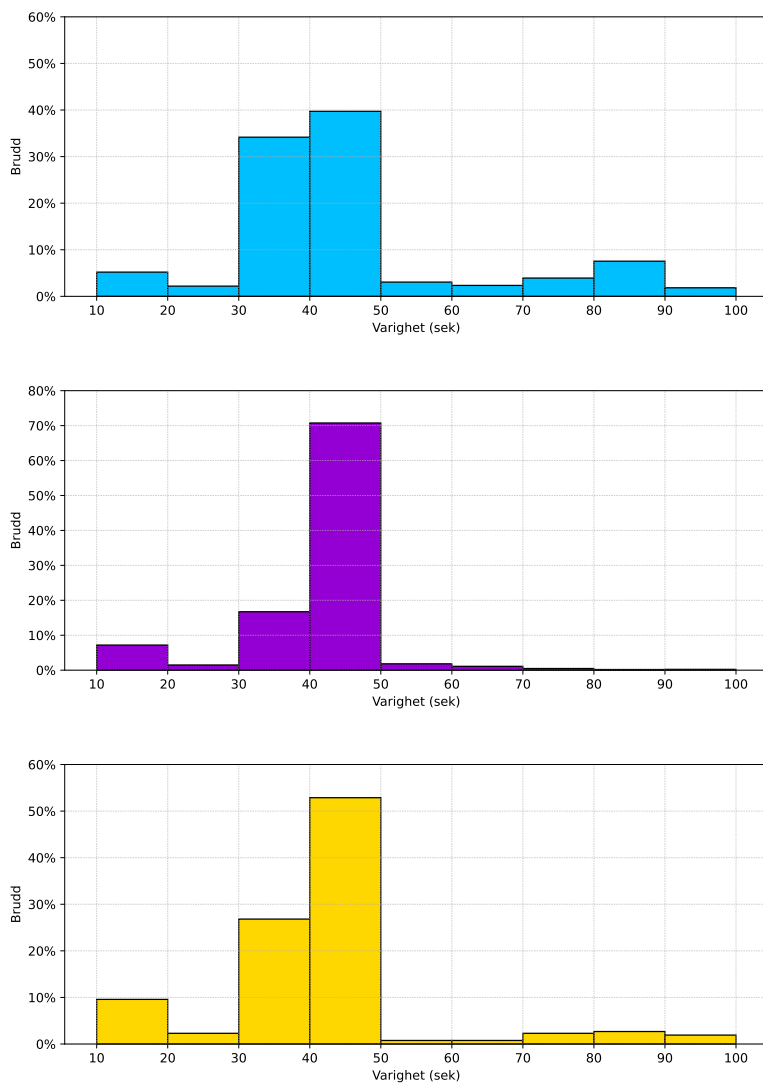
Telenor opplever også god stabilitet i 2020, om enn noe lavere enn Telia og Ice. 60 % av Telenorforbindelsene opplevde en tilgjengelighet på minst 99,99 %, noe som er om lag det samme som i 2020 og 2019, men en nedgang fra 2018 da rundt rundt 80 % oppnådde en slik stabilitet.

Få forbindelser opplever vesentlig nedetid - kun et fåtall Telenorforbindelser opplevde nedetid på over 0,1 % (som tilsvarer 90 sekunder i døgnet).

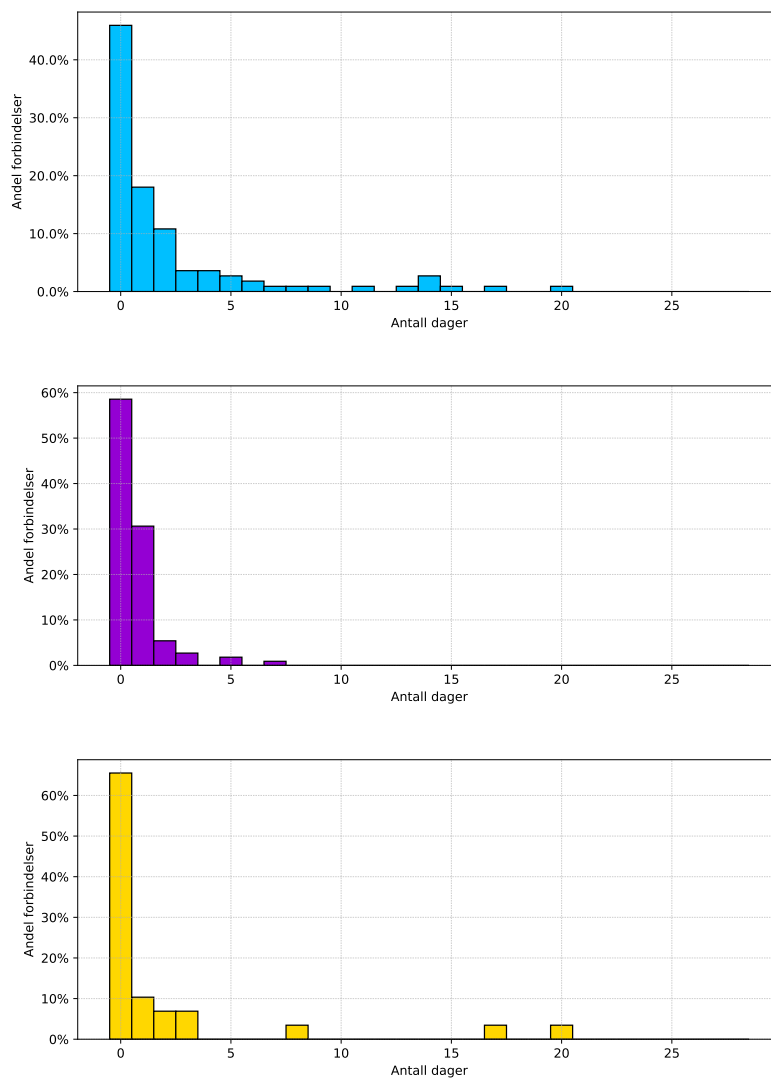
2.2 Varighet av brudd i tilkobling

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 målenoden og nettverket, inkludert SIM-autentisering med PIN-kode og etablering av forbindelsen. Våre målenoder 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.



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	11. jan	14:40	11	Nei
	28. jan	04:50	10	Ja
	25. apr	23:05	27	Ja
	28. apr	03:15	10	Ja
	3. mai	00:00	24	Ja
	9. mai	23:20	11	Ja
	29. aug	23:20	24	Ja
	8. nov	00:15	13	Ja
	15. nov	03:25	14	Ja
Telia	20. feb	00:00	16	Ja
	2. jun	00:05	22	Ja
	6. jul	02:00	12	Ja
	15. aug	02:00	14	Ja
	17. sep	11:55	10	Nei
	23. sep	00:15	16	Ja
	3. nov	01:50	22	Ja
Ice mobil	1. jun	22:55	16	Nei
	2. jun	00:25	21	Ja
	7. des	23:30	16	Ja
	12. des	01:30	10	Ja

Tabell 2.1: Samtidig brudd i flere forbindelser fra en operatør.

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 opplever få slike dager, og antall dager med vesentlig nedetid er redusert fra 2020 til 2021. Henholdsvis 47 %, 58 % og 66 % av forbindelsene hos Telenor, Telia og Ice mobil opplevde ingen dager i 2021 med over ett minutt nedetid. Tilsvarende tall i 2019 var henholdsvis 14 %, 15 % og 23 %. Dette tyder på at den nedetiden vi observerer var jevnere fordelt i 2021 enn i 2020, og at flere brudd på samme dag forekom sjeldnere.

2.4 Større hendelser

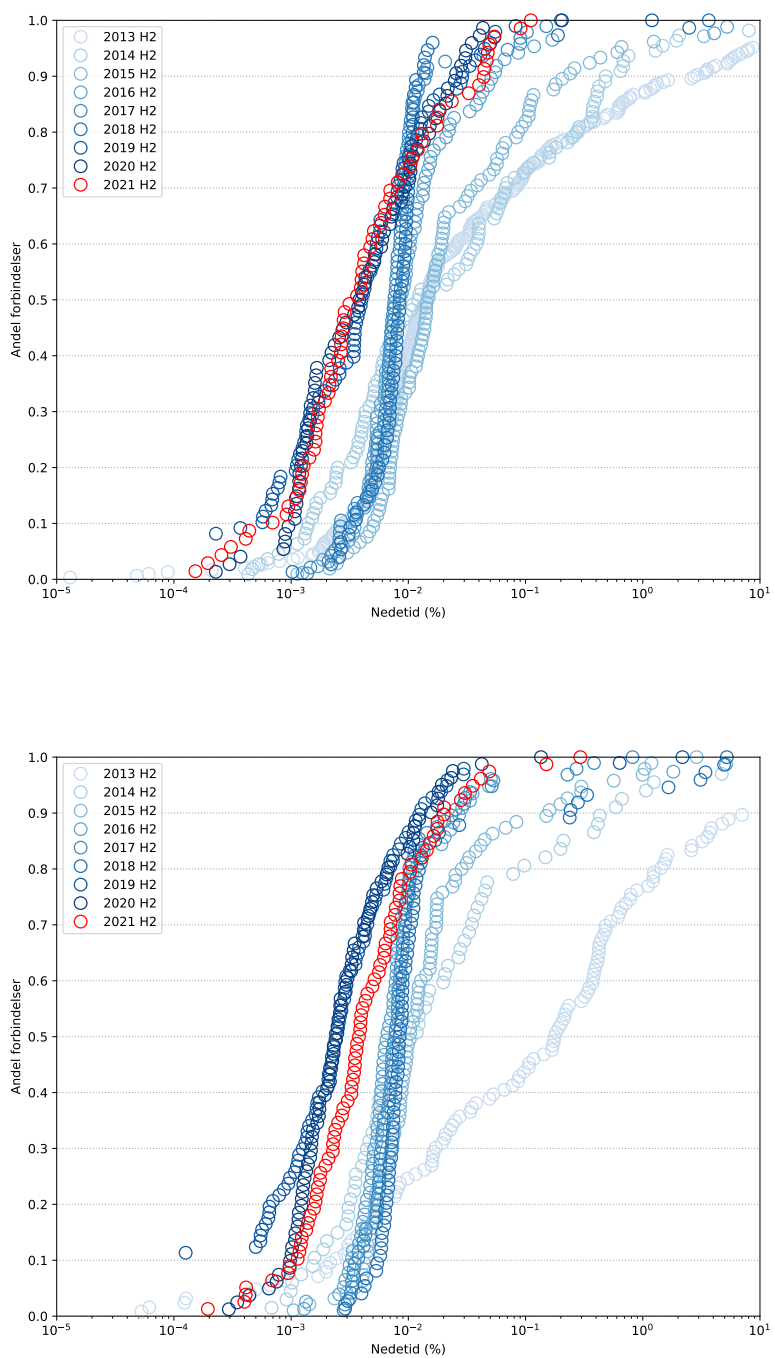
Noen ganger oppstår det situasjoner der et større antall forbindelser hos en operatør mister tilkoblingen til nettet samtidig. Dette vil typisk skyldes feil eller endringer som gjøres i sentrale komponenter i mobilnettet. De første årene vi gjorde målinger i mobilnettene observerte vi mange og store slike hendelser. De siste årene 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 2021.

