



Rapport for Kommunal- og distriktsdepartementet

Utredning – mobildekning langs riksveier



Amund Kvalbein, Harald Wium Lie, Amanda Birkeland

Mai 2022

Ref: KMD011

Innhold

1	Sammendrag	1
2	Introduksjon	3
3	Definisjon av dekningshull	5
3.1	Generelt om mobildekning	5
3.2	Definisjon av dekningshull	7
4	Metode og datagrunnlag	10
4.1	Datakilder og preprosessering	10
4.2	Kjørte veier, oppsett og målinger	13
4.3	Steg i analysen	14
5	Identifisering av dekningshull basert på målinger	16
5.1	Kalibrering av målinger i samarbeid med Nkom	16
5.2	Analyse av måledata	21
5.3	Identifisering av dekningshull	22
6	Estimater for dekningshull basert på teoretiske dekningskart	25
6.1	Metode for estimering av dekningshull	25
6.2	Beskrivelse av teoretiske dekningskart	25
6.3	Beregning av eRSRP terskel	27
6.4	Sammenligning av målte og estimerte dekningshull på kjørte riksveier	28
6.5	Estimerte dekningshull	29
7	Kostnadsestimater	32
7.1	Kostnadsanalyse for kjørte veier basert på målinger	32
7.2	Kostnadsanalyse for ukjørte veier basert på estimerte verdier	36

Vedlegg A Måleresultater per riksveg - kjørte veier

Vedlegg B Estimerte dekningshull per riksveg – kjørte veier

Vedlegg C Estimerte dekningshull per riksveg – ukjørte veier

Copyright © 2022. The information contained herein is the property of Analysys Mason and is provided on condition that it will not be reproduced, copied, lent or disclosed, directly or indirectly, nor used for any purpose other than that for which it was specifically furnished.

Analysys Mason AS

Tjuvholmen allé 19

Oslo 0252

Norway

Tel: +47 905 59 075

oslo@analysysmason.com

www.analysysmason.com

Subsidiary of Analysys Mason Limited, North West Wing, Bush House, Aldwych, London WC2B 4PJ, UK (Registered in England and Wales No. 5177472)

1 Sammendrag

Gode mobiltjenester der folk ferdes forutsetter tilstrekkelig mobildekning. Stortinget har fattet vedtak om at regjeringen skal utarbeide en plan for utbygging av mobil- og internettdækning langs eksisterende riksveier. Analysys Mason har i denne forbindelse gjennomført en utredning med mål om å danne et grunnlag for utbedringsarbeidet, gjennom å definere hva som utgjør et dekningshull langs en veistrekning, beskrive relevante metoder for å utbedre slike dekningshull, kartlegge dekningshull langs eksisterende riksveistrekninger, utarbeide kostnadsoverslag for fjerning av slike dekningshull, samt foreslå prioriteringer knyttet til gjennomføring av et utbedringsarbeid. Denne utredningen omfatter alle riksveier som ikke også er europaveier, totalt om lag 3 900 km vei.

Det er ikke trivielt å definere hva som er «god nok» mobildekning for å kunne benytte vanlige mobiltjenester som tale, meldinger og data. Dette arbeidet har hatt som utgangspunkt at det skal være mulig å benytte mobilbaserte datatjenester med god hastighet med vanlige mobiltelefoner inne i en bil. Det er usikkerhet knyttet til hvilken signalstyrke som skal kreves for å sikre at dekning ikke er den begrensende faktoren for kvalitet eller kapasitet i kommunikasjonen. Med dette som bakgrunn har vi definert tre ulike terskelverdier for «god nok dekning», og beregnet dekningshull og kostnader for å fjerne dekningshullene basert på disse. Terskelverdiene representerer den signalstyrken som typisk oppfattes av en sluttbruker, altså den signalstyrken vi forventer å måle med en normal mobiltelefon inne i en bil.

Resultatene i denne rapporten er basert på målinger av dekning langs om lag en tredjedel av alle riksveier. Målingene er foretatt med to ulike typer måleutstyr: vanlige mobiltelefoner og målenoder utviklet av forskningssenteret Simula Metropolitan Center for Digital Engineering. Måleutstyret har vært plassert inne i en personbil. For å beskrive dekning langs riksveier der vi ikke har foretatt målinger, har vi utviklet en modell for å estimere dekning basert på mobiloperatørenes teoretiske dekningskart og måledata. På denne måten har vi tatt fram estimater for dekningshull langs alle riksveier. Det er betydelig usikkerhet knyttet til disse estimatene. Resultatene er derfor lite egnet til å identifisere konkrete dekningshull langs ukjorte veier, men sier likevel noe om antall dekningshull, lengden på disse, samt forskjeller mellom riksveier.

