



Norske mobilnett i 2023

CRNA - Center for Resilient Networks and Applications

Norske mobilnett i 2023

Tilstandsrapport fra
Simula Metropolitan Center for Digital Engineering
Center 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 Digitaliserings- og forvaltningsdepartementet. Senteret produserer en årlig rapport om tilstanden i norske mobilnett. Årets rapport er den ellefte i rekken.

Ansvarlig for årets rapport Dr. Tarik Čičić
Bidragstere Dr. Alojz Gomola
Hugo Martineau
Dr. Foivos Ioannis Michelinakis
Anas Saeed Al-Selwi
Omslag Generert av tekst-til-bilde verktøy Canva
Publiseringsdato 30. april 2024
ISBN 978-82-92593-39-4

Økonomiske bidragstere Digitaliserings- og forvaltningsdepartementet
Norges Forskningsråd
Telia Norge
Ice Norge



Innhold

1	Sammendrag og hovedfunn	5
2	Stabilitet i tilkoblingen	9
2.1	Nedetid	11
2.2	Varighet av brudd i tilkobling	11
2.3	Nedetid gjennom året for enkeltforbindelser	12
2.4	Større hendelser	12
2.5	Utvikling over tid	15
3	Stabilitet i dataplanet	17
3.1	Tapsrate	17
3.2	Utvikling over tid	20
4	Stabil ytelse	21
4.1	Opplastnings- og nedlastningshastighet i 4G	21
4.2	Opplastnings- og nedlastningshastighet i 5G	23
4.3	Variasjon mellom forbindelser	23
4.4	Utvikling i hastighet gjennom 2023	25
4.5	Historisk utvikling i hastighet	25
4.6	Jitter	28
5	Bredbånd over satellitt	31
5.1	Forsinkelse	32
5.1.1	Geostasjonær satellitt	32

5.1.2	Satellitter i lav jordbane	32
5.2	Pakketap	32
5.3	Hastighet	35
5.3.1	Geostasjonær satellitt	35
5.3.2	Satellitter i lav jordbane	35
5.4	Diskusjon	36
6	Mobildekning på tog	39
6.1	Mobil dekning	40
7	Bakgrunn og metode	43
7.1	Mobilnettene vi måler	43
7.2	NorNet Edge målenoder	45
7.3	Server-side infrastruktur	46
7.4	Metode	46
7.5	Ookla Speedtest	48



1. Sammendrag og hovedfunn

For norske mobilnett har 2023 vært et stabilt år, med fortsatt god nettverkskvalitet og høy ytelse som brukerne etter hvert forventer. Operatørne fortsetter å bygge ut 5G-nett, men befinner seg i forskjellige faser, der Telia og Telenor ligger foran Ice. 5G-utbyggingen til Ice skjøt fart mot slutten av 2023. Vi har sett høyere stabilitet i dataplanet, og ytterligere økning i opp- og nedlastingshastigheten. Også 4G-brukere oppnår bedre hastighet når 5G er bygget ut, på grunn av økt trådløs båndbredde, ny og bedre antennteknologi, og forbedringer i aksessnettet som følge av 5G-oppraderingen.

Hoveddelen av resultatene som presenteres i årets rapport er basert på aktive målinger fra over 100 stasjonære målepunkter, spredt over store deler av Norge. Ca. 40 av disse målepunktene er 5G-kapable, og resten er kun 4G-kapable. For første gang måler vi 5G-ytelse hos Ice, i tillegg til Telia og Telenor. Vi evaluerer også to satellitteknologier, og utfører målinger fra tre 5G-kapable mobile noder som befinner seg på intercitytog i Oslo-område.

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 det positive bildet vi har sett de senere årene: norske mobilnett opplevde fortsatt få brudd og lavt pakketap. Når det gjelder oppnådd hastighet, fortsetter den gode utviklingen vi har sett i løpet av de siste to årene. Vi evaluerer hastigheter for 4G og 5G hver for seg, siden de 5G-kapable målenodene oppnår vesentlig høyere hastigheter.

Vi har gjenopptatt målinger på tog, denne gangen med 5G-kapable noder. Vi har foreløpig kun noder på intercitytog mellom Skien, Lillehammer og Halden.

Også i år inkluderer vi målinger av bredbånd over satellitt, men denne gangen i tillegg til tjenesten implementert over geostasjonær satellitt analyserer vi en alternativ tjeneste implementert over satellitter i lav jordbane (engelsk: "Low Earth Orbit", LEO). Den geostasjonære forbindelsen vi måler er fra Brdy (tidligere Bigblu), mens lav jordbanetjeneste måles på Starlink. Formålet med disse målingene er å forstå stabiliteten og ytelsen til satellittbasert bredbånd over tid, og se hvordan disse tjenestene forholder seg til andre tilbud som mobilt og trådløst bredbånd.

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 de siste 4-5 årene. Vi observerer et stort antall forbindelser som nesten aldri opplever brudd.
- Omtrent to tredjedeler av forbindelser opplever en tilgjengelighet på over 99,99 %, noe som tilsvarer en nedetid på under 9 sekunder i døgnet.
- I år ser vi minimale forskjeller mellom operatørene.
- Større brudd i tilkoblingen begynner å bli en sjeldenhet for de aller fleste brukere.
- Vi observerer få vesentlige hendelser der et større antall forbindelser mister tilkoblingen til nettet samtidig. Vi observerte ingen slike hendelser hos Telia og kun én hos Telenor. Hos Ice observerte vi seks slike hendelser i 2023.

Stabilitet i dataplanet

- Det observerte pakketapet var noe lavere i 2023 enn i 2022, og det er små forskjeller mellom operatørene.
- Som i 2022, er det Ice som har det laveste pakketapet.

Stabilitet i ytelse

- Vi observerer en økning i nedlastingshastigheten fra 2022 til 2023 hos Telenor og Telia. Ice-abonnement vi har brukt i 2023 har en policy der kundene får opp til 50 Mbps nedlastingshastighet. Dette er tilstrekkelig for de fleste formål, og økonomisk for nettressurser. Ice tilbyr også abonnement med ubegrenset hastighet.
- Som ved tidligere år, måler vi fremdeles høyest hastighet hos Telenor, som også viser størst økning i 2023. Vi registrerer noe lavere varians i hastighetsmålingene i 2023 for Telia og Ice, sammenlignet med 2022. 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. Den kan også skyldes oppgraderingen av radionettet i nodens område i løpet av måleperioden.
- Vi måler gode hastigheter på nodene som støtter 5G, med enkeltmålinger over 800 Mbps nedlastingshastighet og 160 Mbps opplastingshastighet hos både Telenor og Telia. Dette er vesentlig høyere ytelse enn i 4G. Det er mindre variasjon i 5G-ytelsen hos Telia og Ice enn hos Telenor.
- Våre resultater viser små forskjeller i jitter mellom operatørene. Når det gjelder 5G har Ice marginalt lavere median jitter enn Telenor og Telia. Samtidig har Ice prosentvis flere målinger med jitter over 20 ms, som kan regnes som høy.
- 5G-forbindelser viser lavere jitter enn 4G, noe som kanskje kan tilskrives høyere overkapasitet i nettet.

Satellitt

- Vi presenterer i år målinger fra to bredbåndtjenester implementert over satellitt: en basert på satellitter i lav jordbane (Starlink), og en basert på geostasjonær satellitt.
- Starlink leverer som forventet når det gjelder forsinkelse i forbindelsen, med round-trip-time på 75-80 ms. Dette er ca. 9 ganger kortere enn den geostasjonære løsningen.
- Også på oppnådd båndbredde viser Starlink gode resultater, med median nedlastingshastighet på 180 Mbps. Dette er over tre ganger høyere enn den geostasjonære løsningen.
- Starlink viser imidlertid høyt pakketap i forbindelsen. Vi merker flere, lange perioder der forbindelsen brytes, som varer fra noen sekunder til opp til flere minutter. Dette kan skyldes dynamikken i tilgjengelige satellitter over Norge, som befinner seg lengre nord enn hovedsatsningsområdet for leverandøren, eller lavere prioritering for det "private" abonnementet vi bruker på Starlink.
- Pakketapet i den geostasjonære satellittforbindelsen er mye lavere enn hos Starlink, men høyere enn i mobilnettene, og ligger normalt mellom 0 og 0,5 %. Målinger opp mot 1 % er

ikke uvanlig, og enkelte dager kan pakketapet være over 2 %.

- Nedlastingshastigheten og forsinkelser for den geostasjonære satellittforbindelsen varierer mindre i 2023 enn i tidligere år. Det kan være relatert til en reduksjon i antall brukere.

Mobildekning på tog

- Vi presenterer igjen målinger fra utstyr om bord på tog, som vi sist gjorde i rapporten for 2021. I år bruker vi 5G-kapable noder.
- Vi observerer bra mobildekning langs jernbanen i 2023, med kun få isolerte områder med dårligere signal.



2. Stabilitet i tilkoblingen

I dette kapittelet undersøker vi stabiliteten til tilkoblingen mellom våre målenoder og mobilnettet. Målenodene forsøker å opprettholde tilkoblingen til de ulike mobilnettene til enhver tid, og tilkoblingen brytes aldri aktivt fra målenodens side¹. Ettersom nodene kontinuerlig kommuniserer med omverdenen, skal det heller ikke forekomme at tilkoblingen tas ned på grunn av inaktivitet. Målenodene overvåker tilkoblingen til de ulike mobilnettene kontinuerlig, og logger statusen på denne. Dersom tilkoblingen brytes, vil målenoden umiddelbart forsøke å gjenopprette den. Den vil forsøke kontinuerlig og uten opphold, helt til tilkoblingen kan gjenopprettes. Et brudd vil derfor resultere i en kortere eller lengre feilperiode hvor tilkoblingen er utilgjengelig. Det er disse bruddene vi analyserer. Resultatene i dette kapittelet skiller ikke mellom ulike teknologier som 4G eller 5G. Hver forbindelse vil til enhver tid velge den beste tilgjengelige teknologien, som forklart i kapittel 7.

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, antall samtidige brudd, lokasjonen til målenodene som opplever brudd, varighet av brudd og så videre, kan gi verdifull innsikt i den underliggende årsaken til feilen. Vi benytter denne informasjonen i vår analyse av utfall i mobilnettene.

Basert på overvåkingen 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 analyserer total nedetid for hver forbindelse, varigheten av et tilkoblingsavbrudd, samt hvor ofte en forbindelse opplever et vesentlig avbrudd i tilkoblingen. Vi viser 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 Telias nett der Ice ikke har egen dekning.

For å sikre at målingene i minst mulig grad påvirkes av feil i vår måleinfrastruktur, gjennomfører vi en rekke filtreringssteg hvor vi fjerner nedetid som vi mistenker skyldes slike forhold. Dette innebærer først og fremst at vi fjerner nedetid knyttet til administrative omstarter av tilkoblingene

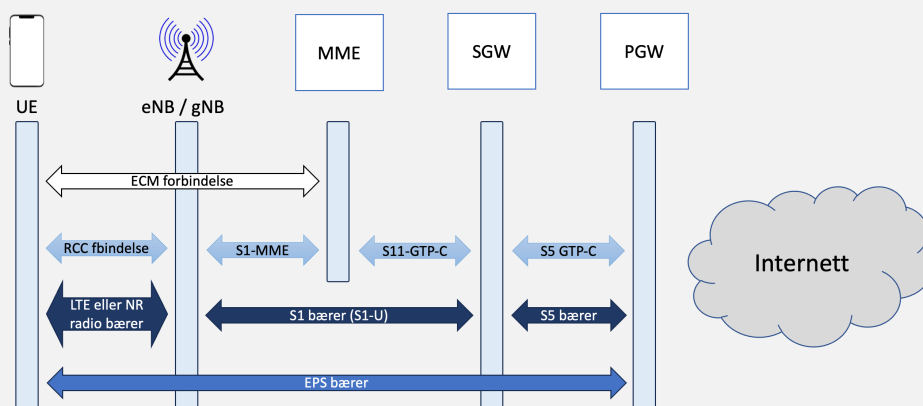
¹Unntaket er i feilsituasjoner der tilkoblingen eller noden må restarteres som en del av en feilrettingsprosess.

etter vedlikeholds- eller feilrettingsoperasjoner. Av og til opplever vi også at våre forbindelser låser seg i en tilstand der forbindelsen er aktiv, men datatrafikk ikke kan sendes. Nedetid knyttet til slike hendelser filtreres bort.

I år er det første gang vi rapporterer stabiliteten til våre 5G-kapable noder, i tillegg til 4G. De teknologiske plattformene for disse to generasjonene er forskjellige, og vi har valgt å harmonisere medianverdien til 4G- og 5G-målingene, slik at resultatene er sammenlignbare med tidligere år.

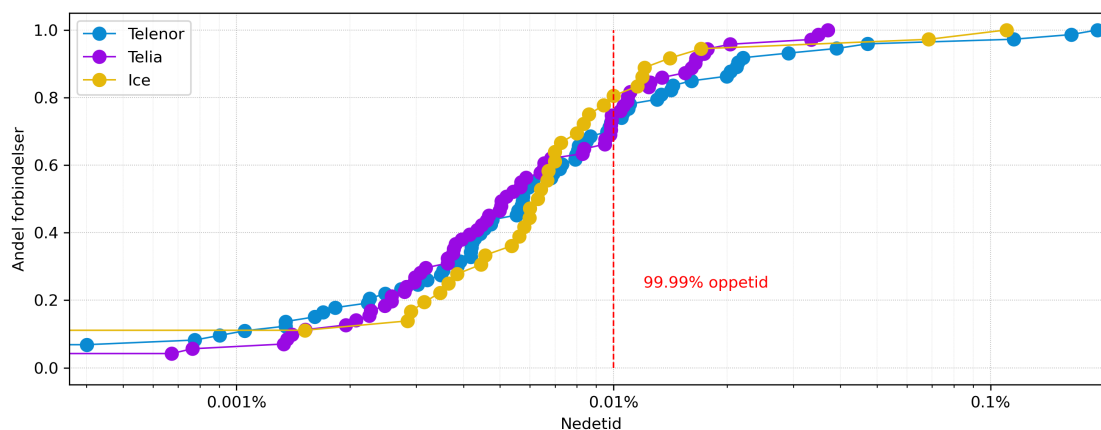
Tilkobling i mobilnettverk

Mobilnett som brukes i dag har en sentralisert arkitektur. All trafikk som utveksles må passere gjennom 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 kalles en "Evolved Packet System" (EPS) bærer. En EPS bærer inneholder informasjon om IP-adressen til brukerterminalen, hvilken tjenestekvalitet tilkoblingen forventer, og hvilket datanett tilkoblingen tilhører, definert ved et "Access Point Name" (APN). En EPS bærer må alltid være på plass før trafikk kan sendes over mobilnettet. EPS bærere brukes i både 4G og 5G "non-stand alone" (NSA), som er 5G-teknologi som brukes av norske operatører i dag. I 5G NSA, er 5G "New Radio" (NR) lagt til det eksisterende 4G-nettverket for å øke datahastigheten og kapasiteten. Men kontrollinformasjonen, som signalering og oppsett av forbindelser, håndteres fortsatt av 4G-kjernenett.



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 sikrer at tilkoblingen opprettholdes 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, 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.



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

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 svært små, og laveste på mange år.

I våre analyser velger vi å se på 99,99 % oppetid som en viktig markør. Oppetid på 99,99 % tilsvarer en gjennomsnittlig nedetid på under 9 sekunder per døgn, og er uformelt ansett som grensen de aller fleste brukere og kommunikasjonstjenester bør kunne akseptere. Vi har markert den med rød stiplede linje i figur 2.1. I år har 78 % av Ice målenoder en oppetid på 99,99 % eller bedre, som er marginalt høyere enn tilsvarende andel for Telia og Telenor, som ligger på henholdsvis 75 % og 73 %.