NBED update text. Tabell 2.1 viser en oversikt over vesentlige hendelser i 2021. 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.

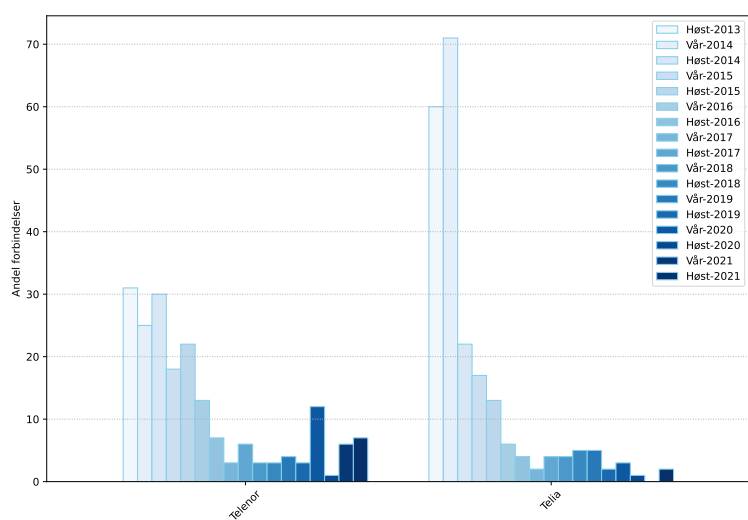
2.5 Utvikling over tid

Figur 2.4 viser utviklingen i nedetid fra 2013 til 2021 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 i perioden 2013 - 2019, noe som betyr at en større andel av forbindelsene får en mindre nedetid. Siden 2019 har fordelingen av nedetid vært relativt stabil.

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. Telenor hadde en noe høyere andel slike forbindelser 2021 enn i perioden 2017 - 2019.



Figur 2.4: Utvikling i nedetid hos Telenor (topp) og Telia (bunn) fra 2013 til 2021.



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



3. Stabilitet i dataplanet

I dette kapitlet ser vi på mobilnettenevne 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.

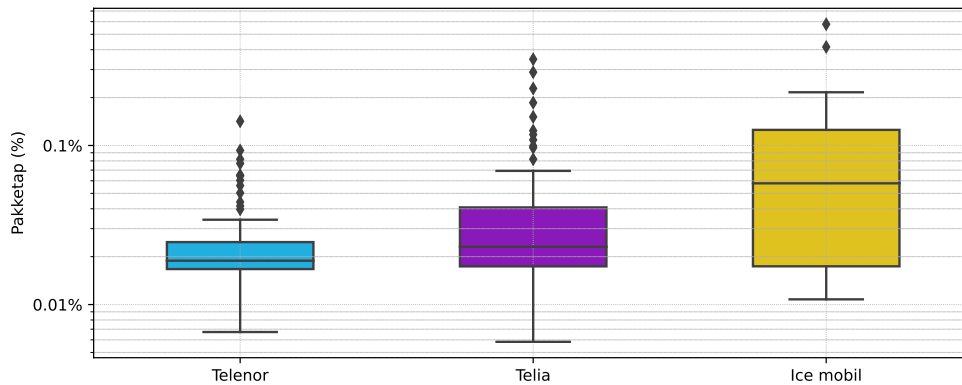
Måletrafikken vi baserer vår analyse på består av små (20 Byte) UDP-pakker som sendes til en sentral server hvert sekund. Serveren sender den samme pakken tilbake umiddelbart. For hver pakke registrerer vi hvor lang tid det tar før svarpakken kommer tilbake. Dersom ingen svarpakke kommer i retur innen 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 enn noe høyere enn i 2020 for Telenor og Telia. Telenor har marginalt høyere pakketapet i 2021 enn i 2020, men har fremdeles det laveste pakketapet med median på 0,019 %. Telia opplever marginalt høyere pakketap enn Telenor,



Figur 3.1: Pakketap per operatør

Operatør	10 persentil	Median	90 persentil	Gjennomsnitt
Telenor	0,02%	0,02%	0,04%	0,03%
Telia	0,01%	0,02%	0,08%	0,04%
Ice mobil	0,01%	0,06%	0,20%	0,10%

Tabell 3.1: Pakketap

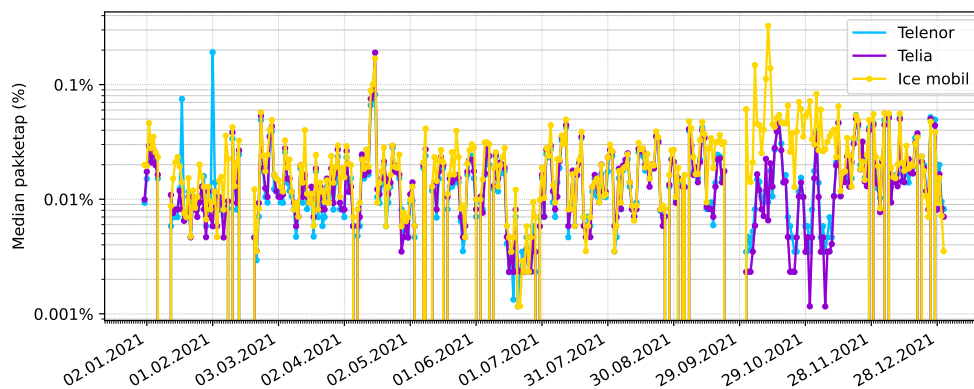
med et median pakketap på 0,023 % (opp fra 0,013 % i 2020). Tre av fire Telia-forbindelser har et pakketap under 0,04 %. Ice mobil har et noe høyere pakketap med median pakketap på 0,058 %, noe som er en reduksjon fra 0,10 % i 2020. De fleste Ice-forbindelser har et pakketap under 0,1 %, men ingen har et pakketap under 0,01%.

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

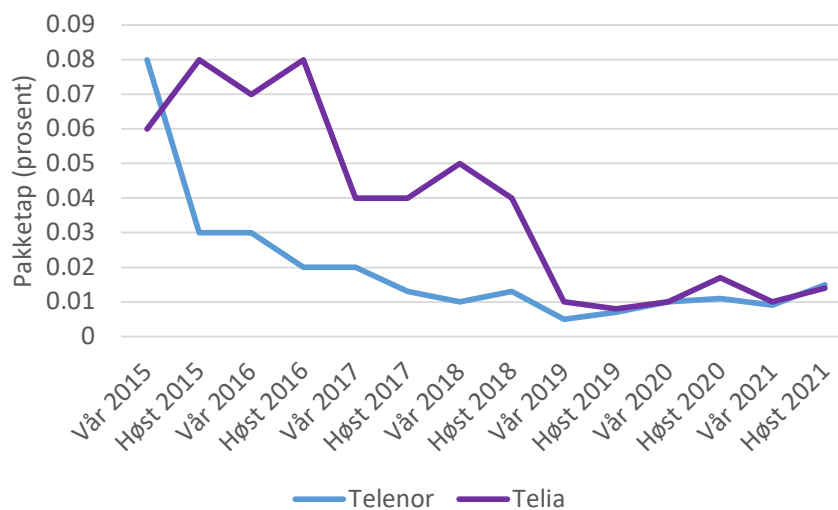
Pakketapet varierer fra dag til dag og gjennom året, som vist i 3.2. Ingen av operatørene opplever store endringer gjennom året, selv om alle operatørene opplever noe høyere pakketap i desember. Forskjellen mellom Ice og de andre operatørene skyldes i noen grad høyere pakketap i oktober-november.

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 2021.



Figur 3.3: Utvikling i median tapsrate 2015 - 2021



4. Stabil ytelse

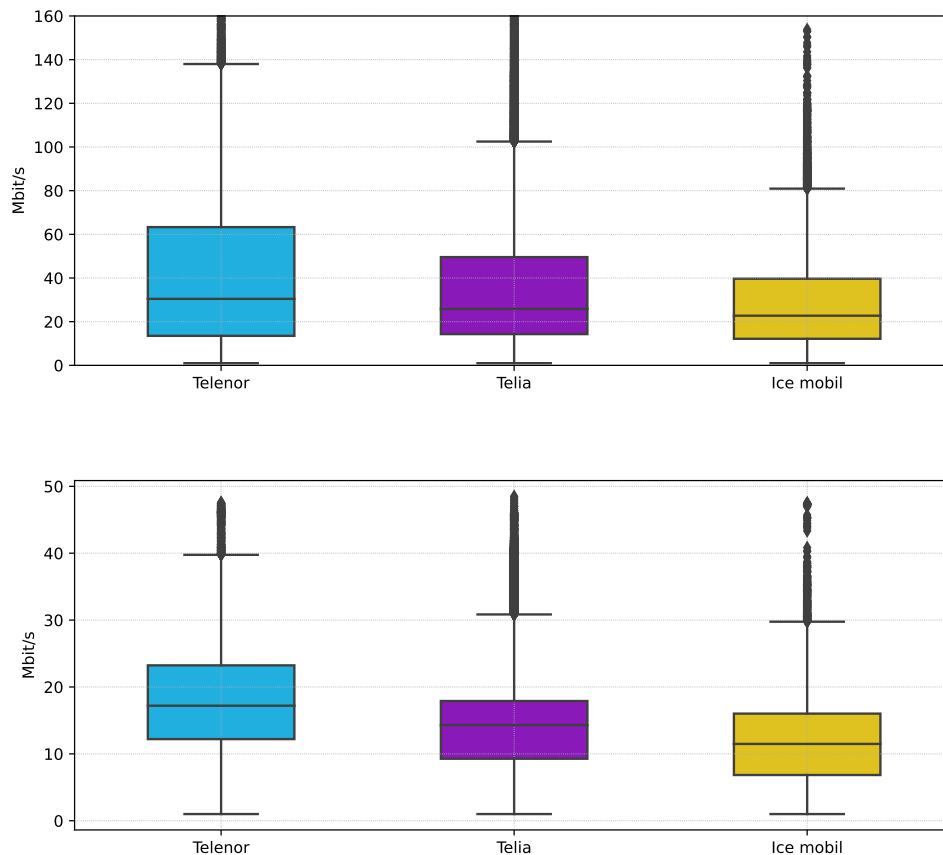
I dette kapittelet presenterer vi resultater knyttet til ytelse, i form av hvilken hastighet vi måler for opp- og nedlasting av data. Merk at den brukeropplevde ytelsen avhenger av flere faktorer, som dekningsforhold, antall samtidige brukere og interferens i området. Resultatene som presenteres her 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 tykkelse på vegger, hvor i bygningen målenodene er plassert og lignende. Dette er forhold som kan ha stor innvirkning på dekningsforhold og dermed på ytelse. Dekningsforholdene vil variere fra node til node, men alle målenodene er plassert på steder med 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 testen en serie nedlastinger av små filer over http for å gjøre et grovt estimat av nedlastingshastighe-

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



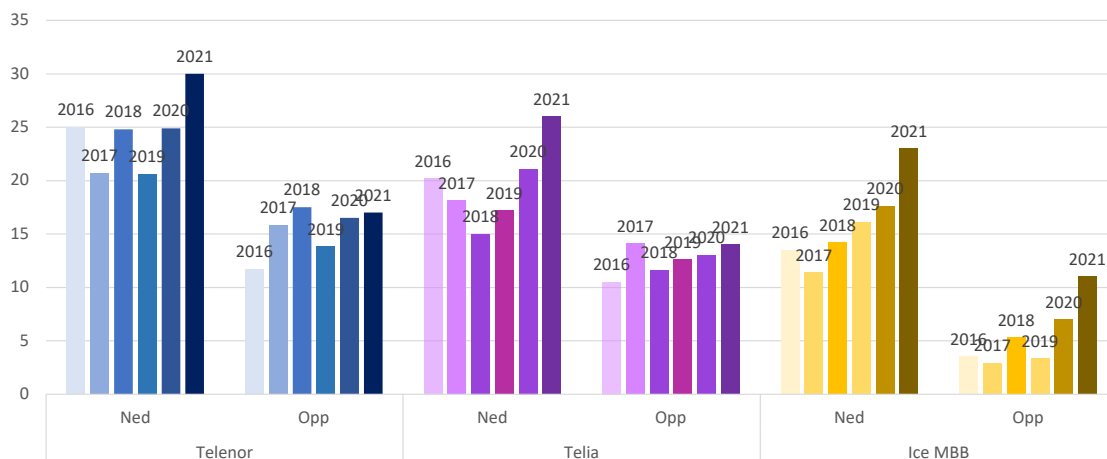
Figur 4.1: Nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) for ulike operatører.

ten. 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 høyere hastigheter i 2021 enn i 2020. Særlig nedlastingshastigheten er høyere i 2021 enn i 2020. Telenor oppnår fremdeles høyere hastigheter enn Telia og Ice både nedstrøms og oppstrøms, men forskjellen er mindre enn tidligere år. Median nedlastingshastighet er 30 Mbit/s i Telenors nett, 26 Mbit/s i Telias nett og 23 Mbit/s i Ice mobil sitt nett. 81 % av



Figur 4.2: Utvikling i ned- og opplastingshastighet 2016-2021.

målingene i Telenors nett viser en nedlastingshastighet over 10 Mbit/s (en nedgang fra 87 % i 2020). Tilsvarende tall er 86 % (83 %) for Telia og 81 % (92 %) for Ice mobil. 34 % av målingene i Telenors nett viser en nedlastingshastighet over 50 Mbit/s (en økning fra 28 % i 2019). Tilsvarende tall er 25 % (12 %) for Telia og 15 % (4 %) for Ice mobil.

Median opplastingshastighet er 17 Mbit/s i Telenors nett (uforandret fra 2020), 14 (13) Mbit/s i Telias nett og 11 (7) Mbit/s i Ice mobil. 80 % av målingene i Telenors nett viser en opplastingshastighet over 10 Mbit/s (opp fra 75 % i 2020). Tilsvarende tall er 72 % (69 %) for Telia og 59 % (14 %) for Ice mobil.

Figur 4.2 viser utviklingen i median ned- og opplastingshastighet fra 2016 til 2021. 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 en positiv utvikling i målte nedlastingshastigheter over de siste tre årene, mens utviklingen i opplastingshastighet er flatere.

For Telenor gikk median nedlastingshastighet markant opp i 2021, og var på sitt høyeste nivå siden våre målinger startet i 2016. Telia har hatt en økning de tre 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 2021 enn i noe tidligere år². Median opplastingshastighet var noe høyere i 2021 enn i 2020 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. Dersom interkvartilavstanden er høy i forhold til typisk oppnådd hastighet (som målt ved medianverdien), betyr dette at den oppnådde hastigheten varierer mye fra måling til måling.

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

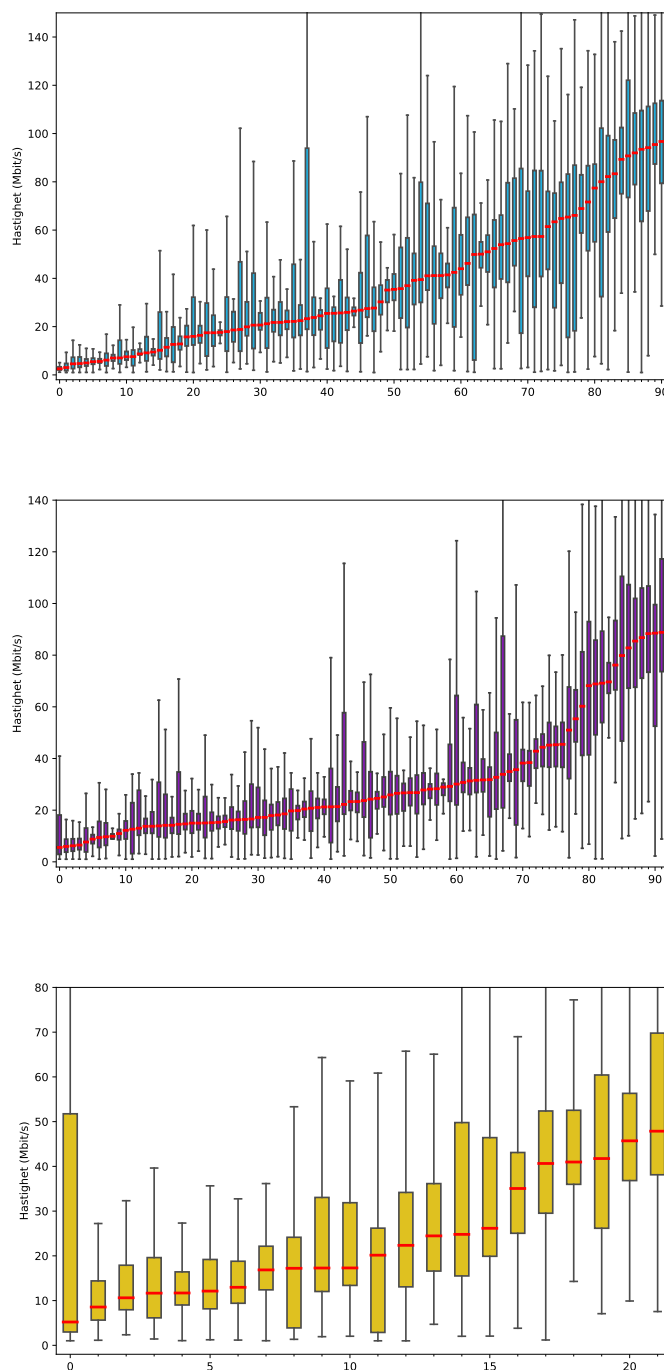
Denne variansen har blitt mindre de siste årene, noe som betyr at den oppnådde nedlastingshastigheten har blitt mer stabil. I 2021 var variansen om lag uforandret for Telia, mens den har blitt noe høyere for Telenor og Ice. 24 % av forbindelsene hos Telenor hadde en interkvartilavstand som er større enn medianen i 2021, mot 13 % i 2020 og 33 % i 2019. For Telia var tilsvarende tall 19 %, mot 21 % i 2020 og 26 % i 2019. For Ice 41 % mot 8 % i 2020 og 12 % i 2019. Økningen i varians kan ha sammenheng med de store endringene som ble gjennomført i flere av mobilnettene i 2021 knyttet til innføringen av 5G.