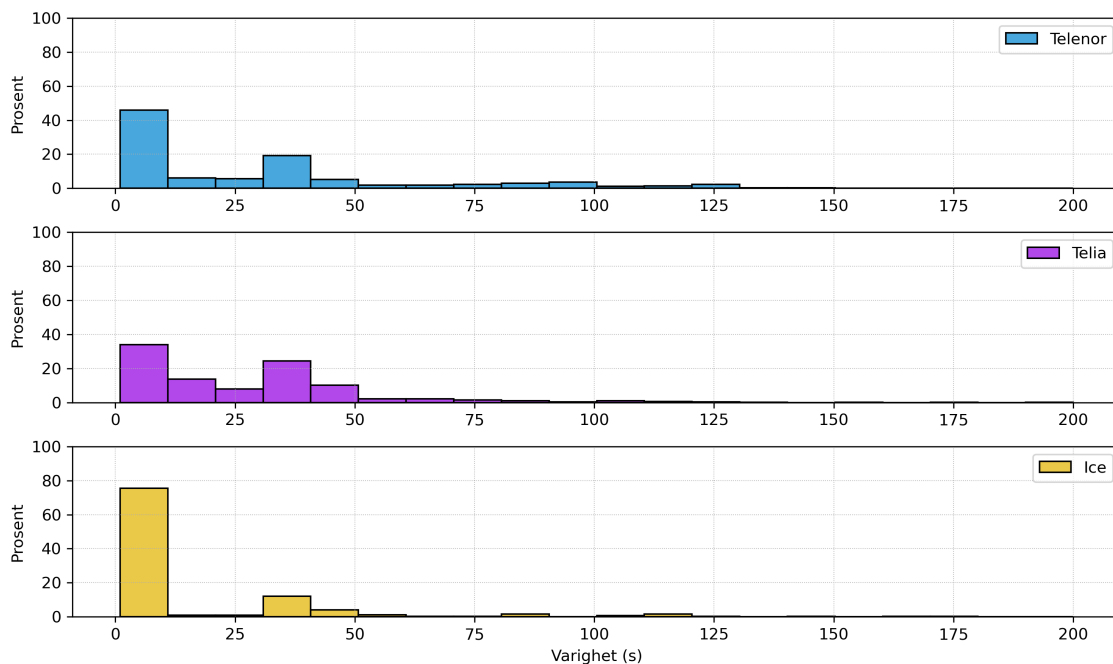
Noen noder har ingen registrert nedetid som med sikkerhet kan tilskrives utfordringene hos operatøren. Det er fire slike noder hos Telenor, to hos Telia og tre hos Ice. Disse nodene forårsaker at CDF-grafene starter til venstre ”utenfor” grafen. Det at en node kan ha ingen registrert nedetid skyldes bl.a. at flere 5G noder har vært kort tid i drift, og de bruker en annen plattform enn 4G noder. For andre slike noder har all nedetid vært for nær våre vedlikeholdsaktiviteter og er derfor filtrert bort. Data i figur 2.1 er harmonisert, slik at den viser faktiske forhold mellom operatørene uavhengig av teknologi.

Ser man på andel forbindelser med nedetid på over 0,1 % (oppetid under 99,9 %, ikke særskilt merket i figuren), teller vi tre Telenor og én Ice forbindelse. Forbindelser med nedetid på over 0,1 %, som tilsvarer gjennomsnittet på 86 sekunder i døgnet, vil kunne oppleves som ustabile i noen bruksscenarioer.

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 korte brudd 1-10 sekunder, spesielt Ice. Den andre synlige gruppen er brudd som har varighet fra 30 til 60 sekunder. Dette tilsvarer den typiske tiden det tar å gjennomføre en full tilkoblingsprosedyre mellom målenoden og nettverket, inkludert



Figur 2.2: Varighet på brudd i tilkoblingen.

SIM-autentisering og etablering av forbindelsen. Våre målnoder vil gjennomføre en slik prosedyre når forbindelsen av ulike årsaker blir utilgjengelig.

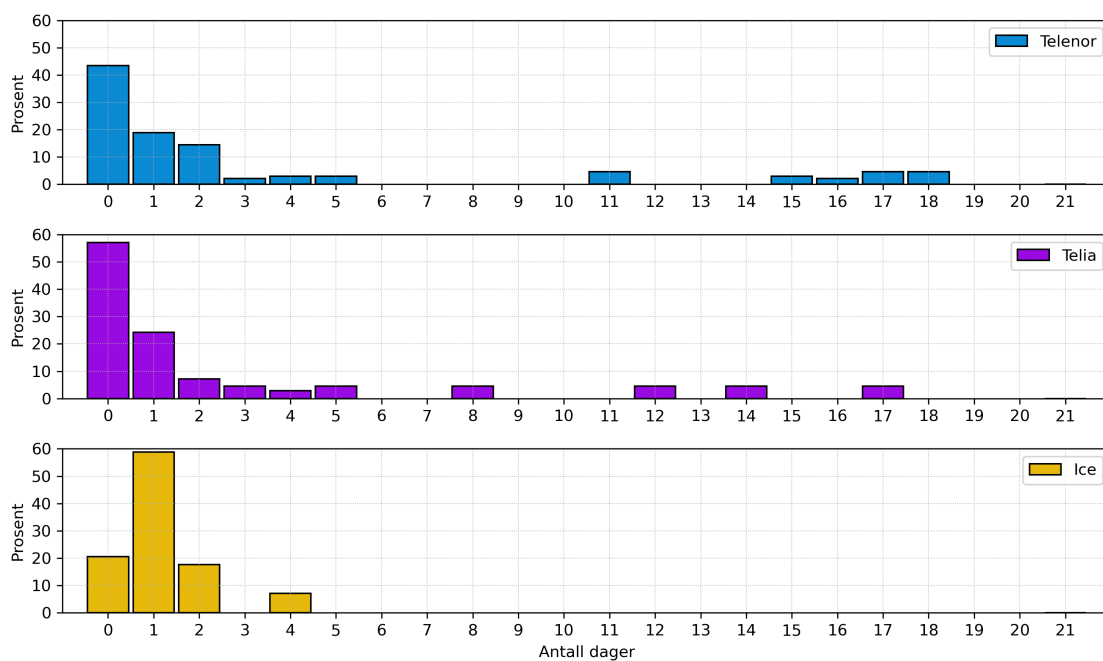
2.3 Nedetid gjennom året for enkeltforbindelser

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 operatørene opplever få slike dager. Allikevel har antallet dager med vesentlig nedetid økt noe fra 2022 til 2023 for Telenor og Ice. Telia har ingen vesentlig endring fra 2022 til 2023, og nesten 60 % av Telias målnoder har ikke sett noen dager med vesentlig nedetid.

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).

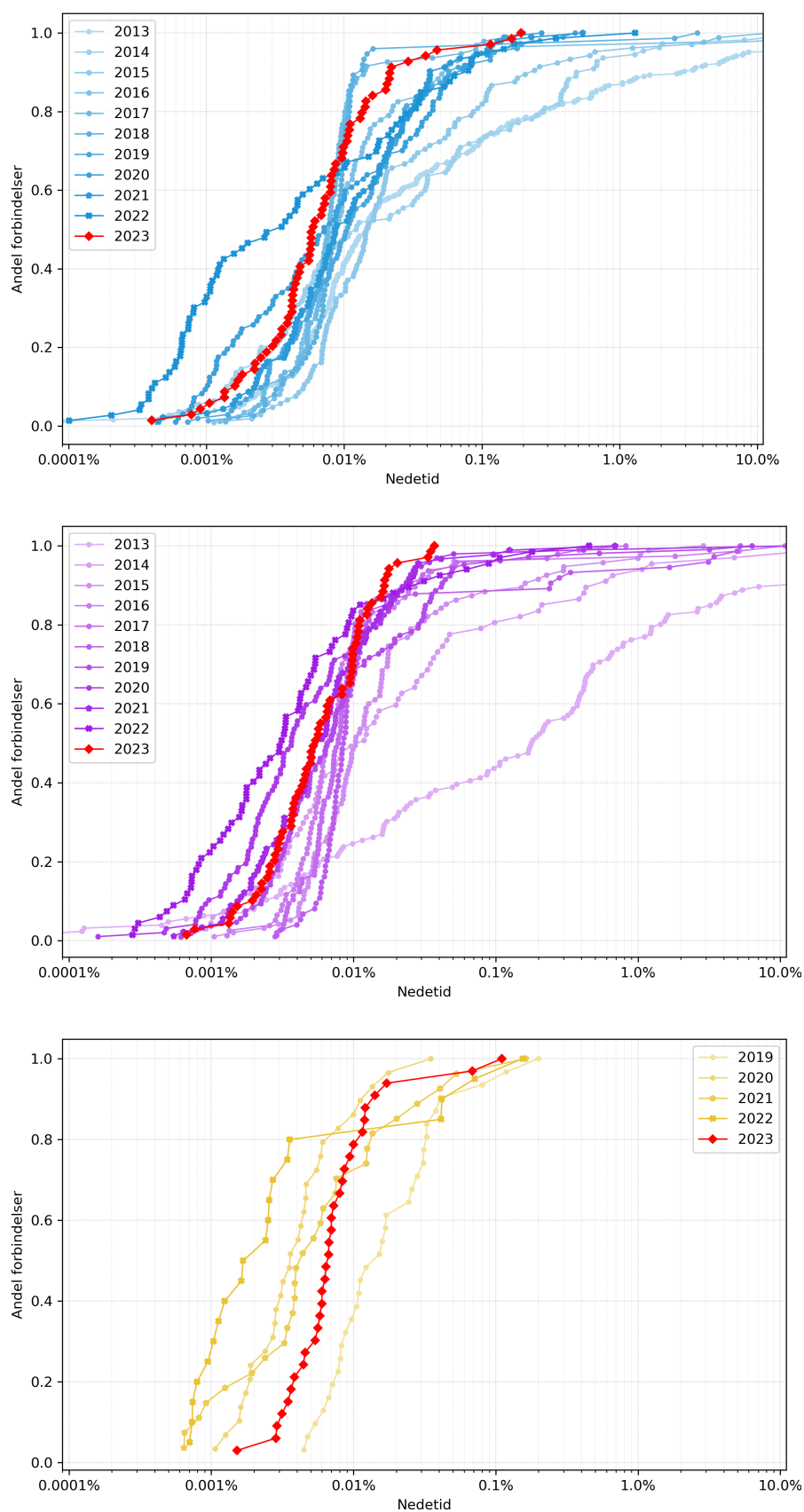
I 2023 er det observert få større hendelser: ingen for Telia, én for Telenor og seks for Ice. De har funnet sted både i og utenfor vedlikeholdsvinduer (tabell 2.1). Det at relativt få hendelser er registrert i løpet av det som normalt ansees som tider på døgnet egnet for vedlikehold (kl. 23-06), tyder på at operatørene utnytter redundansen i sine systemer godt, og opprettholder tjenester selv om vedlikehold på deler av systemene pågår. For alle hendelsene var utfallene av relativt kort varighet.



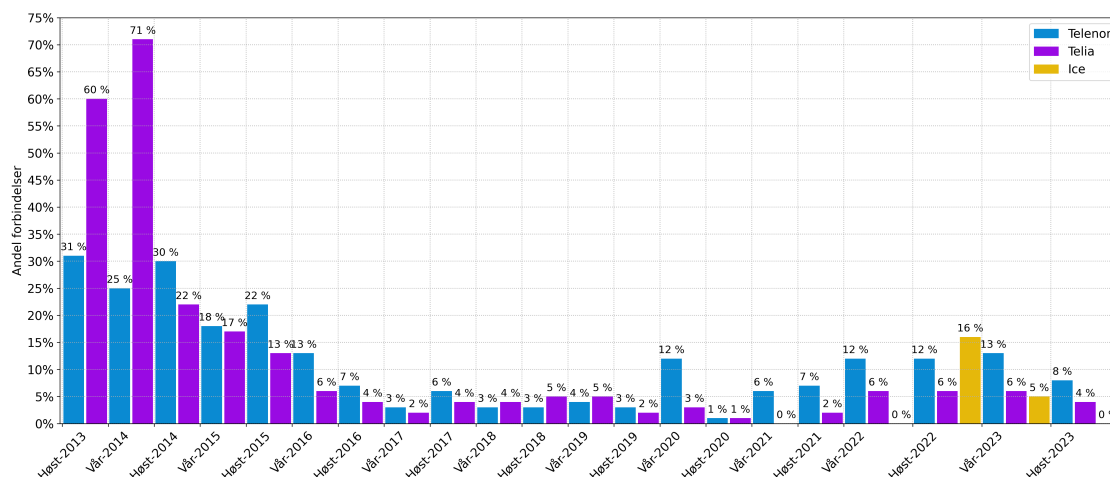
Figur 2.3: Antall dager med nedetid over ett minutt. Telenor (øverst), Telia (midten) og Ice-mobil (nederst).

Operatør	Dato	Ca klokkeslett	Berørte forbindelser	Vedlikeholdsvindu?
Ice	14. Mar	01:30	7	Ja
Telenor	05. Apr	10:50	10	Nei
Ice	19. Apr	21:25	10	Nei
Ice	06. Sep	12:20	8	Nei
Ice	12. Sep	00:15	9	Ja
Ice	05. Dec	00:10	9	Ja
Ice	11. Dec	22:25	8	Nei

Tabell 2.1: Samtidig brudd i flere forbindelser per operatør, 2023.



Figur 2.4: Utvikling i nedetid hos Telenor (topp), Telia (midten) og Ice (bunn) fra 2019 til 2023.



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

2.5 Utvikling over tid

Figur 2.4 viser utviklingen i gjennomsnittlig nedetid fra 2013 til 2023 for Telenor, Telia og Ice. For historiske grunner er måledata 2013-2018 fra andre halvår for hvert år. For 2019 og nyere er måledata for hele året analysert. For Ice mangler vi data for år 2018 og tidligere. Data i disse grafene er direkte sammenlignbar med de i figur 2.1.

Vi ser at nedetiden i 2023 er på nivå eller noe dårligere enn i årene 2019-2022, og bedre enn alle år 2018 og tidligere. 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 lavere nedetid. Siden 2019 har fordelingen av nedetid vært relativt stabil. Merk at skalaen på x-aksen er logaritmisk, og at et stort flertall noder siden 2019 har nedetid under 0,01 %.

Figur 2.5 viser hvordan andel forbindelser som i gjennomsnitt har mer enn ett minutt nedetid per dag har utviklet seg fra våre målinger startet i 2013 til i dag. For historiske grunner, inkluderer årene 2013-2021 kun Telia og Telenor. Målingene fra 2022 og nyere inkluderer også Ice. Denne metrikken er ikke direkte sammenlignbar med figur 2.3, ettersom den inkluderer også kortere nedetidsperioder enn 60 s.

Andelen forbindelser med over ett minutt nedetid i gjennomsnitt har vært relativt stabil de siste årene. I høst 2023 gjør alle operatørene det best, sammenlignet med de siste par årene, og Ice har ingen noder med gjennomsnittlig nedetid over 1 minutt per dag.



3. Stabilitet i dataplanet

I dette kapitlet undersøker vi mobilnettverkens kapasitet til å opprettholde en stabil ende-til-ende forbindelse med minimalt pakketap. Vi måler dette ved å sende en kontinuerlig strøm av små datapakker fra alle testnodene og registrere antallet som går tapt underveis. Dette gjør vi for hver node og operatør, som sammen utgjør en forbindelse. Basert på disse målingene analyserer vi *tapsraten*, altså hvor stort pakketap vi opplever for hver forbindelse. Mens det forrige kapitlet diskuterte stabiliteten og tilgjengeligheten til forbindelsens tilkobling til nettet, gir denne analysen innsikt i kvaliteten på forbindelsene i den perioden de er tilkoblet.

Vår analyse er basert på måletrafikk bestående av små (20 Byte) UDP-pakker som sendes til en sentral server hvert sekund. Serveren returnerer den samme pakken umiddelbart. For hver pakke registrerer vi tiden det tar før responspakken kommer tilbake. Hvis ingen responspakke returneres innen 60 sekunder, betrakter vi pakken som tapt. Denne typen målinger utføres kontinuerlig på alle forbindelser så lenge de er tilkoblet nettet. Måleperiodens lengde for hver forbindelse varierer, ettersom ikke alle målenodene har vært aktive hele året. I denne analysen har vi utelatt forbindelser hvor vi har færre enn 7 døgn med målinger.

3.1 Tapsrate

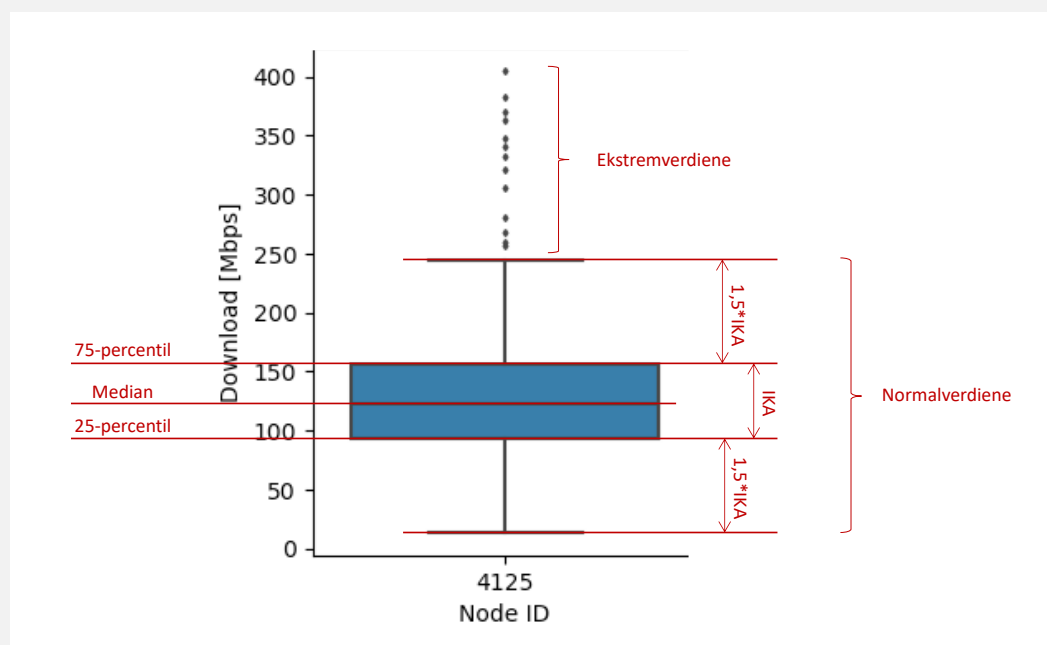
Tapsraten er definert som kvotient (tapte pakker)/(sendte pakker) og beregnes for hver enkelt forbindelse over hele måleperioden. For å beregne tapsraten for en operatør, sorterer vi alle forbindelsene etter pakketap for denne operatøren og ser på median og andre statistiske egenskaper.