4.3 Variasjon gjennom året

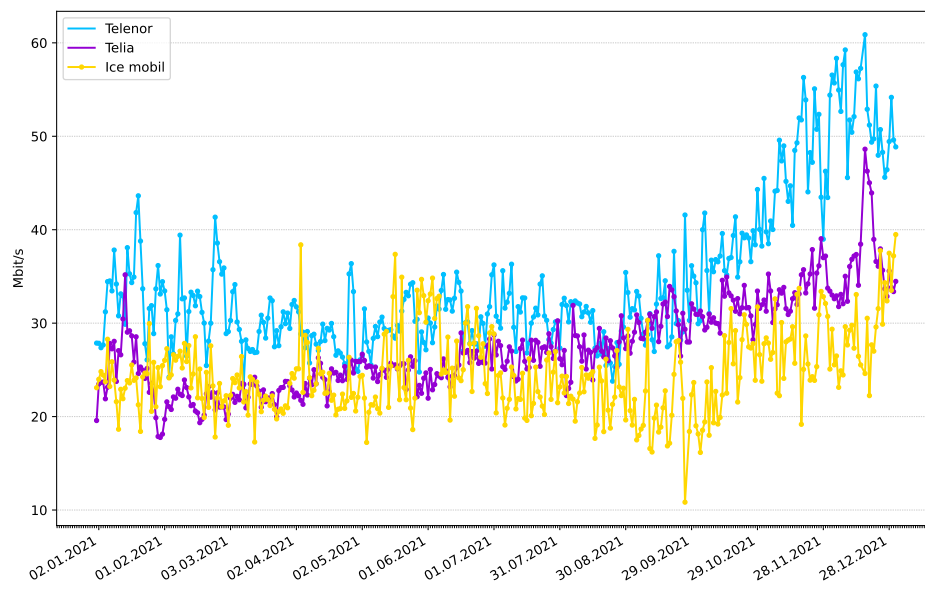
Figur 4.4 viser hvordan median nedlastingshastighet utvikler seg gjennom året for hver operatør. Hvert punkt i grafen viser median hastighet over alle målingene som ble foretatt for det aktuelle nettet gjennom ett døgn.

For Telenor måler vi en klar økning i hastighet mot slutten av året, fra august til desember. I november og desember målte vi median nedlastingshastigheter på over 40 Mbit/s hver dag i Telenors nett. For Telia ser vi økende hastighet gjennom det meste av året. For Ice er ikke utviklingen like klar, selv om vi også her ser høyere hastigheter i november-desember enn resten av året.

Økningen i hastighet gjennom andre halvår hos Telenor og Telia kommer for målenoder i flere landsdeler, og det er vanskelig å finne et bestemt mønster i hvilke målenoder som opplever en slik økning. Både Telia og Telenor har i 2021 startet utskiftingen og oppgraderingen av basestasjoner i forbindelse med utrulling av 5G. Dette innebærer introduksjon av mer avanserte antenner (4x4 MIMO), og gjenbruk av 3G-frekvenser til 4G. Denne utskiftingen er trolig en viktig årsak til den opplevde økningen i hastighet. Telia startet utskiftingen tidligere enn Telenor, noe som kan forklare at hastighetsøkningen startet tidligere hos Telia.



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 2021.



5. Tidlige erfaringer med 5G

I dette kapittelet presenterer vi erfaringer fra målinger av 5G. Mobiloperatørene er i full gang med 5G-utrollingen, og resultatene bærer preg av at denne teknologien fremdeles ikke har samme modenhet som 4G.

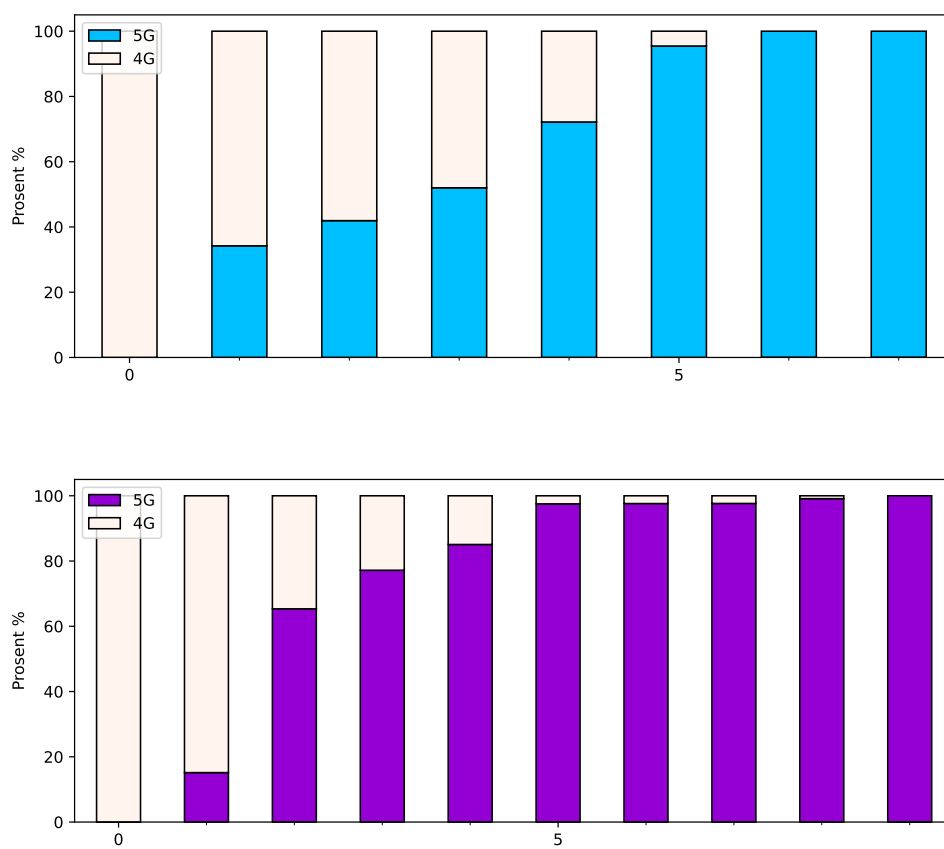
Det store flertallet av våre målenoder støtter ikke 5G, kun 4G. Vi er imidlertid i ferd med å øke antall 5G målenoder. Resultatene i denne rapporten er basert på et begrenset antall målenoder: 8 Telenorforbindelser og 10 Teliaforbindelser. Målenodene er utstyrt med Quectel RM50XQ modemer som er koblet via gigabit ethernet til målenoden. 5G målenodene er også utstyrt med kraftigere maskinvare enn andre målenoder for å kunne håndtere økte datahastigheter. Mens to av Teliaforbindelsene har vært aktive gjennom hele 2021, er resultatene for resten av forbindelsene basert på målinger fra desember 2021 til februar 2022. Målenodene er plassert i områder der det presumptivt skal være god 5G-dekning. Som diskutert under, varierer imidlertid stabiliteten i ytelsen vi måler på disse forbindelsene mye.

5.1 Stabilitet i 5G-tilkoblingen

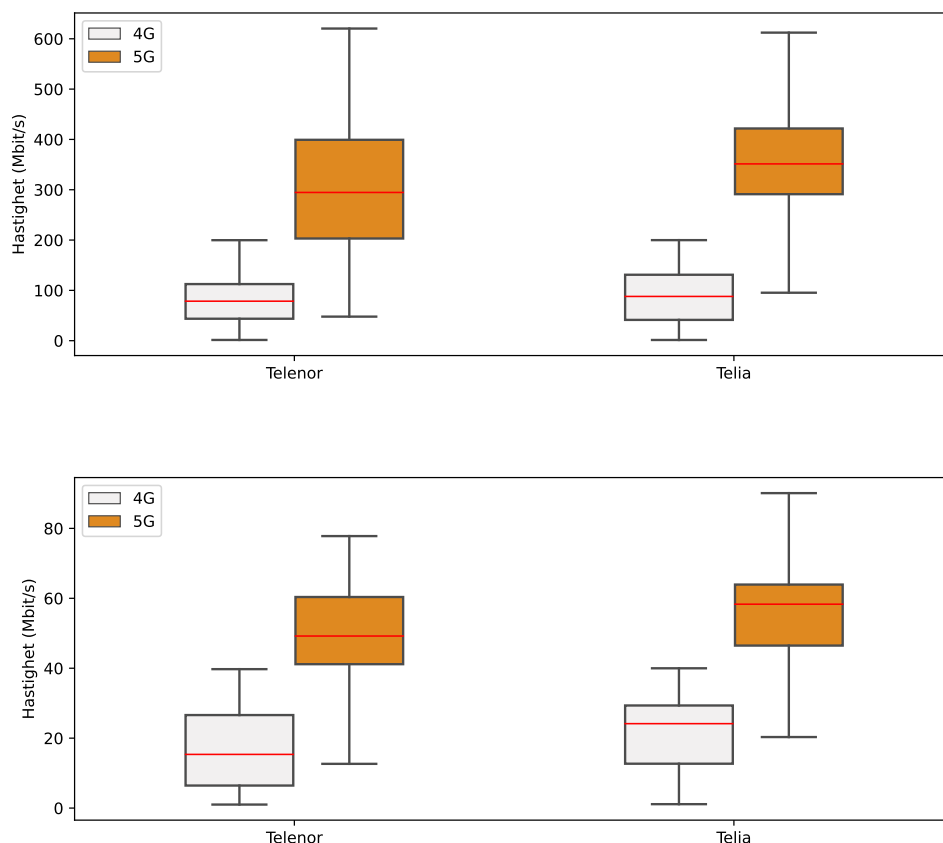
Selv om målenodene har god 5G-dekning i følge operatørens dekningskart, opplever vi at forbindelsene veksler mellom 4G og 5G. Figur 5.1 viser hvordan målenodene veksler mellom å være koblet til 5G og 4G. Vi opplever at det ofte er uoverensstemmelser mellom hvilken tilkoblingstype modemmet rapporterer, og den ytelsen vi faktisk ser på forbindelsen. Dette har trolig sammenheng med bruken av 5G Non-Standalone (NSA), hvor den logiske tilkoblingen til mobilkjernenettet går gjennom 4G selv om datatrafikken går over 5G. I denne figuren er tilkoblingstypen bestemt basert på hvilken hastighet og forsinkelse som observeres for forbindelsen når vi foretar hastighetsmålinger. Mens noen av målenodene er relativt stabilt koblet til 5G i mange dager (til og med uker), ser vi at andre målenoder veksler hyppig mellom 5G og 4G.

5.2 Hastighet

De norske 5G-nettene er basert på frekvenser i det såkalte C-båndet, mellom 3400 MHz og 3800 MHz. Alle norske mobiloperatører sikret seg betydelige frekvensressurser i dette frekvensbåndet i



Figur 5.1: Andel målinger med 5G-ytelse for hver målenode for Telenor (øverst) og Telia (nederst).



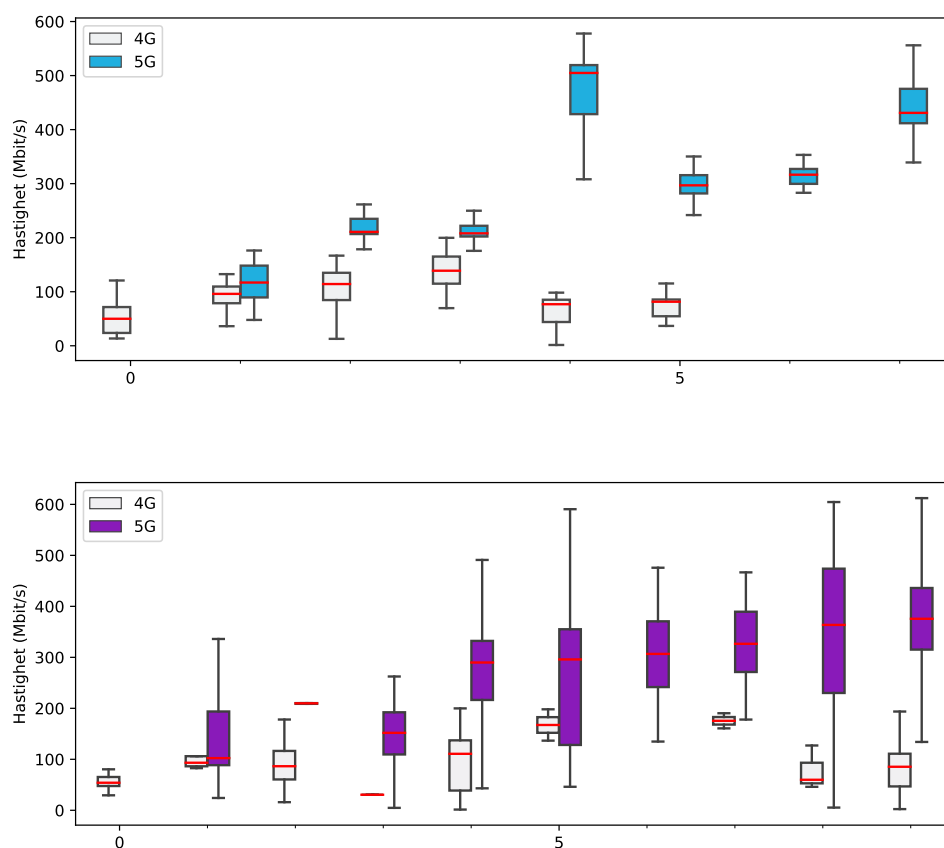
Figur 5.2: Nedlastingshastighet (øverst) og opplastingshastighet (nederst) for 5G målenoder.

en auksjon i september 2021. Telenor sikret seg 120 MHz i dette spektrumet (3580-3700 MHz), mens Telia kjøpte 100 MHz (3700-3800 MHz). Ice kjøpte 80 MHz (3400-3480 MHz), mens Altibox kjøpte 100 MHz (3480-3580 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.

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

Vi observerer først at vi oppnår langt høyere nedlastings- og opplastingshastighet i 5G enn i 4G. Median nedlastingshastighet på 5G er 296 Mbit/s for Telenor og 351 Mbit/s for Telia, mens tilsvarende hastigheter fra de samme målenodene når de er koblet til 4G er 88 Mbit/s (Telenor) og 87 Mbit/s (Telia). Vi observerer svært sjeldent nedlastingshastigheter under 100 Mbit/s med 5G, og i noen tilfeller observerer vi nedlastingshastigheter over 400 Mbit/s. Median opplastingshastighet på 5G er 49 Mbit/s for Telenor og 58 Mbit/s for Telia, mens for 4G er tilsvarende tall 18 Mbit/s (Telenor) og 24 Mbit/s (Telia). Det er altså klare ytelsesforskjeller mellom 4G og 5G.

Figur 5.3 viser hvordan nedlastingshastigheten for 5G varierer mellom de ulike målenodene for Telenor og Telia. For Telenor observerer vi store forskjeller mellom de ulike målenodene, men relativt liten varians i målingene fra samme målenode. Mens to målenoder oppnår mer enn 400 Mbit/s i de fleste forsøkene, er det tre andre målenoder som aldri oppnår over 300 Mbit/s. For Telia er bildet annerledes. Her er ytelsen mer lik på tvers av målenoder, men variansen mellom forsøk fra

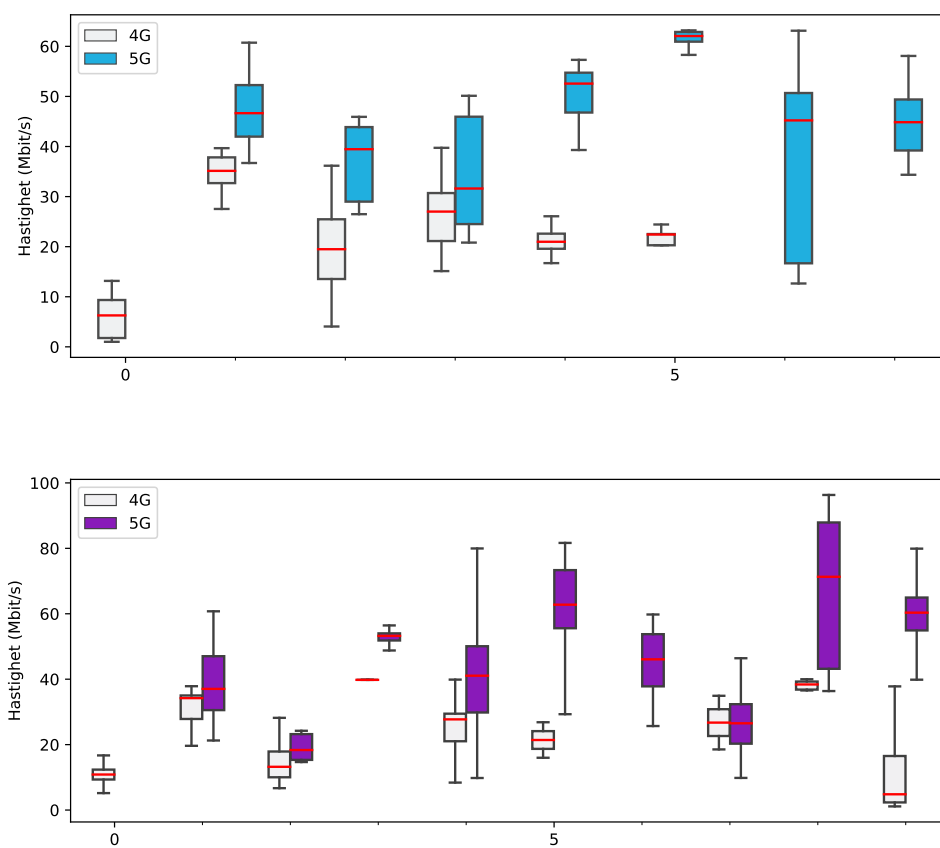


Figur 5.3: Nedlastingshastighet for hver målenode for Telenor (øverst) og Telia (nederst) for 5G målenoder.

den samme målenoden er større. Nedlastingshastigheten fra den samme målenoden kan i mange tilfeller variere med flere hundre Mbit/s.