Figur 3.1 og tabell 3.1 viser en oppsummering av tapsraten hos Telenor, Telia og Ice. Generelt observerer vi lavt pakketap hos alle operatører. Alle operatørene har lavere tapsrate enn i 2022. Som i 2022, er det Ice mobil som har den laveste tapsraten med median på 0,009 %.

Hvordan tolkes boksploTT?

Flere figurer i denne rapporten representerer måledata ved hjelp av boksploTT (engelsk "box plot"). BoksploTT er et effektivt verktøy for å raskt få oversikt over hovedtrekkene ved en statistisk variabel. Men hva illustrerer det egentlig?

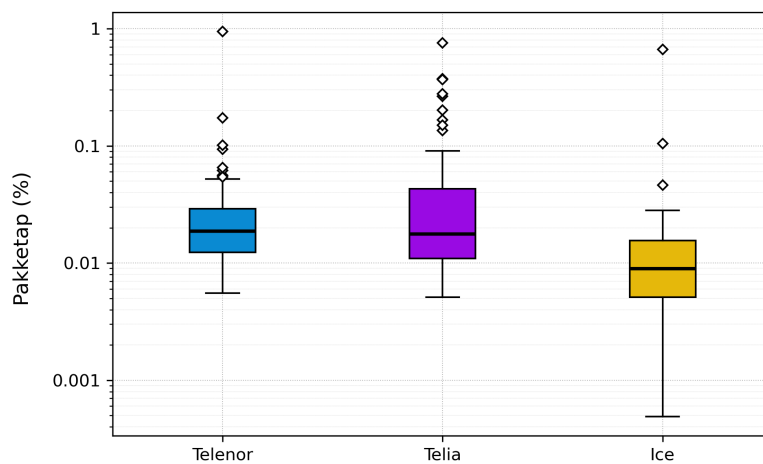
Et boksploTT består av en farget/skravert del, en "boks", med en linje som deler den i to, samt to endestenger på hver sin side av denne boksen. Boksens minimum- og maksimumverdier er plassert på den nedre og øvre kvartilen (25- og 75-persentilen) til måleverdiene, mens delelinjen er på medianen (50-persentilen). Dette betyr at 50 % av alle måleverdiene faller innenfor boksen. Lengden på denne boksen kalles interkvartilavstanden (IKA). Hvis medianen er nærmere en av kvartilene, viser det skjevhet i distribusjonen—husk at 25 % av måleverdiene ligger på hver sin side av delelinjen i boksen.



Endestengene over og under boksen settes i det målepunktet som er nærmest $1,5 \cdot \text{IKA}$ på innsiden mellom boksen og stangen. Derfor vil man i noen tilfeller kunne se at endestangen er nærmere boksen enn $1,5$ ganger IKA.

Intensjonen med endestengene er å vise det som kan anses som "normalverdier" i distribusjonen. I noen datasett vil noen av verdiene falle utenfor stengene. Disse kan betraktes som ekstremverdier (engelsk "outliers"), og tegnes inn som små diamantformede punkter. Hvis det er mange ekstremverdier, vil de visuelt kunne fremstå som en hel linje.

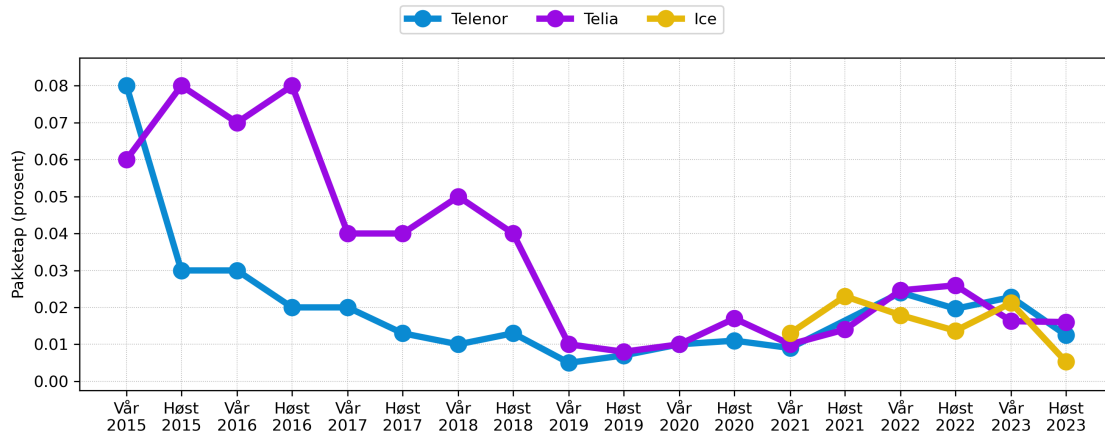
En mulig forklaring på noe høyere pakketap for Telenor og Telia de siste to årene sammenlignet med 2020 kan være den omfattende utbyggingen av radionettet for å støtte 5G. På sin side har Ice mobil gjennomført en omfattende modernisering av mobilkjerne-nettet. Dette arbeidet ser ut til å være ferdig, med en positiv effekt.



Figur 3.1: Pakketap per operatør.

Operatør	10-persentil	Median	90-persentil	Gjennomsnitt
Telenor	0.008	0.019	0.052	0.036
Telia	0.008	0.018	0.130	0.055
Ice mobil	0.003	0.009	0.023	0.029

Tabell 3.1: Pakketapstatistikk i 2023, i prosent.



Figur 3.2: Utvikling i median tapsrate 2015-2023.

3.2 Utvikling over tid

Figur 3.2 viser median pakketap hvert halvår de siste årene. For Telenor og Telia har vi data fra 2015, og for Ice fra 2021. Pakketapet har vært noe høyere i de siste årene 2021-2023 enn 2019-2020, men er fortsatt generelt lavt og uten vesentlige forskjeller mellom operatørene.



4. Stabil ytelse

I dette kapitlet presenterer vi resultater relatert til ytelse, mer spesifikt hastigheten vi måler for opplastning og nedlastning av data, samt hvordan disse målingene varierer. Vær oppmerksom på at den brukeropplevde ytelsen er avhengig av flere faktorer, som applikasjonskrav, dekningsforhold, antall samtidige brukere og interferens i området, samt ytelsen til fastnettet som kobler operatøren til den brukte nettverkstjenesten. Resultatene som presenteres her vil være påvirket av de spesifikke forholdene på de stedene og tidspunktene målingene er utført.

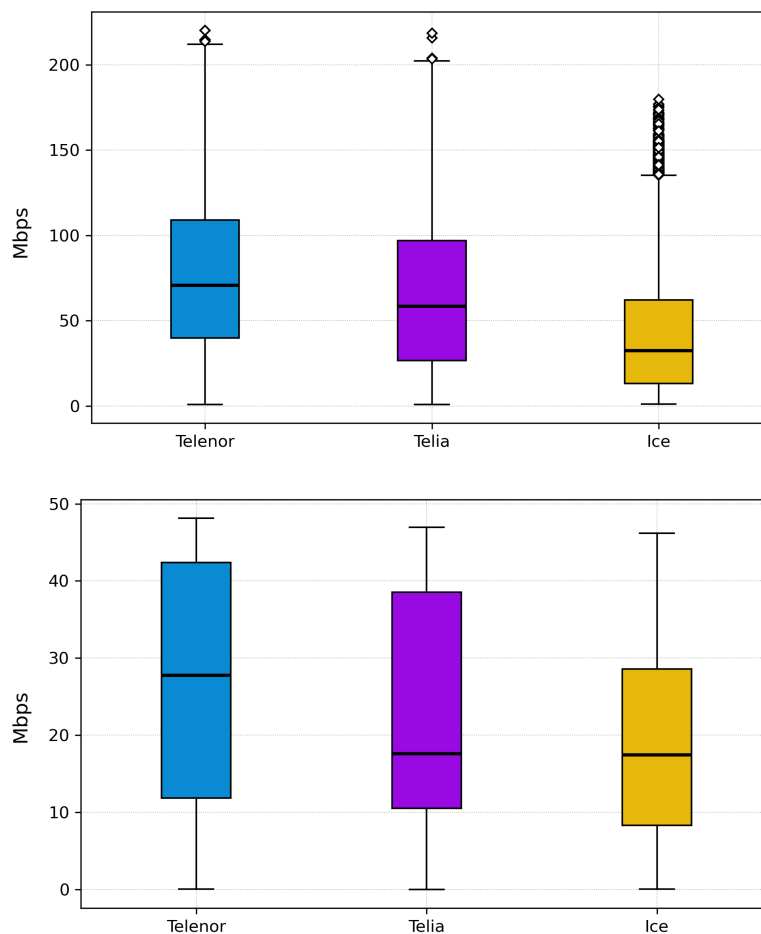
Våre målenoder er plassert innendørs. Vi har ingen kontroll over lokale forhold som veggtykkelse, plasseringen av målenodene i bygningen og lignende. Dette er faktorer som kan ha stor innvirkning på dekningsforholdene og dermed på ytelsen. Dekningsforholdene vil variere fra node til node, men alle målenodene 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 den forventede ytelsen i mobilnettene.

4G-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. LTE Cat 6 oppgir 300 Mbps som høyeste nedlastningshastighet, og 50 Mbps opplastning. Det betyr at vi i våre målinger ikke alltid vil oppnå den maksimale hastigheten som kan tilbys i 4G-nettene vi måler. Blant annet støtter ikke disse modemene aggregering av kapasitet fra mer enn to frekvensbånd. Resultatene bør tolkes med dette i betraktning. Våre resultater gir likevel en indikasjon på hastighetene som oppnås i mobilnettene, da disse ofte er betydelig under det modemmet støtter, samtidig som de tekniske forutsetningene er like for alle operatørene.

For 5G-målinger bruker vi Quectel RM500Q eller RM505Q, som støtter 3GPP Release 15 med teoretisk nedlastningshastighet opp til 2,5 Gbps, samt 600 Mbps opplastningshastighet.

4.1 Opplastnings- og nedlastningshastighet i 4G

Vi måler opplastningshastighet og nedlastningshastighet ved bruk av Ookla Speedtest, som lar oss gjennomføre målinger fra våre målenoder mot Ooklas servere. Disse serverene er vanligvis plassert i nettverket til en internettleverandør, og vi benytter kun servere lokalisert i Norge.



Figur 4.1: Nedlastningshastighet (øverst) og opplastningshastighet (nederst) for ulike operatører, 4G-nett.

I motsetning til de andre målingene presentert i denne rapporten utføres ikke hastighetsmålingene mot vår egen måleserver, men mot måleservere knyttet til Ooklas infrastruktur. Ookla leverer klientprogramvare som en standardpakke tilgjengelig i Linux-distribusjoner, som vi installerer på våre målenoder. Klienten velger selv den optimale blant de tilgjengelige måleservere innenfor et geografisk område. Deretter åpnes det parallelle nedlastningssesjoner over en periode på omlag 10 sekunder, og hastigheten måles. Prosedyren er tilsvarende ved måling av opplastningshastighet. 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. I kapittel 7 diskuterer vi bruken av Ookla Speedtest til disse målingene.

For disse målingene benytter Ice sitt nett i 800, 900, 1800, 2100 og 2600 MHz-båndene, men ikke frekvenser i 450 MHz-båndet. Telia og Telenor bruker i tillegg 700 MHz båndet. Der Ice ikke har egen dekning, benyttes Telias nett gjennom deres avtale om nasjonal gjesting ("roaming").

Figur 4.1 viser fordelingen av nedlastnings- og opplastningshastigheter for hver av operatørene i 4G-nettet. Den svarte linjen som deler den fargede boksen i to viser *median* hastighet, det vil si at halvparten av alle målingene i det aktuelle mobilnettet oppnådde en hastighet som ligger over denne verdien, mens halvparten ligger under denne verdien. De fargede boksene viser området hvor halvparten av målingene i et mobilnett ligger. 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 grense¹.

Målingene viser ytterligere forbedring i nedlastningshastigheter i 2023 sammenlignet med 2022. Opplastningshastigheten har økt for Telenor og er uforandret for de andre operatørene. Telenor oppnår fremdeles høyere hastigheter enn Telia og Ice både nedstrøms og oppstrøms, men Telia følger tett. Median nedlastningshastighet er 71 Mbps i Telenors nett, 58 Mbps i Telias nett og 33 Mbps i Ice mobil sitt nett.

94 % av målingene i Telenors nett viser en nedlastningshastighet over 10 Mbps (en oppgang fra 90 % i 2021). Tilsvarende tall er 96 % (94 %) for Telia og 78 % (86 %) for Ice mobil. 69 % av målingene i Telenors nett viser en nedlastningshastighet over 50 Mbps (en økning fra 51 % i 2022). Tilsvarende tall er 59 % (44 %) for Telia og 28 % (27 %) for Ice mobil.

Median opplastningshastighet er 28 Mbps i Telenors nett, som utgjør en betydelig økning fra 20 Mbps i 2022. Opplastningshastighet er uendret i Telia og Ice sine nett. 87 % av målingene i Telenors nett viser en opplastningshastighet over 10 Mbps (opp fra 84 % i 2021). Tilsvarende tall er 82 % (79 %) for Telia og 67 % (80 %) for Ice mobil.

4.2 Opplastnings- og nedlastningshastighet i 5G

Vi har målt opplastnings- og nedlastningshastighet i 5G-nett fra våre 42 målenoder. Hver node er utstyrt med to 5G-modemer, med SIM-kort fra to ulike operatører blant Telenor, Telia og Ice. Det ble brukt den samme Ookla Speedtest-metodikken som i 4G-målingene.

Figur 4.2 viser oppnådde ned- og opplastningshastigheter for Telenor og Telia. Telenor har en median nedlastningshastighet på 193 Mbps, som er en oppgang fra 170 Mbps i 2022. Telias median nedlastningshastighet var på 176 Mbps, oppgang fra 150 Mbps i 2022. Ice median nedlastningshastighet var på 56 Mbps. Tilsvarende verdier for opplastningshastigheter er 36 Mbps (fra 31 Mbps i 2022) for Telenor, 29 Mbps (nedgang fra 32 Mbps i 2022) for Telia og 27 Mbps for Ice. Det er henholdsvis 32 %, 25 % og 9 % av noder med over 50 Mbps opplastningshastighet.

For første gang måler vi 5G-hastighetene for Ice mobil. Den betydelig lavere nedlastningshastigheten til Ice skyldes den aktive struping av maksimal hastighet for deres kunder på brukte abonnement, som selskapet oppgir til å være på 50 Mbps. Ice gjør dette fordi 50 Mbps er en meget høy hastighet som er tilstrekkelig for alle vanlige bruksmønstre i mobilt datanett, samtidig som man på enkelt vis økonomiserer med sine infrastruktureressurser². Nøyaktig struping av datastrømmer er vanskelig å gjennomføre i praksis, og noen målinger oppnår høyere hastigheter — vi ser tre ”diamanter” i boksplokk for Ice i figur 4.2 med oppnådd opplastningshastighet over 200 Mbps.

4.3 Variasjon mellom forbindelser

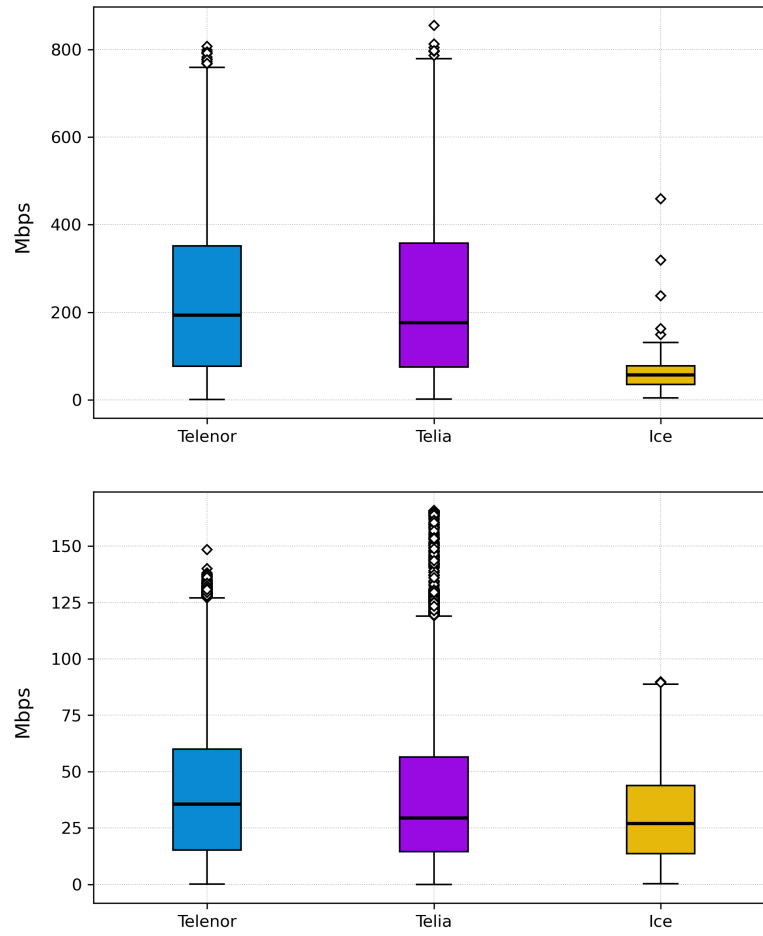
Figur 4.3 viser hvordan den målte nedlastningshastigheten varierer for hver enkelt forbindelse per operatør. 5G-forbindelser er vist med en mørkere farge, 4G med en lysere. Ikke overraskende, viser 5G noder generelt høyere hastigheter enn 4G.

Den røde markøren viser median hastighet, altså ligger halvparten av de målte verdiene over og halvparten under dette nivået. De tykke markørene er smale boksplokk, og deres høyde representerer interkvartilavstanden.

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. Denne variansen har blitt mindre de siste årene, noe som betyr at den oppnådde nedlastningshastigheten har blitt mer stabil.

¹For en fullstendig forklaring hvordan boksplokk tolkes, vennligst se side 18.

²Ice tilbyr abonnement med flere hastigheter, også ubegrenset, som vi vil bruke fremover.



Figur 4.2: Nedlastningshastighet (øverst) og opplastningshastighet (nederst) for ulike operatører, 5G-nett.

Operatør	2019	2020	2021	2022	2023
Telenor, 4G	33%	13%	24%	15%	2%
Telia, 4G	26%	21%	19%	11%	8%
Ice, 4G	12%	8%	41%	37%	33%
Telenor, 5G				0%	14%
Telia, 5G				21%	8%
Ice, 5G					0%

Tabell 4.1: Variasjon av resultater per forbindelse. Tallene viser prosentvis hvor mange forbindelser for hver operatør og teknologi som hadde en interkvartilavstand større enn median nedlastningshastighet.

Blant 4G-noder i 2023, hadde kun 2 % av Telenors forbindelser, 8 % av Telias forbindelser, og 33 % av Ice sine forbindelser en interkvartilavstand som er større enn medianen. Dette er en bedring sammenlignet med 2022 for alle operatørene, og de beste historiske resultatene for Telenor og Telia. Resultatene for 2023 og tidligere år er oppsummert i tabell 4.1.

For 5G-forbindelser hadde Telenor 14 % noder der interkvartilavstanden var større enn medianen, mens Telia hadde 8 % og Ice ingen. Dette er lave tall som tyder på høy stabilitet i ytelsen. Det er relativt store endringer fra år til år, som kanskje kan relateres til 5G utbyggingen og påfølgende endringer i ytelsen i 2023.

4.4 Utvikling i hastighet gjennom 2023

Figur 4.4 viser hvordan median nedlastningshastighet 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.

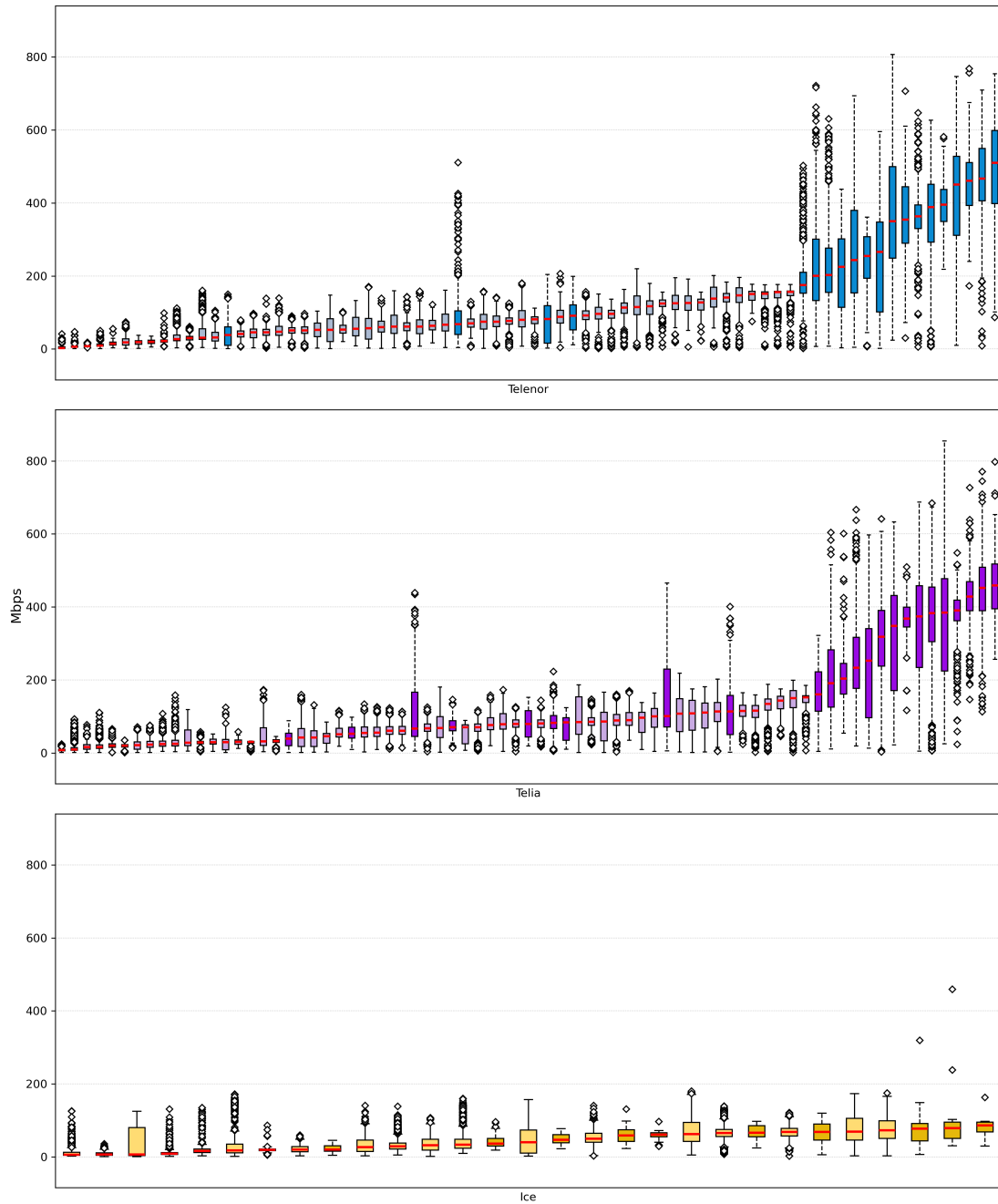
Mens vi i 2021 og 2022 observerte en økning for Telia og Telenor, ser vi nå en stabilisering for disse to operatørene, som kan tyde på at de fleste nett der våre målenoder befinner seg er bygget ut for 5G. For Ice ser det ut til at de gjennomsnittlige hastighetene begynner å øke mot slutten av året. Dette stemmer godt med den meldte aktiviteten i 5G-utbyggingen hos Ice.

Utrulling av 5G innebærer introduksjon av mer avanserte antenner (4x4 MIMO), og gjenbruk av 3G-frekvenser til 5G. Denne utskiftingen er trolig en viktig årsak til den opplevde økningen i hastighet også i 4G-nett. For enkelte noder har vi sett en klar forbedring i signalstyrke og nedlastningshastighet for de fleste målinger etter en spesifikk dato, der vi antar at 5G-omleggingen fant sted i området der noden er lokalisert.

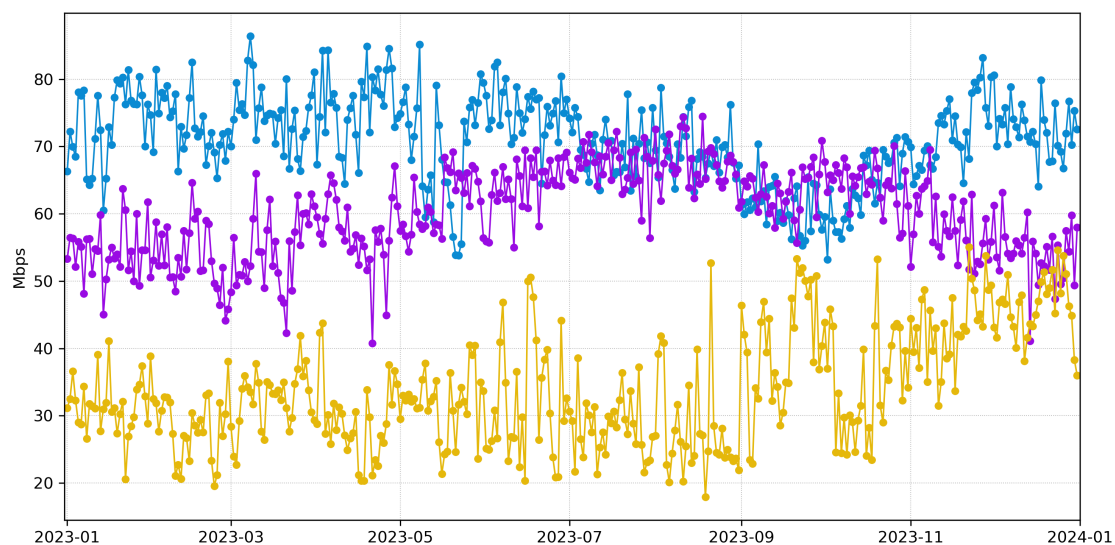
4.5 Historisk utvikling i hastighet

Figur 4.5 viser utviklingen i median ned- og opplastningshastighet fra 2016 til 2023. Figuren må tolkes med noe varsomhet, siden målepunktene ikke er nøyaktig de samme hvert år. Vi har ikke historiske data for Ice mobil (med nasjonal gjesting), så tallene fra 2016 - 2019 er for Ice MBB.

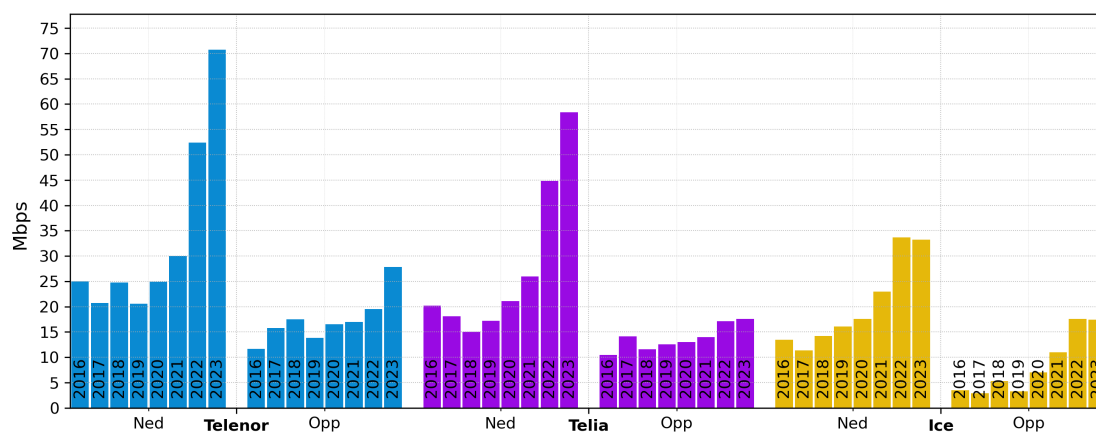
Figuren viser en markant positiv utvikling i målte hastigheter i 2023 hos Telenor (både opplasting og nedlastning) og Telia (nedlastning). Ice mobil er uten vesentlige endringer.



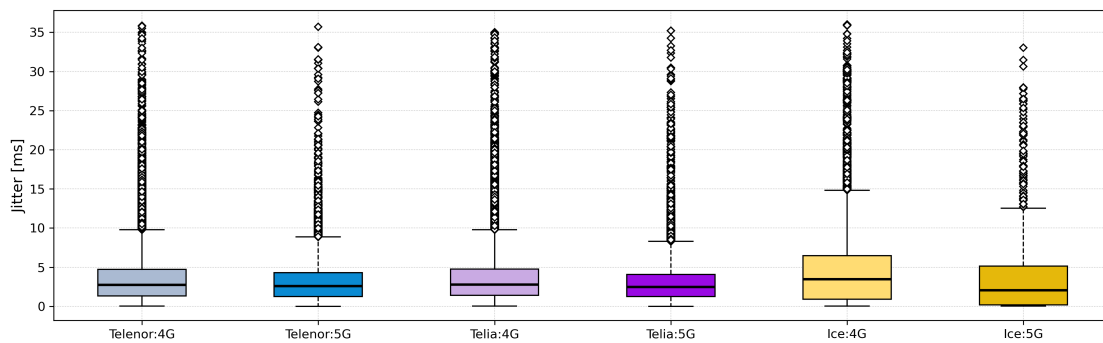
Figur 4.3: Variasjon i nedlastningshastighet for målenoder med Telenor (øverst), Telia (midten) og Ice mobil (nederst). De mørkere stolpene representerer 5G noder, de lysere 4G.



Figur 4.4: Utvikling i nedlastningshastighet gjennom 2023, 4G noder.



Figur 4.5: Utvikling i ned- og opplastningshastighet 2016-2023.



Figur 4.6: Jitter i 2023, alle operatørene.

4.6 Jitter

Datapakker i internett bruker forskjellig tid på sin reise fra kilde til destinasjon. Denne tiden er ofte referert til som forsinkelse ("latency"), og varierer med avstand og tilstand i datanett. Høy trafikkbelastning i nettverket kan for eksempel føre til at datapakker må vente i køer underveis i nettverket før de kan sendes videre. Variasjon av denne forsinkelsen over tid kalles for pakkejitter, eller bare jitter. Jitter betegner gjerne pakker som sendes og mottas sekvensielt innen én datastrøm, og er altså en annen størrelse enn variasjonen vi så på i seksjon 4.3.

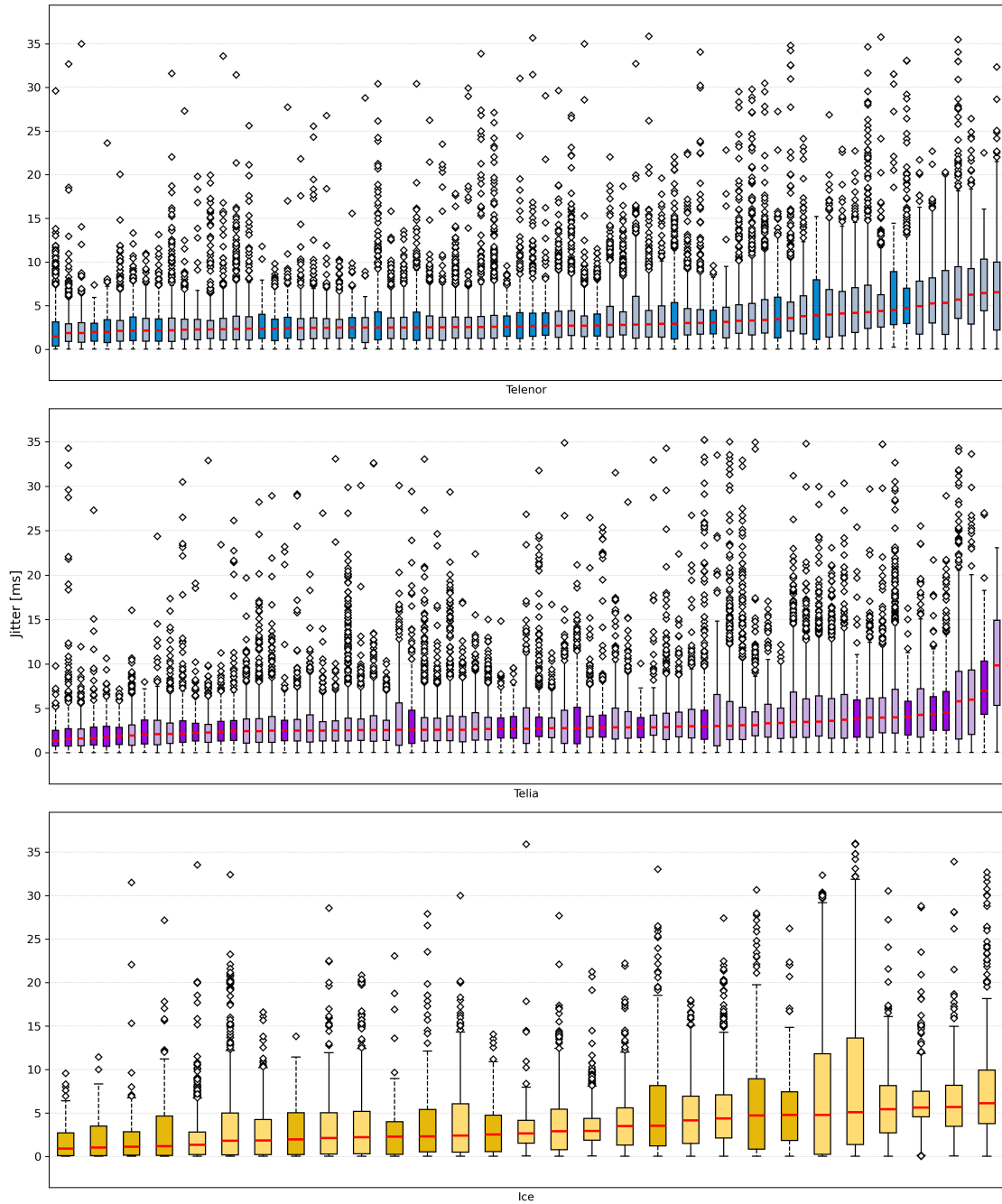
Jitter har fått økt oppmerksomhet hos operatørene i det siste. Videokonferanser er et eksempel på sanntidsapplikasjoner som er følsomme for høy jitter, og bruken av disse har økt dramatisk i de senere årene. Mobile nettverk brukes stadig mer til interaktive spill, der jitter bokstavelig talt kan bestemme hvorvidt en spillkarakter skal leve eller dø. Dette kan høres trivielt ut, men er viktig for mange, og gir næring til den viktige spillindustrien som globalt ser ut til å ha passert omsetningen til film- og musikkindustrien tilsammen. Jitter er viktig også med tanke på nye, tidskritiske tjenester i 5G SA, som krever meget lav forsinkelse og variasjon.