Figur 5.4 viser tilsvarende resultater for opplastingshastighet. Her opplever Telenor mer homogene resultater på tvers av målenoder, men relativt stor varians mellom ulike forsøk fra samme målenode. Telia opplever større varians på tvers av målenoder, og også en del varians mellom ulike forsøk fra samme målenode.

Disse resultatene gir grunn til optimisme for at 5G skal kunne levere stabile høye hastigheter. Regjeringen har 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 relativt få brukere. Vi vil fortsette å måle opplevde hastigheter i 5G-nettene etter hvert som trafikkmengden øker.



Figur 5.4: Opplastingshastighet for hver målenode for Telenor (øverst) og Telia (nederst) for 5G målenoder.

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 various instruments.

6. Bredbånd over satellitt

I dette kapittelet presenterer vi målinger av bredbånd over satellitt. Vi startet med slike målinger i 2020.

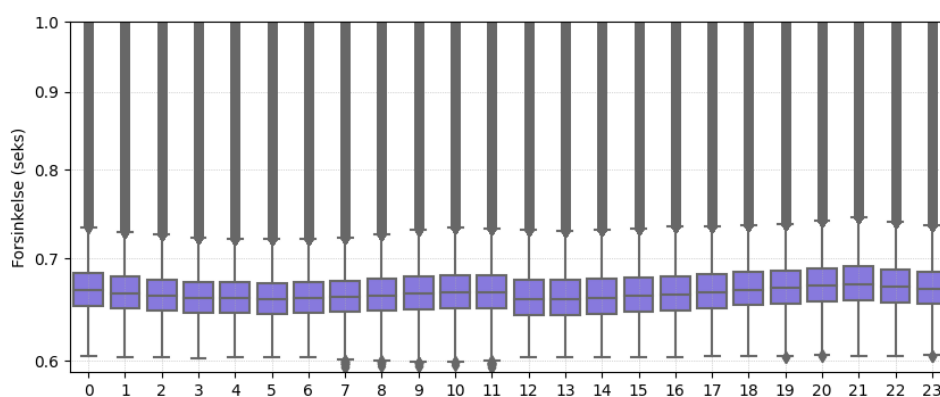
Satellittbredbånd spiller ingen viktig rolle i det norske bredbåndsmarkedet i dag, med kun noen tusen abonnenter. Det er likevel interessant å studere ytelsen for denne aksessformen. For det første kan satellitt gi et bredbåndstilbud i områder der det ikke finnes andre muligheter. For det andre kan satellittbaserte 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 Bigblu¹. 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 februar til mai 2021.

Her rapporterer vi målinger av forsinkelse, pakketap og hastighet.

¹<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. Det er ingen vesentlige endringer i forsinkelse fra 2020 til 2021.

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

6.2 Pakketap

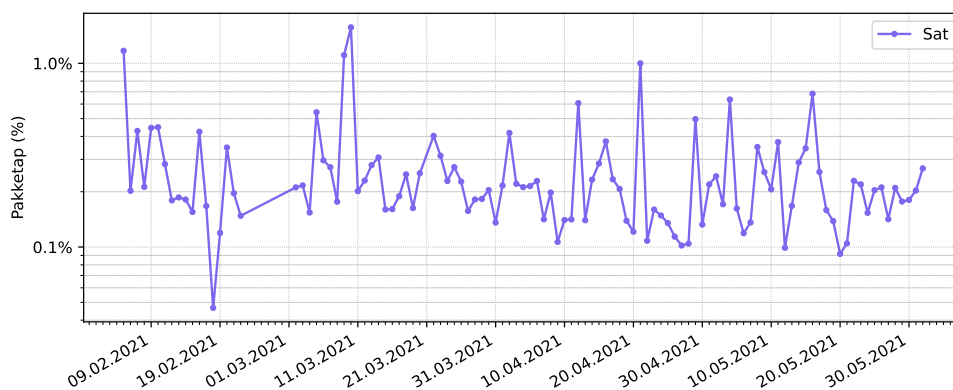
Figur 6.2 viser pakketapet hver dag i måleperioden. Vi observerer at pakketapet varierer forholdsvis mye, men noe mindre enn i 2020. De fleste dager ligger pakketapet mellom 0,1 % og 0,3 %. I 2020 observerte vi en noe større spredning i pakketapverdiene, med flere dager der pakketapet var under 0,1 % og flere dager der pakketapet var over 0,3 %. Dette er vesentlig høyere enn pakketapet i mobilnettene presentert i kapittel 3. Enkelte dager kan pakketapet være opp mot 1 %.

Vi observerer ingen klar forskjell på helger og ukedager i våre målinger.

6.3 Hastighet

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

Nedlastingshastigheten ligger normalt mellom 20 Mbit/s og 40 Mbit/s. I perioder med svært lite trafikk opplever vi hastigheter over 40 Mbit/s, mens i perioder med høy trafikk opplever vi



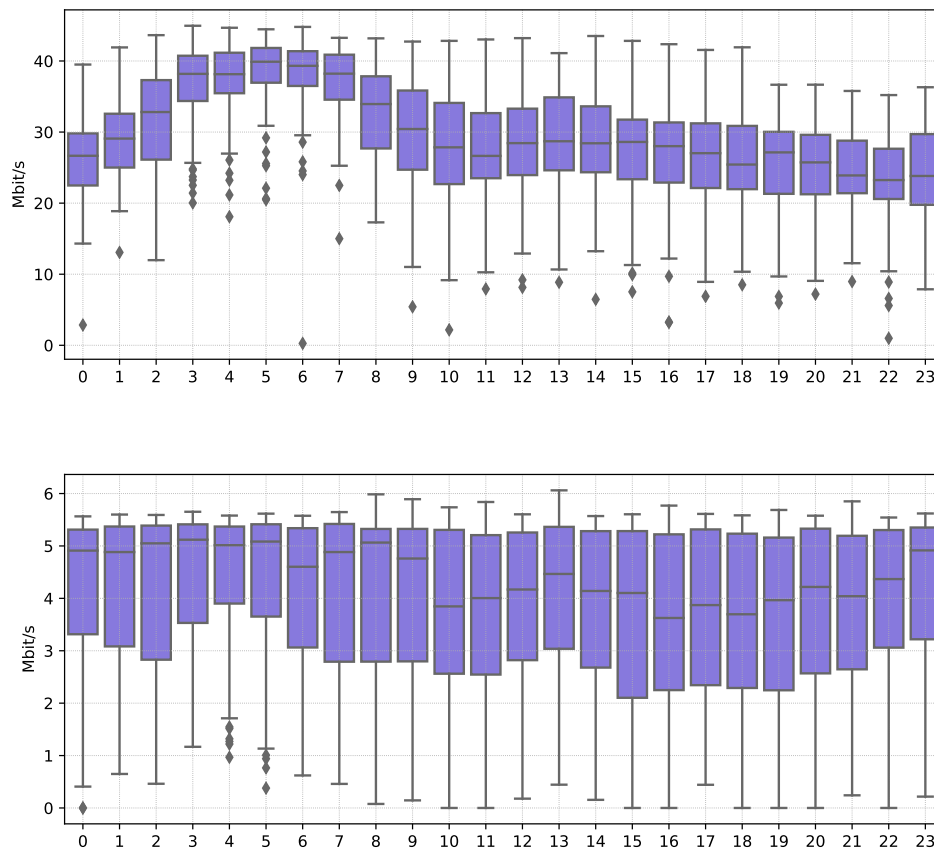
Figur 6.2: Pakketap i satellittforbindelse

hastigheter under 20 Mbit/s. Nedlastingshastigheten varierer relativt mye gjennom døgnet, med klart høyere hastigheter om natten enn om dagen. I de travleste timene om kvelden faller median nedlastingshastighet ned til 25 Mbit/s. Dette er imidlertid en klar forbedring fra 2020, da vi observerte median nedlastingshastigheter under 20 Mbit/s i de travleste timene.

Vi observerer imidlertid en klar nedgang i opplastingshastighet fra 2020 til 2021. Mens denne lå stabilt opp mot 5 Mbit/s i 2020, ser vi at denne hastigheten varierer mer i 2021. I travle timer ligger median nedlastingshastighet under 4 Mbit/s, med over 25 % målinger under 3 Mbit/s.

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 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. Mobildekning på tog

I dette kapitlet presenterer vi målinger av mobildekning målt om bord på tog. Målingene er gjennomført ved å plassere Nornet målenoder på ni tog i samarbeid med Norske tog. Togene er av forskjellige typer, og kjører både langdistanse og intercity-strekninger. Resultatene som presenteres her er basert på målinger foretatt gjennom hele 2021, og sammenlignes med tidligere målinger fra 2019.

Alle togene med målenoder har installert signalforsterkere om bord (se faktaboks).