Det finnes flere måter å beregne jitter på. I denne rapporten viser vi tallene innrapportert i Ookla Speedtest, som er basert på målinger av forsinkelse i nettet, noe som foregår parallelt med selve hastighetsmålingen. Hva som kan regnes som gode jitter-verdier avhenger av applikasjon, men lavere verdier er generelt å foretrekke fremfor høyere.

Figur 4.6 viser distribusjon av jitter for ulike operatører over alle målinger. Vi ser nokså like tall, med noe mer variasjon hos Ice mobil. Medianverdiene for 4G er noe lavere enn i 2022, 2,74 ms, 2,77 ms og 3,47 ms for henholdsvis Telenor, Telia og Ice. For nodene med 5G-støtte er tilsvarende tall 2,58 ms, 2,48 ms og 2,05 ms.

Distribusjonene i figur 4.6 omfatter 99 % av alle målinger, dvs. under 1 % av målingene har jitter over 36 ms og er dermed ikke synlige i figuren. Vi merker oss at jitter-distribusjonen målt på denne måten har "lang hale", der noen målinger viser flere hundre millisekunder, for alle operatørene. Ved dybdeanalyse av data merker vi allikevel at Ice, som har lavest median jitter på 5G, har over 2 % målinger med jitter over 20 ms, for både 4G og 5G. Telenor og Telia har under 1 % jittermålinger over 20 ms.

Figur 4.7 viser variasjon i jitter mellom ulike målenoder. Vi merker at 5G-jitter generelt er lavere og varierer mindre enn 4G, men forskjellene er mindre enn når vi analyserer hastighet.



Figur 4.7: Variasjon i jitter hos Telenor (øverst), Telia (midten) og Ice mobil (nederst). Mørkere stolper representerer 5G-noder, lysere 4G.



5. Bredbånd over satellitt

I dette kapitlet presenterer vi målinger av bredbånd over satellitt. Vi startet med målinger av en slik tjeneste implementert over en geostasjonær satellitt i 2020. Det nye i 2023 er at vi også måler og analyserer en tjeneste implementert over satellitter i lav jordbane.

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 levert kommersielt Brdy¹ og Starlink². For Starlink bruker vi det enkleste ”privatabonnementet”.

Brdy sin tjeneste er basert på 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 Sørøst-Norge. 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. Brukerterminalen består av en parabolantenne og tilhørende modem med Ethernet-tilkobling.

Starlink hadde sin debut i 2019 og har vært operativ i Norge siden slutten av 2022. Tjenesten baserer seg i skrivende stund på ca. 6000 satellitter i lav jordbane, og dette antallet er planlagt økt til ca. 12000, med muligheter for ytterligere økning til over 30000. Kun et mindretall av de 6000 satellittene er synlige i Norge, men antallet øker. Starlink satellittene er i omløpsbane rundt Jorden på ca. 550 km høyde og tar ca. 95 minutter for et fullt omløp. Brukerterminalen består av en selvstyrt bevegelig antenne, som selv finner optimal vinkel mot himmelen slik at synlighet

¹<https://www.brdy.no>, tidligere Bigblu.

²<https://www.starlink.com/>

av satellitter er best. Når denne vinkelen er funnet og finjustert, noe som kan ta opp til 24 timer, er det ingen flere bevegelser, og satellittene følges ved bruk av mange små antennelementer som er oppsatt i litt forskjellige vinkler, såkalt "fase-arrangert" antenne. Elektronikken styrer hvilket antenneelement som brukes til enhver tid, slik at satellitten følges over himmelen. Når den forlater horisonten, skal en annen satellitt være synlig, så sant det er stort sett uinnskrenket utsyn mot himmelen. Antennen kobles til en modemenhet med WLAN og Ethernet-kontakt. Brukerterminalen og satellittene kommuniserer over Ka- og Ku-band.

Våre målinger foretas fra den samme typen målenode som målingene av mobilnett. Målenoden er koblet til et satellittmodem via 1 Gbps Ethernet-forbindelse. Både Brdy- og Starlink-antenne er plassert godt på taket av Simula Metropolitan lokaler i OsloMet-campus på Bislett i Oslo, med uinnskrenket utsyn mot himmelen. Resultatene som vises her er basert på målinger foretatt i 2023. Vi rapporterer målinger av forsinkelse, pakketap og hastighet. Vi måler hastigheten hver time for å analysere variasjoner i løpet av døgnet.

5.1 Forsinkelse

5.1.1 Geostasjonær satellitt

Geostasjonære satellitter har en omløpstid rundt jorda på 24 timer, og befinner seg derfor alltid vertikalt over det nøyaktig samme punktet på jordoverflaten. Dette er kun mulig dersom satellitten flyr på en nøyaktig beregnet 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 framsending i bakkebaserte nett gjør at den opplevde forsinkelsen normalt vil ligge et stykke over dette.

Figur 5.1 viser hvordan opplevd forsinkelse varierer gjennom døgnet. Forsinkelsen 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 ca. 600 og 700 ms. Medianverdien i 2023 ligger på 690 ms, som er noe høyere enn i 2022. Det er færre pakker med lengre forsinkelse enn i tidligere år, som tyder på mindre metning i forbindelsen.

Forsinkelsen varierer lite gjennom døgnet. Den er lavest i perioder med lite trafikk (natt og tidlig morgen), og øker noe i perioder med høyere trafikkbelastning, spesielt kl. 21-22. Vi observerer at forsinkelsen varierer stadig mindre år for år. I figur 5.1 er det knapt mulig å se forskjellen, som var godt synlig i 2020 og 2021.

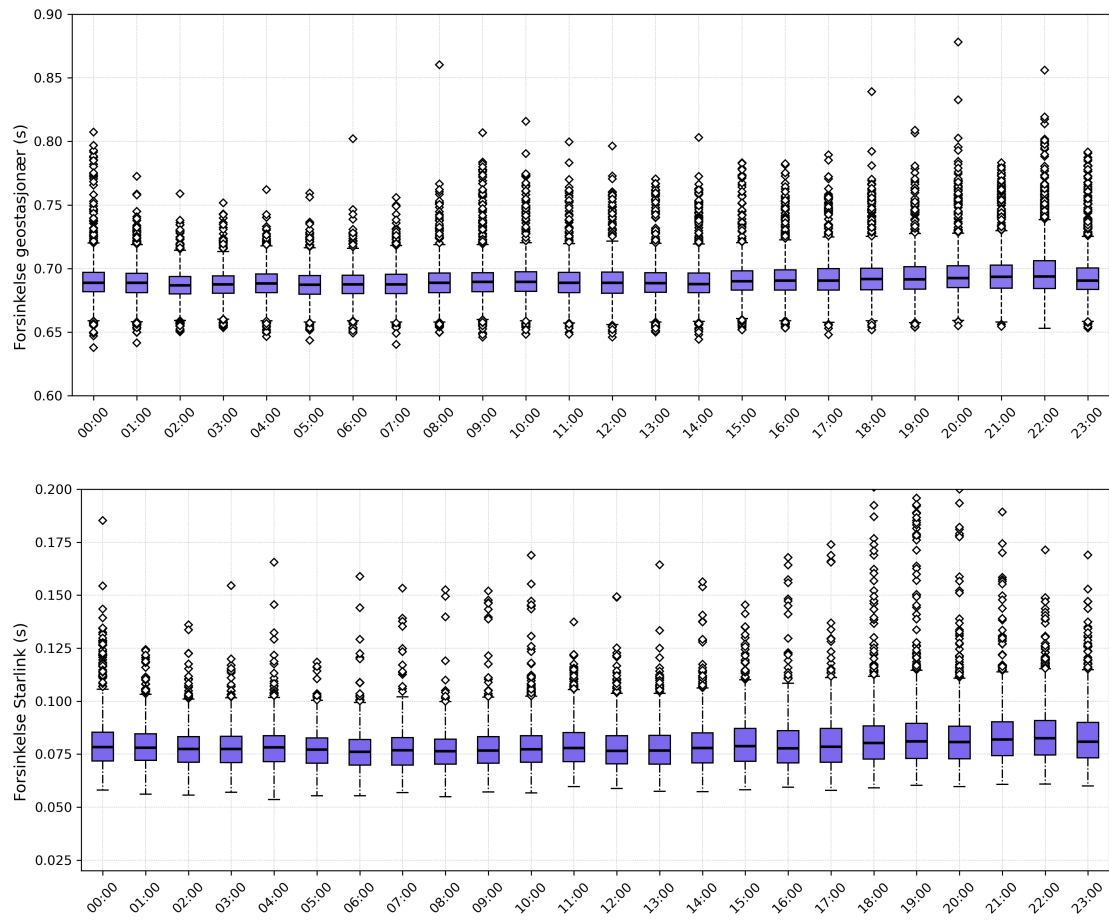
5.1.2 Satellitter i lav jordbane

Med sin lave jordbane på ca. 550 km over jordens overflate, har Starlink sine satellitter vesentlig lavere forsinkelse i kommunikasjonen enn den geostasjonære løsningen. Medianverdien vi har målt i 2023 var på 78 ms. Som vi ser i figur 5.1, er det også her noe variasjon gjennom døgnet, med marginalt større forsinkelse på ettermiddag / kveld.

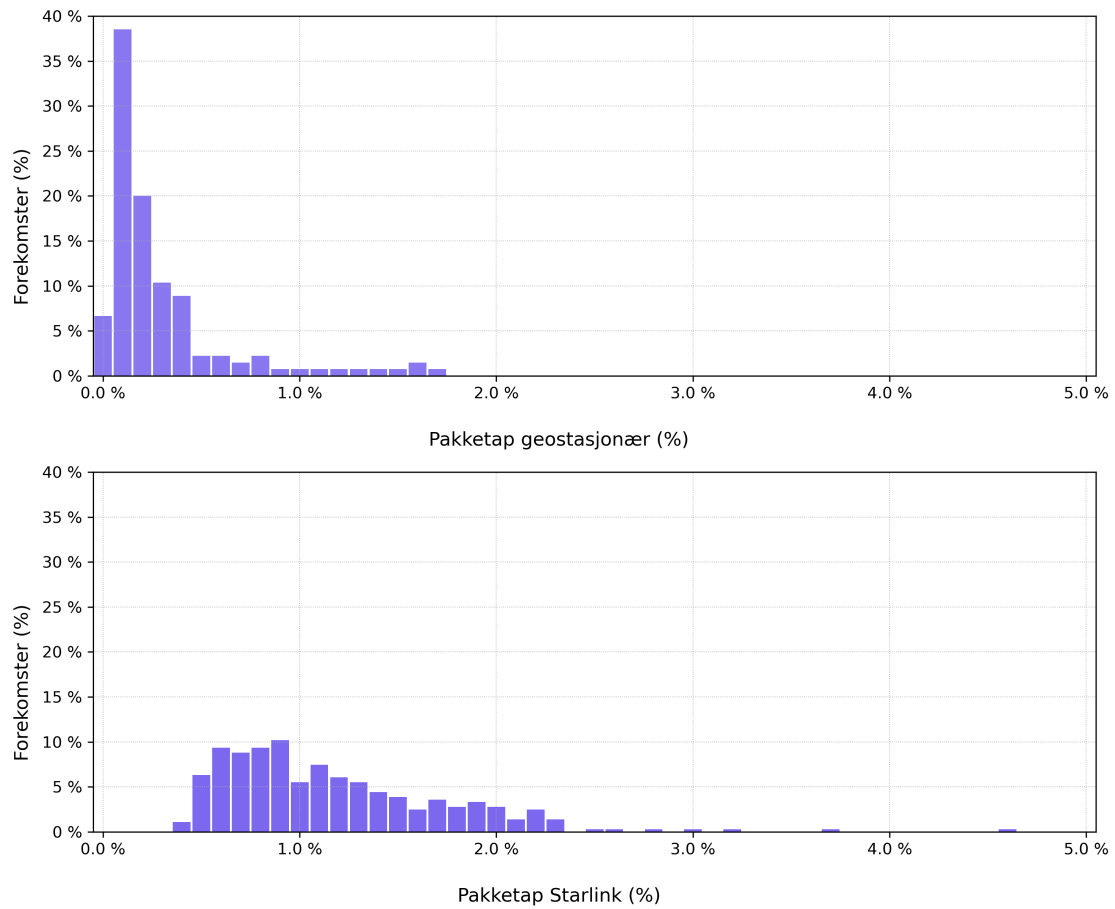
5.2 Pakketap

Figur 5.2 viser fordelingen av pakketap per dag i 2023, både geostasjonær og lav jordbane. Vi ser ingen vesentlige endringer for geostasjonær satellitt i forhold til målingene vi har hatt i tidligere år. De fleste dager ligger pakketapet mellom 0 og 0,5 %, men enkelte dager var det høyere.

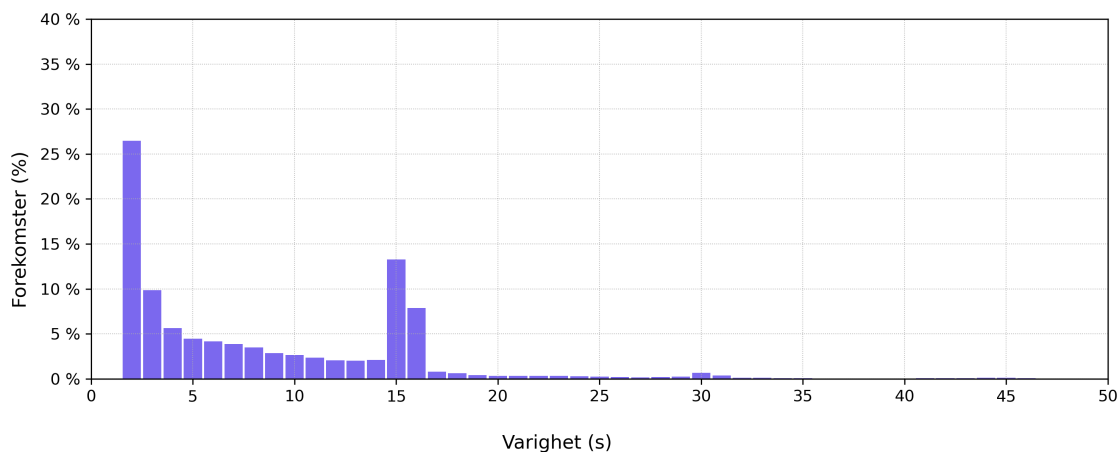
For Starlink er dette det første året med målinger, og vi ser et vesentlig høyere pakketap enn det vi ser på den geostasjonære forbindelsen. Vi har analysert pakketapdata, og funnet mange perioder med lengre pakketap, varende fra noen sekunder til flere minutter. Fordelingen av varighet på disse avbruddene er vist i figur 5.3. I løpet av 2023 har vi sett totalt 7023 avbrudd på 15 sekunder eller lengre, derav 30 på 5 minutter eller lengre. Total varighet på alle avbrudd i 2023 er på omtrent to



Figur 5.1: Forsinkelse i geostasjonær (oppe) og lav jordbane (nede) satellittforbindelse ved ulike tider på døgnet. Y-aksen er kappet.



Figur 5.2: Pakketap i satellittforbindelse, fordeling av daglige gjennomsnitt, geostasjonær (oppe) og lav jordbane (nede).



Figur 5.3: Distribusjon av kontinuerlig pakketap med varighet 2 sekunder eller mer, Starlink.

døgn. Det er ingen klar periodisitet i når disse lengre avbrudd forekommer: gjennomsnittet er på 75 minutter mellom lengre avbrudd, men det kan være lange perioder uten avbrudd og også flere avbrudd med relativt korte mellomrom. Det kan være sammenheng mellom tilgjengeligheten av synlige satellitter, overføring av signal mellom disse, og pakketap. Dette er noe vi vil undersøke nærmere i fremtiden.

5.3 Hastighet

Figur 5.4 viser hvordan nedlastningshastighet varierer gjennom døgnet for den geostasjonære tjenesten og tjenesten implementert over satellitter i lav jordbane. Tilsvarende tall for opplastningshastighet vises i figur 5.6.

5.3.1 Geostasjonær satellitt

Median-nedlastningshastigheten ligger tett opp til 50 Mbps gjennom hele døgnet. Den faller noe ned ca. kl. 22 når bruken er antatt høyest³, men det fallet er langt lavere enn det vi har målt i tidligere år, da vi observerte median nedlastningshastigheter helt ned til 20 Mbps i de travleste timene.

Median opplastningshastighet ligger på 5 Mbps, som er en forbedring fra i 2022 og tilbake til de sterkeste målingene i 2020-21. Det er lite variasjon gjennom døgnet.

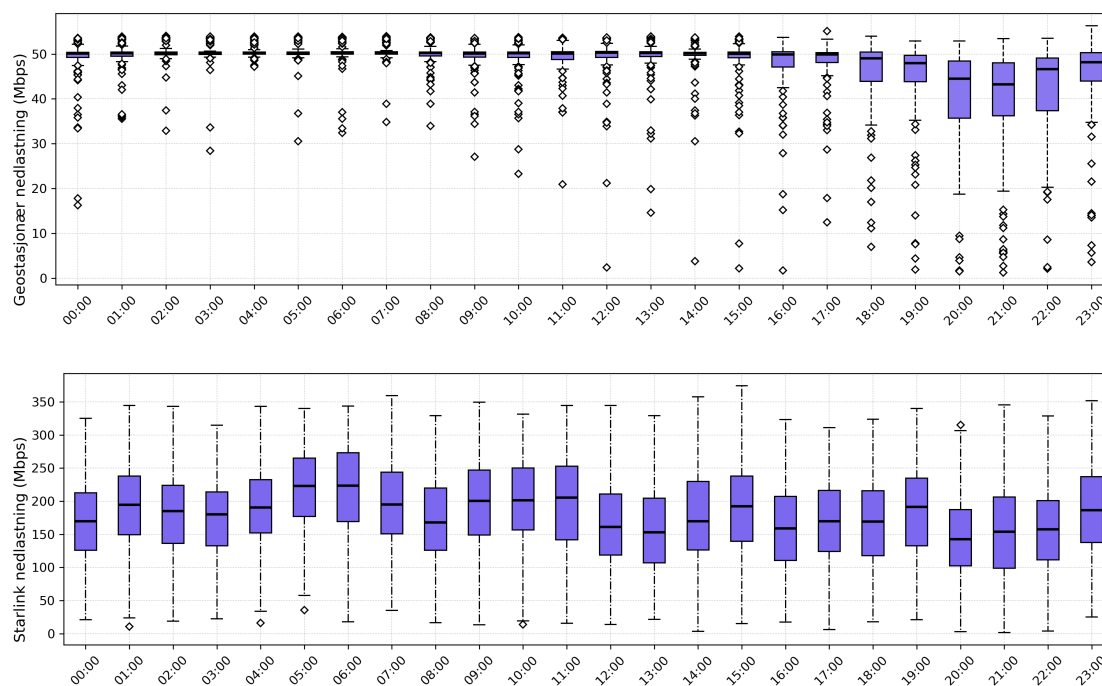
5.3.2 Satellitter i lav jordbane

Medianmålinger for nedlastningshastighet for Starlink ligger på 170-220 Mbps, med betydelig variasjon gjennom døgnet. Vi ser ingen opplagt forklaring for hvorfor disse målingene spriker så mye, og tror at variasjonen er relatert til pakketapet vi har observert. Allikevel faller 50 % av alle resultatene i 130-230 Mbps interval, med median på 180 Mbps for hele 2023.

Starlink er meget aktiv med utskytning av nye satellitter, og setter stadig flere i tilnærmet polarbane. Mange av disse satellittene kommer norske kunder til gode. Det kan se ut som at den gjennomsnittlige nedlastningshastigheten har økt noe gjennom året (figur 5.5), riktignok med en dipp i juli.

Medianverdien for opplastningshastighet for Starlink er målt til 15 Mbps, og 50 % av verdiene varierer i 11-18 Mbps interval. Det er igjen noe variasjon gjennom døgnet, uten klar sammenheng

³Sommertid er innberegnet i visningen, dvs. kl. 22 er samme tid sommer og vinter.



Figur 5.4: Nedlastningshastighet geostasjonær (øverst) og lav jordbane (nederst).

med forventet trafikk mønster.

5.4 Diskusjon

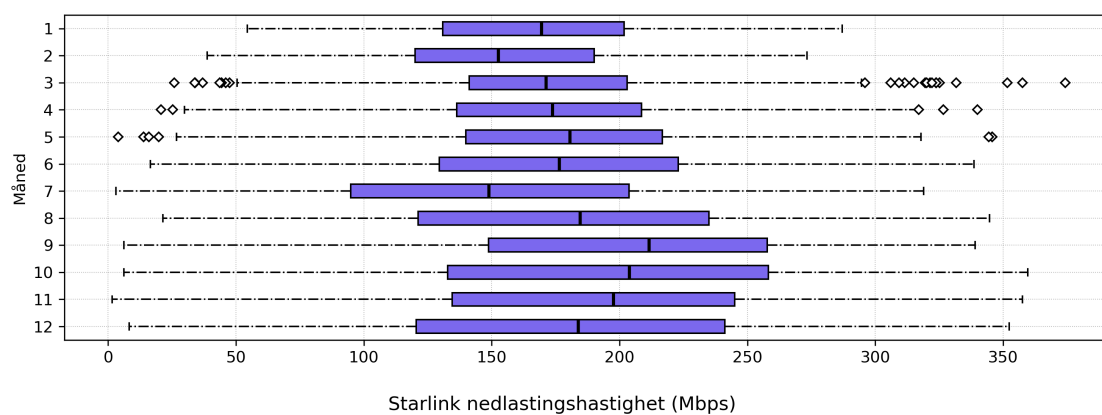
Offentligheten følger interessert med på Starlink-utviklingen, og vi vet at deres tjenester brukes til bl.a. backup internettforbindelse i noen viktige industrianlegg i landet. Derfor valgte vi å analysere denne tjenesten, og sammenligne med den mer tradisjonelle tjenesten implementert over en geostasjonær satellitt.

Det viser seg at Starlink leverer som forventet på forsinkelse. Forsinkelsen er ca. 9 ganger kortere enn på den geostasjonære løsningen. Den geostasjonære forsinkelsen på 650-700 ms kan være akseptabel for en del tjenester, men er en ulempe i interaktive applikasjoner som videokonferanser, og uakseptable for spill og mange industrielle anvendelser. Med hensyn til forsinkelse vil Starlink med sine 75-80 ms kunne brukes i flere sammenhenger, med god brukeropplevelse.

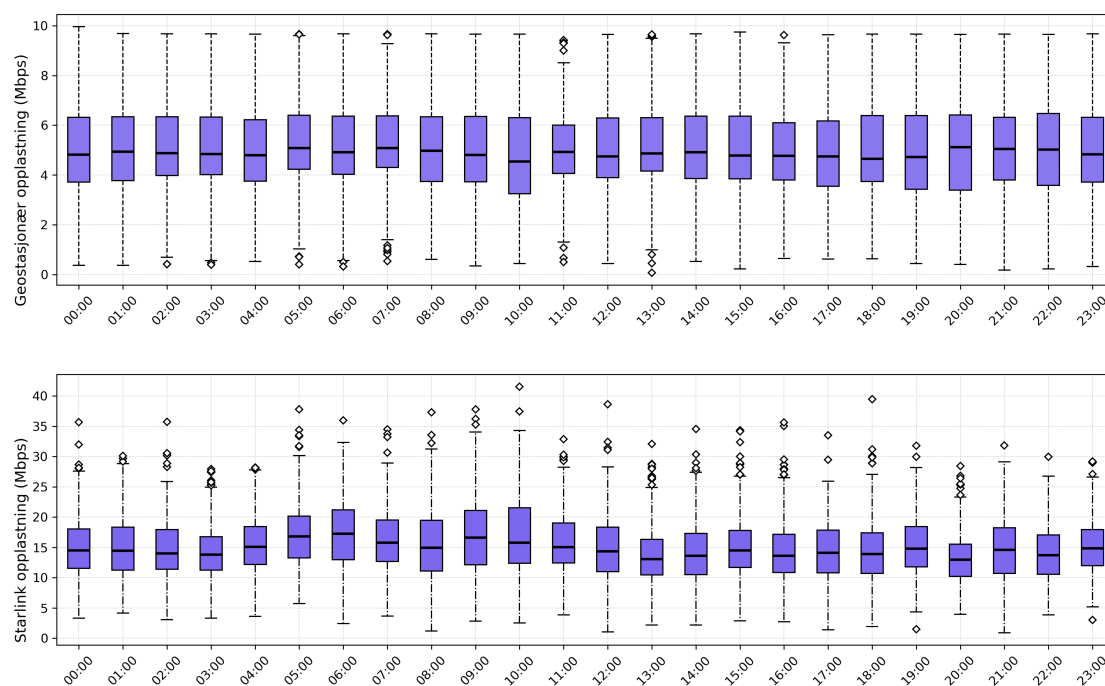
Variasjon og forhøyet forsinkelse i datakommunikasjon er som regel forbundet med metning i forbindelser. Det at vår geostasjonære satellittforbindelse har stadig kortere perioder i døgnet med nedsatt ytelse eller forhøyet forsinkelse, tyder på forbedret kapasitet i forhold til bruk. Dette kan skyldes enten utbygging av kapasitet eller en nedgang i antall brukere. Da det er klare grenser for hvor mye man kan forbedre kapasitet på et objekt allerede i geostasjonær jordbane, er det sterke indisier på at dette produktet synker i popularitet i markedet.

Når det gjelder ytelse som opp- og nedlastningshastighet, leverer Starlink i størrelsesorden tre ganger høyere tall enn den geostasjonære løsningen. Det åpner for en hel del nye anvendelser. Det er i tillegg enkelt å installere en Starlink-terminal, uten montør eller eksperthjelp. Begge løsninger har jordstasjoner utenfor Norge, men presenterer brukeren med norske IP-adresser, slik at tjenester som NRK TV kan brukes.

Det overraskende høye pakketapet hos Starlink kan være hemmende for en del bruksområder. Starlink privat kan åpenbart ikke brukes som eneste internettforbindelse i kritiske sammenheng,



Figur 5.5: Nedlastningshastighet lav jordbane (Starlink), måned for måned.



Figur 5.6: Opplastningshastighet geostasjonær (øverst) og lav jordbane (nederst).

eller så må applikasjonene, hvis mulig, ta hensyn til at det kan forekomme lengre avbrudd. For de fleste ikke-kritiske applikasjoner vil dette likevel kunne tolereres.

Variasjon i ned- og opplastningshastighet fra år til år på geostasjonær satellitt kan skyldes konfigurasjonsendringer. Brdy bekrefter at slike endringer foretas fra tid til annen, men nøyaktig hva satellittpilotøren gjør er konfidensielt. Endringene er alltid i tråd med "rettferdig brukspolicy", og ment å tjene "kundefelleskapets beste". Det er mulig å prioritere nedlastning i tilgjengelige ressurser på bekostning av opplastning gjennom konfigurasjonsendringene, og våre funn kan tolkes i denne retningen. Også hos Starlink er endringene konfidensielle, samt ganske frekvente med stadig nye oppskytninger, banesettelser og korreksjoner. Starlink sine endringer er motivert av et overordnet mål om økt kapasitet, tilbud og tjenestekvalitet i stadig flere områder rundt kloden.



6. Mobildekning på tog

I dette kapitlet presenterer vi målinger av mobildekning om bord på tog. Målingene er gjennomført ved å plassere NorNet målenoder på lokaltog som brukes på InterCity-strekninger i Stor-Oslo, i samarbeid med Norske tog. I motsetning til målingene utført i 2019 og 2021, bruker vi nå 5G-kapable noder.

Det er tre noder vi har samlet data fra i 2023, med to 5G-modemer hver, som ga oss to datakilder for hver av Telenor, Telia og Ice. Alle togene vi har benyttet har signalforsterkere installert om bord (se faktaboks). På de tre togsettene vi har installert utstyret på i 2023, er det ”Commscope Node AM” signalforsterkere som brukes. Disse kan forsterke signal i fire band samtidig, opp til 40 dB, og har innebygd funksjonalitet til å justere signalstyrke i togsettet for å bl.a. redusere interferens med sterke signaler fra basestasjoner som befinner seg i nærheten av toget.

I vår analyse av målingene deler vi kartet over det geografiske området der målingene er utført i segmenter på 1x1 km, og slår sammen alle målinger av dekning og ytelse i hvert segment. Antallet måleravlesninger vi har i hvert segment vil variere med togsettets reisemønster. Vi krever en minimum oppholdstid for en operatør for å ta med det aktuelle segmentet i vår analyse.

For hvert intervall beregner vi dekningen gjennom målt signalstyrke. 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. Den rapporterte dekningen for Ice vil derfor også inneholde noe dekning fra Telia.

Hver målenode rapporterer status for forbindelsen til sine mobilnett flere 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 jernbanenettet. I tidligere analyser av mobildekning på tog har vi undersøkt hvilken teknologi forbindelsen går over. Dette kan være 4G eller ingen tjeneste. I 2023 observerer vi mobiltjeneste overalt i måleområdet. Aktiv tjeneste veksler mellom 4G og 5G. Dessverre bruker operatørene forskjellige algoritmer for å indikere tilstedeværelse av 5G, slik at vi ikke kan bruke våre målinger

til å presentere 5G utbyggingsgrad på en riktig måte.

Signalforsterkere på tog

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 dempning av signaler. Krav til støydemping, solskjerming og redusert varmetap gjør at disse har en tett konstruksjon med metallfilm i vinduene. Eldre togsett har ofte større vinduer uten metallfilm, og demper signalet i mindre grad. Graden av dempning er også avhengig av frekvensen til radiosignalene. Lavere frekvenser trenger lettere gjennom togkarosseriet, mens høyere frekvenser stoppes mer effektivt. NSB har tidligere gjennomført målinger av hvor mye mobilsignaler dempes i togkarosseriet for ulike togtyper og radiofrekvenser. De fant at typisk dempning er i området 10-15 dB, og noen ganger over 20 dB. Denne dempningen vil ha betydelig innvirkning på kvaliteten til mobiltjenester. En dempning på 3 dB betyr at radiosignalet utenfor toget må være dobbelt så sterkt for å gi en tilsvarende tjeneste. En dempning på 10 dB betyr at styrken på radiosignalet må være 10 ganger så sterkt, mens en dempning på 20 dB betyr at det må være 100 ganger så sterkt. Det er dermed svært vanskelig å bygge radiodekning langs jernbanen som skal gi en tilstrekkelig tjenestekvalitet uten å installere utstyr som skal motvirke dempningen i karosseriet.

I 2015 inngikk mobilselskapene, NSB og Jernbaneverket en avtale som skulle gi bedre mobiltjenester på tog. Avtalen innebærer at mobilselskapene skal prioritere dekning langs jernbanestrekninger, Jernbaneverket skal bygge dekning i tunneler, og Norske tog skal installere signalforsterkere på tog. Slike signalforsterkere henter mobilsignaler utenfor toget med en ekstern antenne, og videre sender 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.