I vår analyse av målingene deler vi toglinjene opp i segmenter på 1 km, og slår sammen alle målinger av dekning og ytelse i hvert segment. Antallet måleravlesninger vi har i hvert segment vil variere med togsettenes reisemønster. Vi krever minst 10 avlesninger for en operatør for å ta med det aktuelle segmentet i vår analyse.

For hvert intervall beregner vi den *typiske* dekningen. Den typiske dekningen er definert som den teknologien som er observert flest ganger i det aktuelle intervallet. Merk at det fremdeles kan finnes mindre hull uten dekning innen hvert 1 km-intervall. Dekning i denne sammenhengen betyr altså at vår målenode var i stand til å opprettholde en tilkobling til mobilnettet. Dette betyr ikke alltid at den opplevde tjenestekvaliteten vil være tilstrekkelig til å benytte alle slags applikasjoner. Merk også at Ice har en avtale om nasjonal gjesting i Telias nett der de ikke har egen radiodekning. Det rapporterte dekningen for Ice vil derfor også inneholde noe dekning fra Telia.

7.1 Mobildekning på tog

Hver målenode rapporterer status for forbindelsen til hvert mobilnett fire ganger i minuttet, inkludert teknologitype og signalstyrke for forbindelsen. Ved å kombinere disse målingene med lokasjonsdata fra togets GPS, kan vi si noe om den opplevde dekningen om bord på togene langs mye av det norske jernbanenettet. I tidligere analyser av mobildekning på tog har vi undersøkt hvilken teknologi forbindelsen går over. Dette kan være 4G, 3G, 2G eller Ingen tjeneste. Målenodene vil automatisk velge den beste tilgjengelige teknologien. I 2021 observerer vi i praksis kun 4G forbindelser, så hvert 1-km intervall vil enten være dekket av 4G eller mangle dekning.

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

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

NSB har tidligere gjennomført målinger av hvor mye mobilsignaler dempes i togkarosseriet for ulike togtyper og radiofrekvenser. De fant at typisk demping er i området 10-15 dB, og noen ganger over 20 dB. Denne dempingen vil ha betydelig innvirkning på kvaliteten til mobiltjenester. En demping på 3dB betyr at radiosignalet utenfor toget må være dobbelt så sterkt for å gi en tilsvarende tjeneste. En demping på 10 dB betyr at styrken på radiosignalet må være 10 ganger så sterkt, mens en demping på 20dB betyr at det må være 100 ganger så sterkt. Det er dermed svært vanskelig å bygge radiodekning langs jernbanen som skal gi en tilstrekkelig tjenestekvalitet uten å installere utstyr som skal motvirke dempingen i karosseriet.

I 2015 inngikk mobilselskapene, NSB og Jernbaneverket en avtale som skulle gi bedre mobiltjenester på tog. Avtalen innebærer at mobilselskapene skal prioritere dekning langs jernbanestrekninger, Jernbaneverket skal bygge dekning i tunneler, og Norske Tog skal installere signalforsterkere på tog. Slike signalforsterkere henter mobilsignaler utenfor toget med en ekstern antenne, og videresender dette inne i togsettet. På denne måten bidrar de til økt opplevd dekning. Norske Tog inngikk i 2018 en kontrakt med Site Service om installasjon av signalforsterkere på tog, og disse ble installert i perioden 2020-2021. Alle målenodene våre er plassert på tog hvor det er installert signalforsterkere.

7.2 Mobildekning per banestrekning

For vår videre analyse deler vi det norske jernbanenettet inn i delvis overlappende områder, som vist i tabell 7.1. Vi har ikke målinger fra Bergensbanen i 2021.

For hver strekning beregner andelen 1km-segmenter langs strekningen der 4G er den mest observerte teknologien. Tabell 7.2 viser 4G-dekningen per banestrekning for 2019 og 2021. Tallene inkluderer bare strekninger der vi faktisk har målinger. Dersom vi ikke har tilstrekkelige målinger på et 1-km segment, vil dette segmentet utelates fra beregningen. Merk at det kan være forskjeller i nøyaktig hvilke strekninger vi har målinger fra i 2019 og 2021. For eksempel har vi ikke målinger fra Vestfoldbanen i 2019. Det er likevel tydelig at den opplevde 4G-dekningen har økt betydelig fra 2019 til 2021. I 2019 var det stort sett 4G-dekning i sentrale strøk (Lokal og Intercity), mens det var store huller i dekningen langs regionlinjene. I 2021 måler vi dekning også langs det aller meste av disse linjene.

En del av forklaringen på dette kan være at alle tog i 2021 har installert signalforsterkere, mens det i 2019 fremdeles var noen tog uten slikt utstyr. I tillegg har mobiloperatørene foretatt videre utbygging av 4G-nettene langs jernbanen. I forbindelse med frekvensauksjonen for 700 MHz i 2019

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

Tabell 7.1: Banestrekninger.

Banestrekning	Telenor		Telia		Ice	
	2019	2021	2019	2021	2019	2021
Lokal	98%	100 %	98 %	100 %	47 %	100 %
Intercity	98 %	100%	99 %	100 %	25 %	95 %
Dovrebanen	99 %	100 %	71 %	99 %	53 %	94 %
Sørlandsbanen	84 %	100 %	68 %	99 %	27 %	94 %

Tabell 7.2: 4G dekning per banestrekning 2019 og 2021.

påtok Telenor seg en forpliktelse for å etablere dekning langs utvalgte jernbanestrekninger, inkludert Intercitytriangelet og lokaltogstrekninger rundt Stavanger og Trondheim. Denne dekningen skal være etablert innen utgangen av 2025, men det er grunn til å tro at mye av utbyggingen allerede er gjennomført.

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 inntil 3 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.

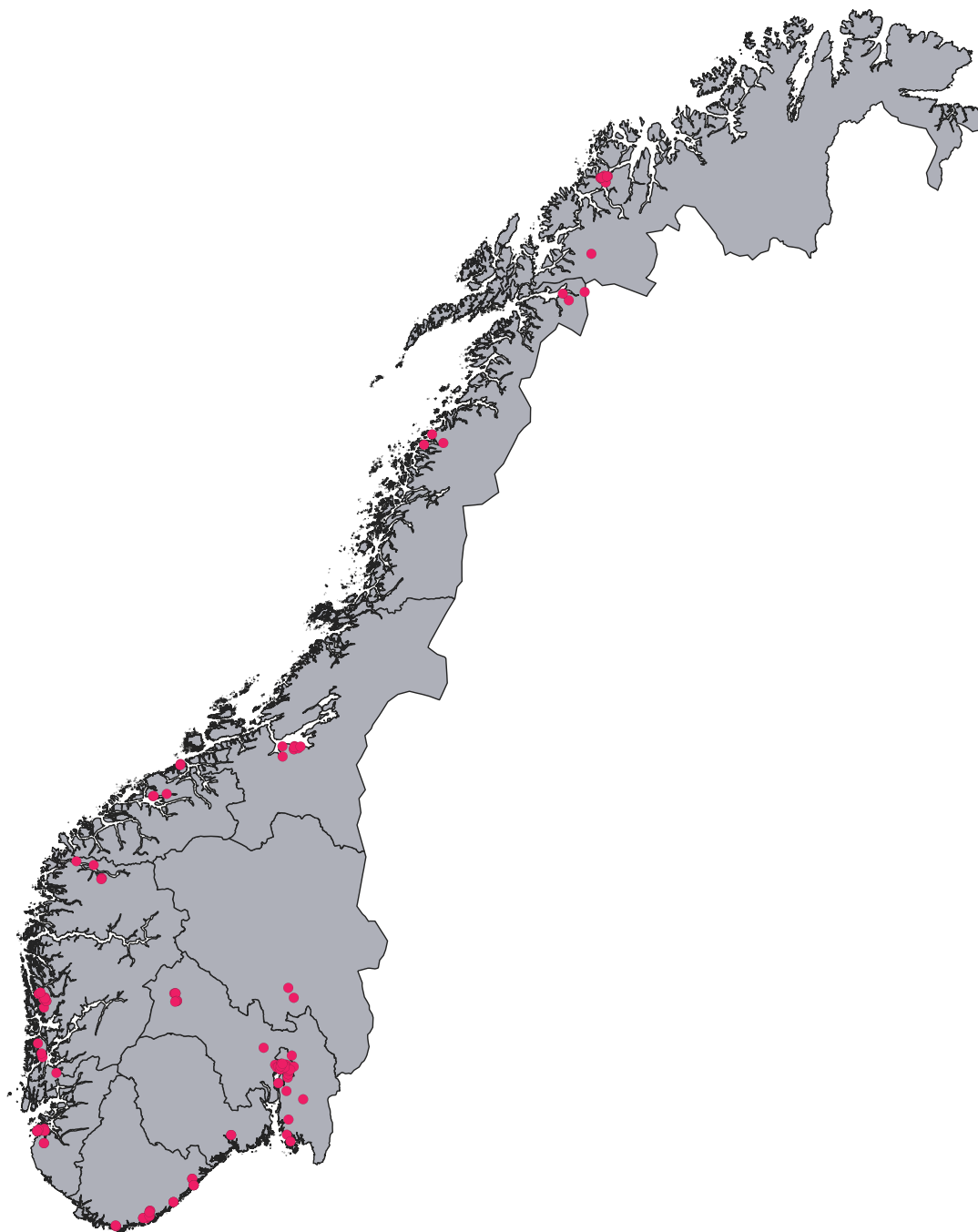
Centre for Resilient Networks and Applications (CRNA) samarbeider med lokale partnere over hele landet som fungerer som vertskap for målenoder. Figur 8.1 gir et inntrykk av den geografiske fordelingen av målenoder. På grunn av et tidligere samarbeid med e-valgprosjektet i Kommunal- og Moderniseringsdepartementet, 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. Simula flyttet til nye lokaler i oktober 2021, og i forbindelse med flyttingen var måleinfrastrukturen tidvis utilgjengelig. Dette vises også i figur 8.2. Vi har stasjonære målenoder i alle landsdeler.

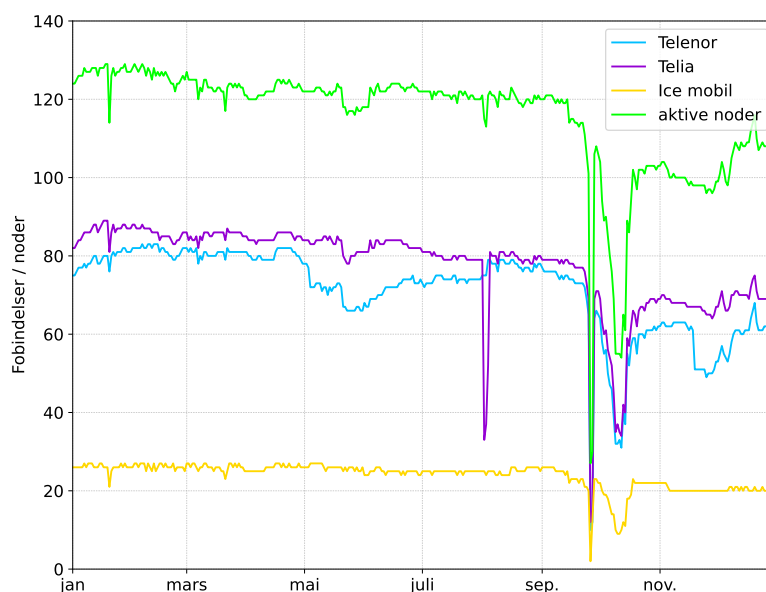
8.1 Mobilnettene vi måler

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

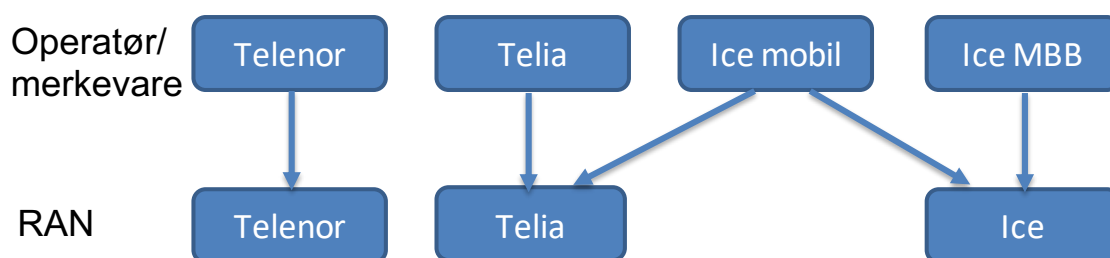
¹Nornet består i tillegg til Nornet Edge av Nornet Core, som brukes til målinger og eksperimenter i fastnett.



Figur 8.1: Geografisk fordeling av målenoder.



Figur 8.2: Antall aktive målenoder og forbindelser fra hver operatør gjennom 2021.



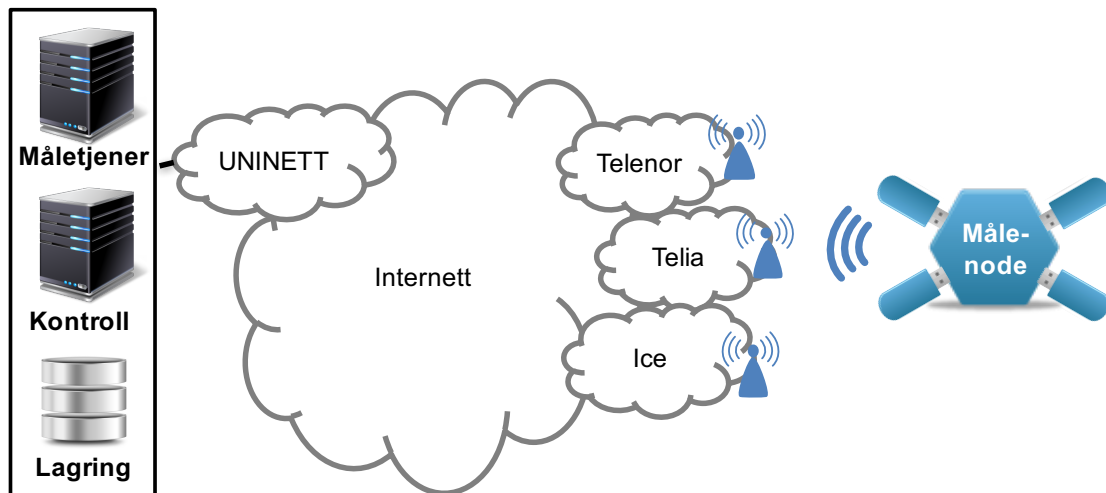
Figur 8.3: Operatører og nettverk behandlet i denne rapporten.

av komponenter i andre mobilnett. Ice opererer det tredje norske mobilnettet, og gjennomførte 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.



Figur 8.4: Nornet Edge måleinfrastrukturen.

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 målenodene basert på et integrert APU2-kort fra PC Engines. Kortet har en firekjerne AMD G series prosessor, 4 GB RAM og 2 miniPCI express porter. I disse sitter det AirPrime MC7455 modemmer 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 modemmer, 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.

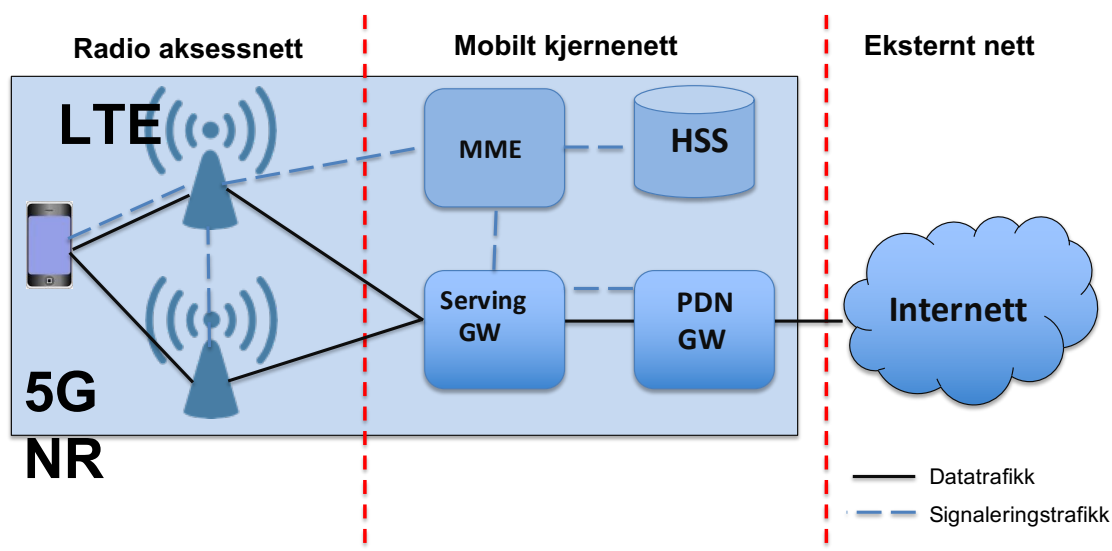
Målenodene overfører resultater fra målingene fortløpende til en sentral server, hvor de prosesseres og legges inn i en database. De innsamlede dataene behandles og filtreres for å fjerne perioder der vi opplevde problemer i server-side infrastrukturen.

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 målinger fra 5G, og måler dekning på tog.

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



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

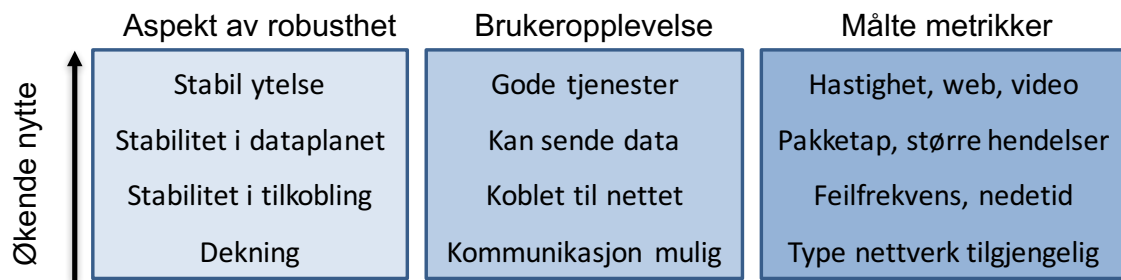
målbare metrikker, og hvilke tester vi bruker for å måle disse.

Figur 8.5 viser en forenklet framstilling av de viktigste komponentene i et 4G (LTE) 5G mobilnett. Begge nettverkene består av et radio aksessnettverk og et kjernenett. 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



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

signalstyrke eller signal til støyforhold, men fokuserer i stedet direkte på brukeropplevelsen. Dette er i tråd med tilnærmingen i resten av denne rapporten.

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

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 målnode 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 målnoder.