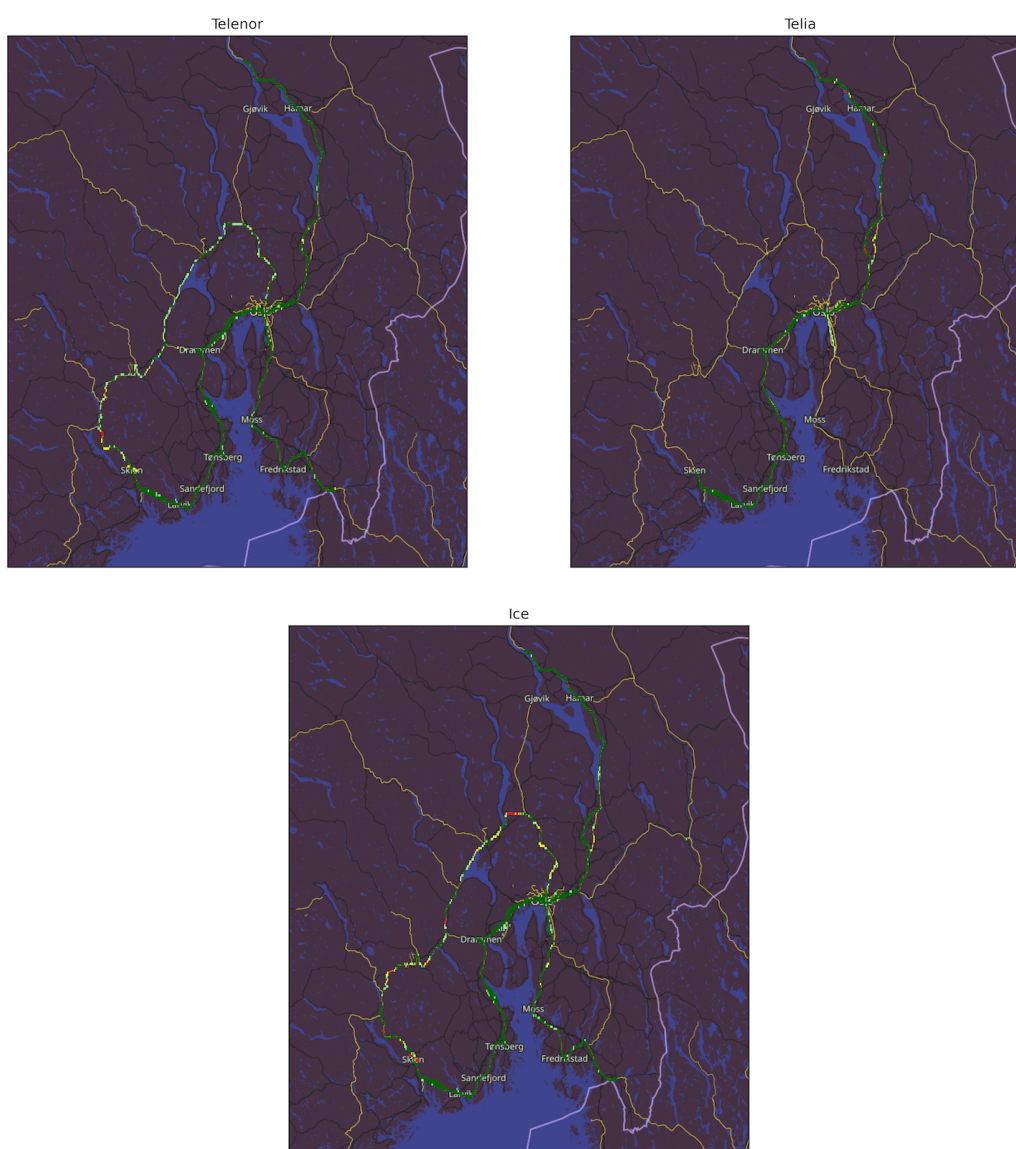
6.1 Mobil dekning

I måleperioden har togene beveget seg mellom Lillehammer i nord og Larvik og Halden i sør, og strekningene som ble dekket varierer noe mellom operatørene. Figur 6.1 viser målt signalstyrke (RSRP) og signalkvalitet (RSRQ). Fargekodene er som angitt i tabell 6.1, og viser den laveste av RSRP og RSRQ verdier. For eksempel, om signalstyrken RSRP er på -84 dBm og signalkvaliteten RSRQ er på -16 dBm, vises feltet gult, til tross for at signalstyrken er god. På grunn av tekniske utfordringer med vårt utstyr, urelatert til operatøren, har vi få målinger for Telia på Østfoldbanen og Kongsbergbanen. Derfor vises ikke disse i figuren.

Vi ser at det stedvis forekommer ”røde” områder for alle operatørene. Vår analyse viser at i disse er alltid signalstyrken (RSRP) som er dårlig (målt under -100 dBm), mens signalkvaliteten (RSRQ) er allikevel tilfredstillende—vi har ikke målt dårlig signalkvalitet (under -20 dBm) noen steder i regionen. Forskjellig brukerstyr vil oppføre seg forskjellig i disse områdene, og utstyr med bra radiogrensesnitt vil kunne opprettholde tilfredstillende forbindelse. Vi jobber med eksperimenter som skal gi bedre indikasjon på faktisk brukeropplevelse på tog i 2024.

Beskrivelse	Farge	Signalstyrke (RSRP)	Signalkvalitet (RSRQ)
Utmerket	Mørkegrønn	≥ -80 dBm	≥ -10 dBm
God	Lysegrønn	-80 dBm – -90 dBm	-10 dBm – -15 dBm
Tilfredstillende	Gul	-90 dBm – -100 dBm	-15 dBm – -20 dBm
Dårlig	Rød	≤ -100 dBm	≤ -20 dBm

Tabell 6.1: Tolkning av signalverdier.



Figur 6.1: Målt signalstyrke og kvalitet for Telenor, Telia og Ice, på strekningene der vi har tilstrekkelig antall målinger.



7. Bakgrunn og metode

Målingene som presenteres i denne rapporten er utført ved hjelp av NorNet Edge, en infrastruktur for målinger og eksperimentering i mobile bredbåndnett¹. Infrastrukturen består av et hundretalls målenoder spredt rundt i Norge. Hver målenode er koblet til 2 mobiloperatører, og samler kontinuerlig inn data om dekningsforhold, status for tilkoblingen og ytelse for hver forbindelse. Infrastrukturen omfatter også en sentral komponent plassert hos Simula, som tar i mot, prosesserer og lagrer måledata.

Center for Resilient Networks and Applications (CRNA) samarbeider med lokale partnere over hele landet som fungerer som vertskap for målenoder. Figur 7.1 gir et inntrykk av den geografiske fordelingen av målenoder. På grunn av et tidligere samarbeid med e-valgprosjektet i Kommunal- og distriktsdepartementet, 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.

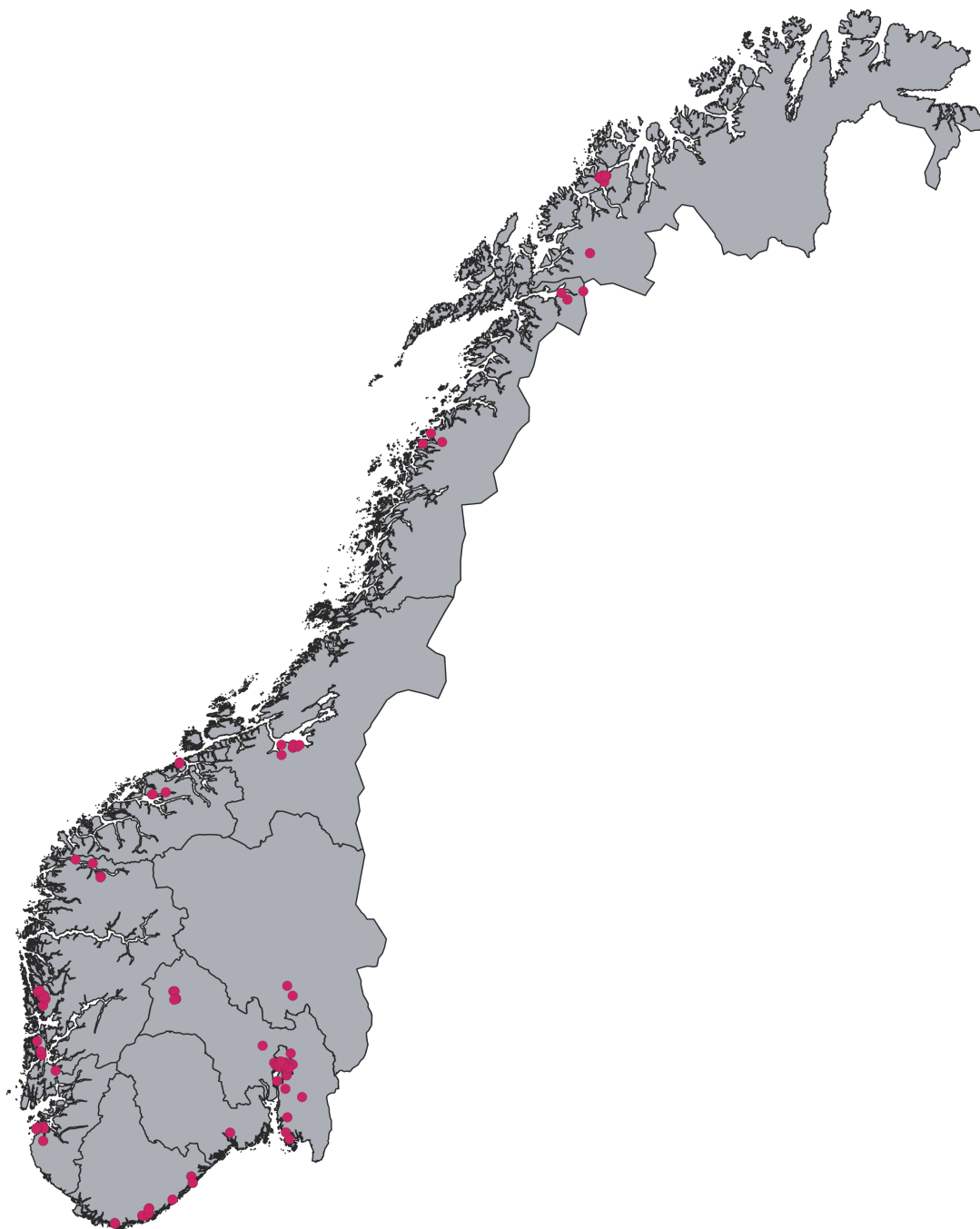
Antallet målenoder har ligget på rundt 100 gjennom året, men har variert noe gjennom måleperioden, som vist i figur 7.2. Dette vises også i figur 7.2. Vi har stasjonære målenoder i alle landsdeler².

7.1 Mobilnettene vi måler

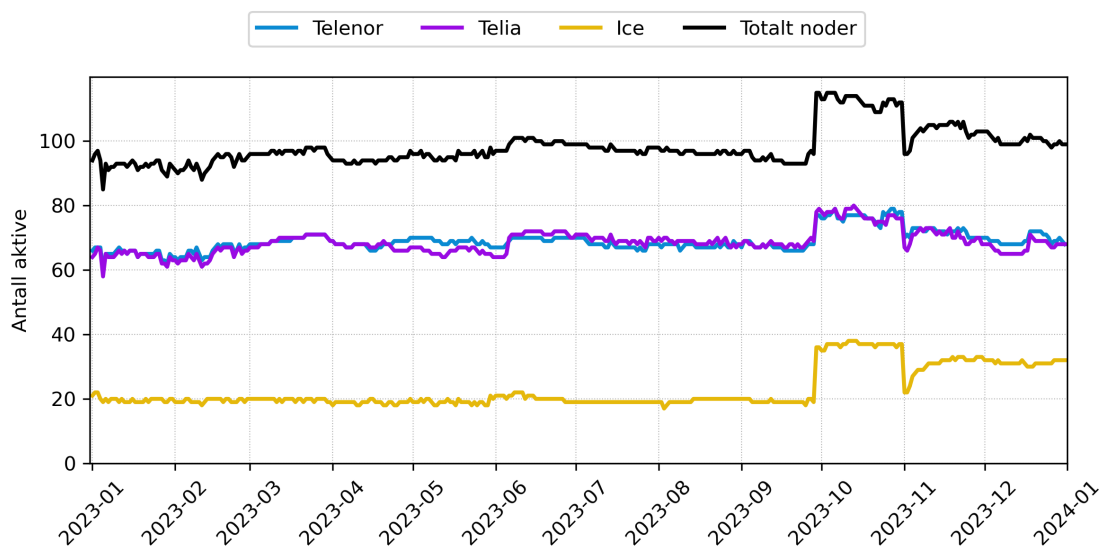
Vi gjør målinger i alle kommersielle mobilnett i Norge med eget radionett, det vil si Telenor, Telia og Ice. Telenor og Telia opererer hvert sitt landsdekkende mobilnett. Disse operatørene har sitt eget kjernenett og sitt eget radioaksessnett, og forbindelser i disse nettene er aldri avhengige av

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

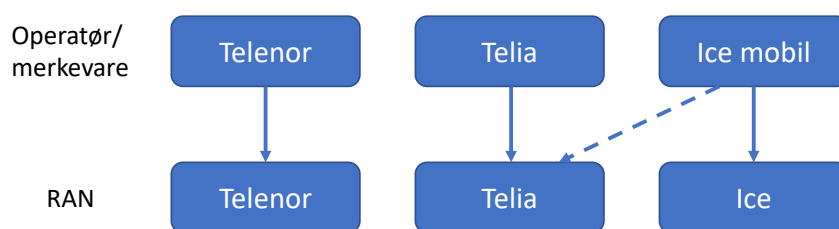
²Om du kan tenke deg å være vert for en målenode, ta kontakt med TARIK@SIMULA.NO.



Figur 7.1: Geografisk fordeling av målenoder.



Figur 7.2: Antall aktive målenoder samt forbindelser fra hver operatør, per dag i 2023.



Figur 7.3: Operatører og nettverk behandlet i denne rapporten.

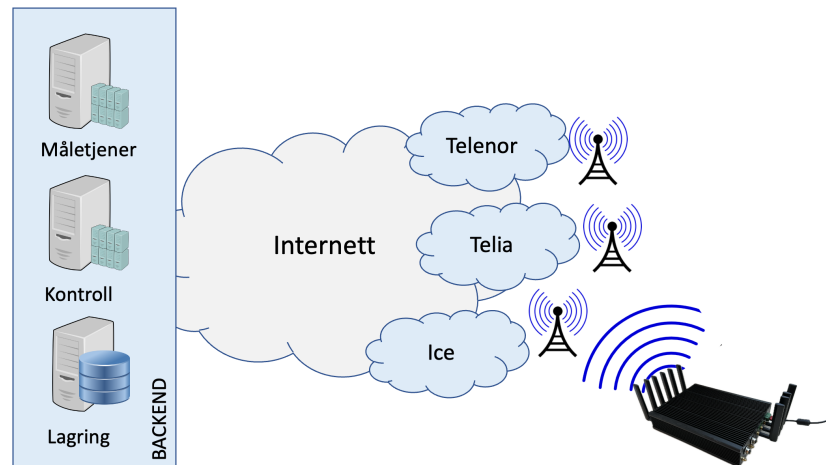
komponenter i andre mobilnett. Ice opererer det tredje norske mobilnett, og gjennomførte i 2015 et teknologiskifte i sitt nett, fra CDMA til LTE. I 2022 introduserte også Ice 5G i sitt nett. 3G (UMTS) ble i praksis faset ut fra Telenor og Telia i 2021. I denne rapporten presenterer vi målinger for Ice-tjenesten med nasjonal gjesting. Med andre ord, Ice benytter Telias nett, dersom måleutstyret er utenfor områder som Ice dekker med egne frekvenser.

Figur 7.3 viser sammenhengen mellom operatør/merkevare og hvilket radioaksessnett (RAN) operatøren bruker.

7.2 NorNet Edge målenoder

Våre målenoder har gjennomgått flere generasjonskifter gjennom årene. 4G-nodene vi bruker har vært i tjeneste siden 2018. De er basert på hyllevarekomponenter, og bruker interne PCI express modemer for å koble seg til mobilnettene. Målenodene har også en GSM-tilkobling som gjør at strømtilførselen kan kuttes via SMS, noe som vesentlig øker driftsstabiliteten til nodene. I likhet med første generasjon målenoder kjører de et standard Debian Linux operativsystem, og er derfor svært fleksible med tanke på hva slags målinger som kan støttes. Dette gjør også våre 5G-noder, som har vært i gradvis utrulling siden 2021.

Teknisk er 4G-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



Figur 7.4: NorNet Edge måleinfrastruktur.

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.

5G-målenodene er basert på Celerway Arcus plattform, men to 5G Quectel RM500Q modemer, som støtter 3GPP Release 15 og datarate opp til 2,5 Gbps nedlasting og 600 Mbps opplasting.

7.3 Server-side infrastruktur

Målenodene utfører målinger ved å sende trafikk til Simulas måleservere i Oslo, som vist i figur 7.4. Trafikk til og fra måleserverne rutes gjennom de ulike mobilnettene og videre gjennom vår internettleverandør. Måleserverne er utstyrt med god kapasitet i form av minne, prosessorkraft og nettverkstilkobling, for å sikre at de ikke blir en begrensende faktor i målingene.

Målenodene overfører resultater fra målingene kontinuerlig til en sentral server, hvor dataene behandles og lagres i en database. De samlede dataene blir behandlet og filtrert for å fjerne perioder der vi opplevde problemer med infrastrukturen på serversiden.

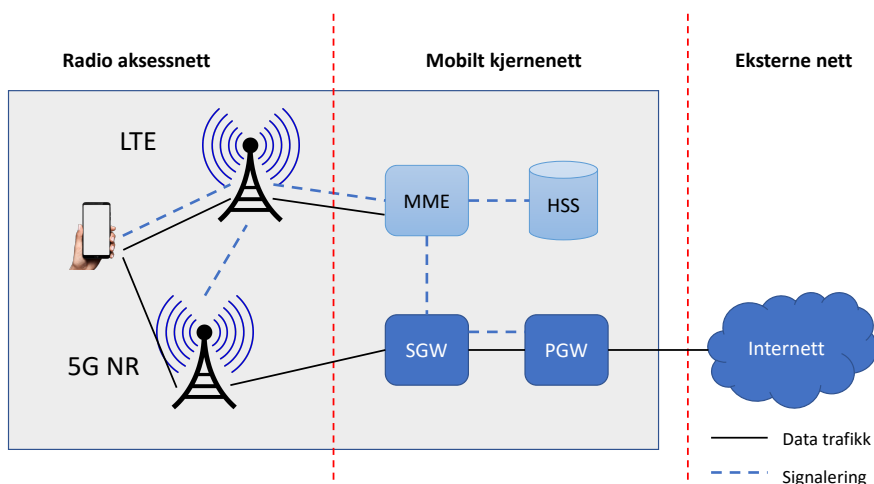
NorNet Edge omfatter også systemer for å overvåke, vedlikeholde og oppdatere målenodene, samt for å koordinere de ulike målingene som skal utføres.

7.4 Metode

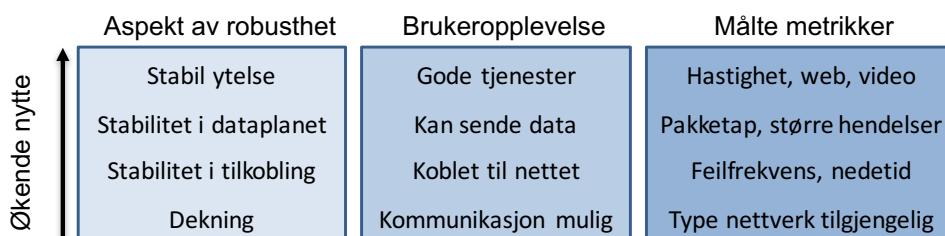
Denne rapporten undersøker den brukeropplevde robustheten og stabiliteten til norske mobilnett. Vi ser på stabilitet i tilkoblingen mellom brukerterminalen og mobilnettet, og på stabiliteten i dataforbindelsen over denne tilkoblingen. I tillegg ser vi på stabiliteten i ytelsen en bruker oppnår i mobilnettet, gjennom å måle den opplevde nedlastings- og opplastingshastigheten.

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

Figur 7.5 viser en forenklet framstilling av de viktigste komponentene i et 4G (LTE) eller 5G NSA mobilnett. Begge nettverkene består av et radio aksessnettverk og et kjernenett. Radionettet inkluderer brukerterminaler og basestasjoner (kalt henholdsvis eNodeB i 4G og gNodeB i 5G). Kjernenettet inkluderer et antall sentrale funksjoner. 4G- og 5G-nettverk er rene datanettverk, og



Figur 7.5: Hovedkomponentene i 4G (LTE) og 5G nettverk.



Figur 7.6: Rammeverk for å måle robusthet på flere nivåer.

inkluderer ikke spesielle komponenter for å produsere linjesvitsjet tale som i 3G og eldre teknologier. En viktig del av kjernenettet for våre analyser er komponenten som forbinder mobilnettet med eksterne nett (Internett). Denne enheten kalles Packet Data Network Gateway (PGW).

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 7.6. Disse er deknning, 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 deknning. 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, 4G eller 5G. I denne rapporten sier vi at vi har dekning i et område så lenge en målenode kan opprettholde en tilkobling til mobilnettet i dette området. Vi rapporterer altså ikke tekniske parametere som signalstyrke eller signal til støyforhold, men fokuserer i stedet direkte på brukeropplevelsen. Dette er i tråd med tilnærmingen i resten av denne rapporten.

Dekningen er normalt relativt stabil i et område, og endrer seg først og fremst når en mobiloperatør fjerner eller etablerer nye basestasjoner. Vårt oppsett med stasjonære målenoder er derfor ikke egnet til å måle dekning. Vi rapporterer derfor kun dekningsmålinger fra mobile målenoder, altså noder montert på tog.

Stabilitet i tilkoblingen. En stabil nettverkstilkobling er grunnlaget for en god brukeropplevelse. Med tilkobling mener vi i denne sammenhengen at det er etablert en EPS bærer i PGW og i brukerterminalen. Fra brukerens ståsted vil dette som regel bety at terminalen har en tildelt IP-adresse. Stabiliteten til tilkoblingen bestemmes av både RAN og kjernenettet. En tilknytning kan brytes på grunn av manglende dekning, feil i basestasjonen eller transmisjonsnettet, eller kapasitetsproblemer i sentrale komponenter som SGW eller 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.

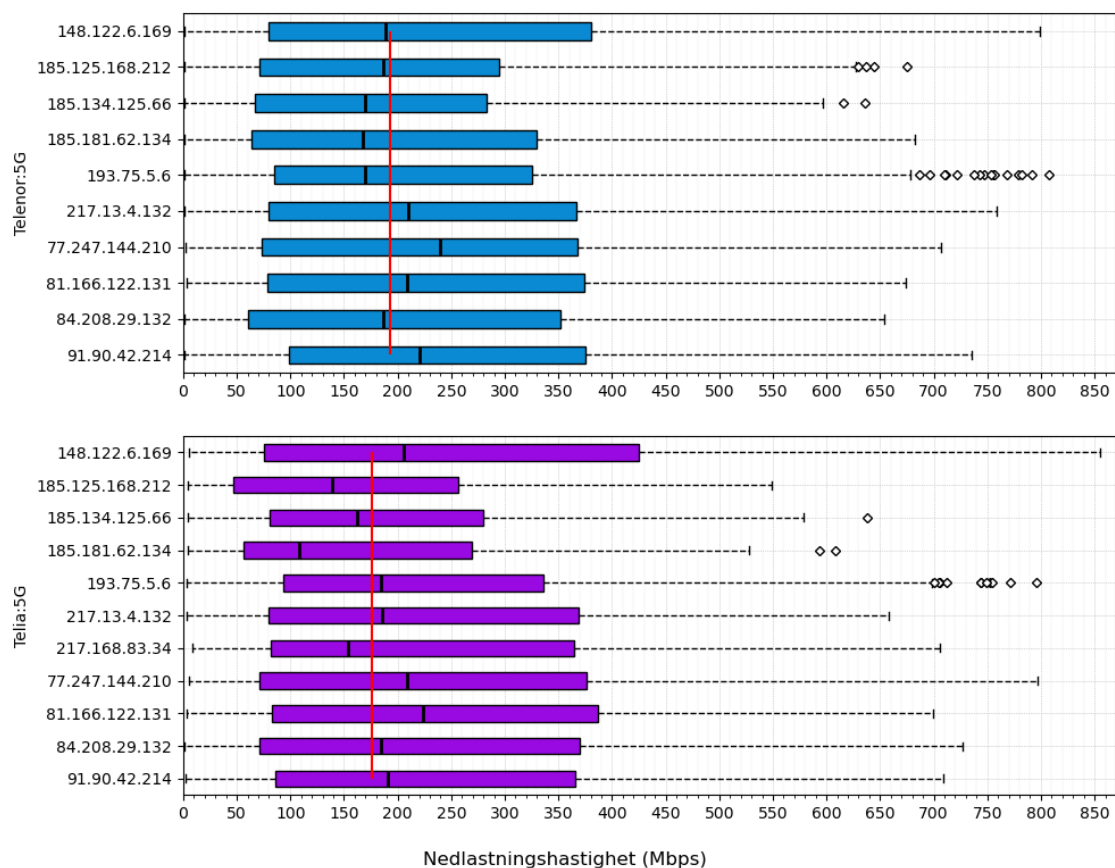
Stabil ytelse. Robusthet innebærer også en grad av stabilitet og forutsigbarhet i ytelsen til applikasjonene som kjører over det mobile bredbåndsnettet. Applikasjoner har ulike krav til nettverket. Noen applikasjoner krever høy båndbredde, andre lav forsinkelse eller lavt pakketap. I mobilnett avhenger 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. Til det formålet bruker vi klient-server infrastrukturen levert av selskapet Ookla, som spesialiserer seg på nettverksmålinger og analyse.

7.5 Ookla Speedtest

I vår analyse av ytelsen i mobile nett (kapitel 4) bruker vi Ookla Speedtest tjeneste, som har utpekt seg som en standard for dette formålet og brukes mye i hele verden. Det at tjenesten er populær betyr ikke nødvendigvis at den er formålstjenelig, og vi må stille oss spørsmål om vi kan stole på resultatene denne tjenesten gir oss. Det som er spesielt relevant for oss er om denne tjenesten av en eller annen grunn skulle favorisere noen operatører fremfor andre.

Det brede publikum bruker gjerne enten den webbaserte løsningen til Ookla³ eller deres app på mobil eller PC. Vi bruker den offisielle Ookla klienten, som installeres gjennom pakkemanager på våre Linux målenoder ("apt install speedtest"). Klienten startes med riktige parametre til angitte tider gjennom et skeduleringskript. Det utføres én måling per eksekvering. Etter utført måling, leverer klienten en JSON-fil med måledata som resultat, som prosesseres og lagres i vårt backend.

³<https://www.speedtest.net/>



Figur 7.7: Nedlastningshastighet 5G for Telenor og Telia, per Ookla-server brukt.

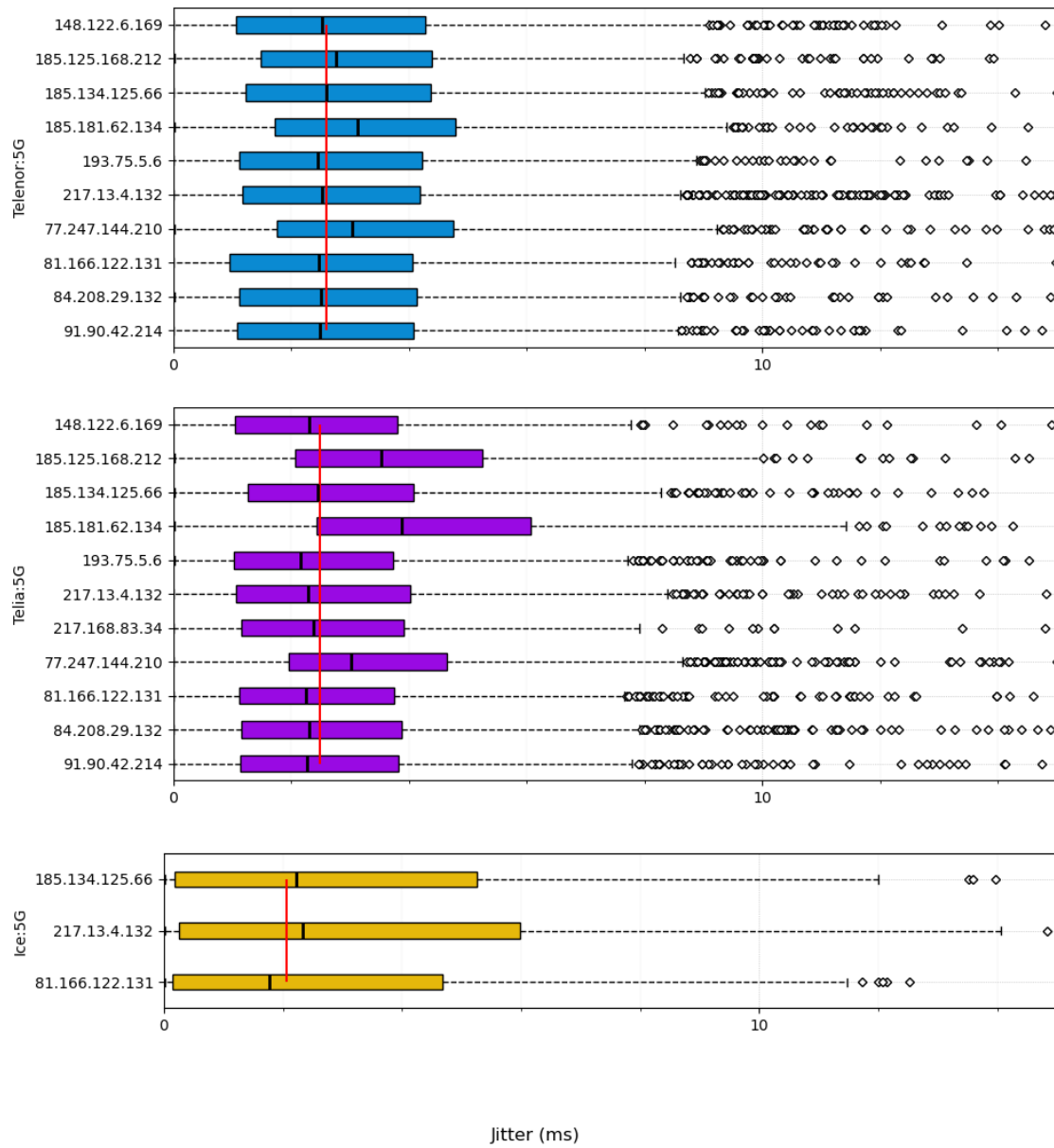
Ookla deler ikke tekniske detaljer om hvordan deres algoritme er implementert, men det er klart at server-siden informerer klienten om tilgjengelige måleservere i klientens geografiske område, der klienten selv velger den optimale måleserveren gjennom en serie med ICMP ping. Våre målenoder velger alltid servere lokalisert i Norge, og vi ser en god geografisk spredning over landet med unntak for Nordland og Finnmark⁴. Etter å ha valgt måleserver, åpnes det parallelle nedlastningssesjoner over en periode på omlag 10 sekunder, og hastigheten måles. Prosedyren gjentas for målinger av både nedlastings- og opplastningshastighet.

Ookla Speedtest-klienten som vi bruker i våre automatiserte målinger returnerer resultatet som en JSON-fil, med data som inkluderer bl.a. opplastningshastighet, nedlastningshastighet, jitter, og server IP-adresse. Det er disse verdiene vi analyserer og presenterer.

Det at Ookla resultater viser hvilken server som var brukt for den enkelte målingen, gir oss mulighet å analysere hvordan ytelsen varierer mellom forskjellige Ookla-servere, for forskjellige mobiloperatører. Vi har sett på nedlastningshastighet samt jitter for 4G og 5G. I figur 7.7 viser vi nedlastningshastigheten for 5G-målinger, og i figur 7.8 viser vi jitter for 5G-målinger. Begge er vist for mye brukte servere med 500 eller flere målinger i 2023.

Vi ser stor overlapp mellom måleverdiene for de forskjellige serverene, samt generelt bedre ytelse for Telenor, i tråd med resultatene presentert i kapittel 4. Som i 2022, ser man litt større avvik på serverne med IP adresser 185.125.168.212 og 185.181.62.134. Ved oppslag i åpne internettrutingdatabaser ser vi at begge tilhører den norske internettleverandøren Terrahost AS.

⁴Den nordligste serveren jevnlig brukt i våre målinger er lokalisert i Tromsø.



Figur 7.8: Jitter 5G for Telenor, Telia og Ice, per Ookla-server brukt.

Videre oppslag i Telia oppslagsverktøy på nett⁵ viser at Telia kommuniserer med Terrahost AS via Lyse/Altibox, nettverk nummer 29695. Vi kan ikke vite kjerneårsaken til problemet, men det kan tenke seg at nettverksforbindelsen mellom Telias mobilnett og Terrahost AS kan ha hatt kapasitetsutfordringer i måleperioden. Vår dypere analyse viser at problemet har vedvart gjennom hele året. Som en kuriositet, server 148.122.6.169 yter bedre for Telia enn for Telenor, selv om den befinner seg i Telenor sitt IP-nettverk.

Så hva sier denne analysen om hvorvidt Ookla Speedtest er egnet til formålet som plattform for ytelsesanalyse? Terrahost Speedtest-servere står for ca. 13 % av alle tester i år, og trekker Telia resultater ned. Vi avstår allikevel fra manuell korrigerings av resultatene, på grunn av komplikasjoner det kan medføre og tilsvarende risiko for selv å forårsake skjevheter i resultatene. Ookla Speedtest gir oss en praktisk måte å evaluere ytelsen, og plattformen i seg selv skiller ikke mellom nettverkene eller plattformbrukerne. Det å implementere en tilsvarende løsning selv hadde vært et stort og kostbart prosjekt, og det er ikke gitt at resultatene ville vært like eller mer troverdige. Derfor mener vi Ookla Speedtest tjener godt formålet som måleplattform for stabil ytelse i denne rapporten.

⁵Telia Looking Glass, <https://lg.telia.net/>.