Basert på de målte og estimerte dekningshullene har vi beskrevet strategier for å etablere tilstrekkelig dekning langs alle riksveier, og beregnet kostnader forbundet med dette. Vi har beregnet kostnader for at minst én mobiloperatør skal etablere dekning langs hver riksvei, og for at minst to mobiloperatører skal etablere slik dekning. Tabellen under viser summen av antall meter dekningshull for alle riksveier, samt beregnede kostnader for å etablere dekning. Tallene er oppgitt for tre ulike krav til minste signalstyrke. Den oppgitte lengden på veistrekninger uten dekning er et gjennomsnitt for mobiloperatørene. Alle dekningshull med en lengde på over 50 meter er inkludert.

Dekningskrav	Gjennomsnittlig strekning uten dekning	Beregnet kostnad dekning én operatør	Beregnet kostnad dekning to operatører
-105 dBm RSRP	375 km	786 millioner	1 323 millioner
-110 dBm RSRP	160 km	410 millioner	775 millioner
-115 dBm RSRP	68 km	171 millioner	333 millioner

Som vist i tabellen er valg av terskelverdi for minste signalstyrke den viktigste driveren for dekningshull og kostnader. En streng terskelverdi (-105 dBm) gir fire til fem ganger så høye kostnader som en mindre ambisiøs terskelverdi (-115 dBm). Det finnes ikke noe klart svar på hvilken terskelverdi som er den rette for alle typer anvendelser. Generelt vil en høyere (strengere) terskelverdi øke kvaliteten på kommunikasjonen, og redusere risikoen for brudd eller høy forsinkelse. Ut ifra en helhetsvurdering anser vi at en terskel på -110 dBm (som målt med en vanlig mobiltelefon inne i en bil) vil være et godt utgangspunkt å sikre gode mobiltjenester der folk ferdes.

Vi observerer at det varierer fra riksvei til riksvei hvilken mobiloperatør som har færrest og kortest dekningshull. For eksempel har Telenor flest meter med dekningshull langs riksvei 9 gjennom Setesdalen, mens Telia har flest meter langs riksvei 41 mellom Kviteseid og Kristiansand. Dersom det skal investeres offentlige midler for å bedre dekningen langs riksveier, bør innrettingen på virkemiddelbruken ta hensyn til slike forskjeller.

Det er flere kilder til usikkerhet i denne rapporten. Målingene er som forklart over foretatt med to ulike oppsett. Det er i noen tilfeller vesentlige forskjeller mellom resultatene for de to oppsettene. Vi har i beregningene forsøkt å ta hensyn til disse forskjellene, blant annet ved å sammenligne våre målinger med målinger fra kalibrert måleutstyr i samarbeid med Nkom, men det er likevel klart at valg av måleutstyr vil påvirke resultatene. Videre er estimatene for dekningshull langs riksveier der vi ikke har målinger beheftet med betydelig usikkerhet. Disse er basert på mobiloperatørenes teoretiske dekningskart, og på en antakelse om at forholdet mellom disse og den opplevde dekningen er det samme på ukjorte veier som på strekninger der vi har målinger. Det er forhold (og forskjeller) i operatørenes dekningskart som gjør at usikkerheten forbundet med dette er betydelig.

For å minske usikkerheten og gi mer presise kostnadsestimater er det særlig tre forhold som kan vurderes. For det første vil usikkerheten reduseres dersom det foretas flere målinger, slik at avhengigheten av teoretiske dekningskart og usikre forutsetninger blir mindre. For det andre kan sammenhengen mellom signalstyrke og kvaliteten på mobiltjenester undersøkes nærmere gjennom målinger og eksperimenter, for å kunne angi en passende dekningssterskel med større sikkerhet. For det tredje vil en nærmere kartlegging av dekning i tunneler redusere usikkerheten knyttet til behovet for utbedringer i disse.

2 Introduksjon

Ved behandlingen av Meld. St. 28 (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2020-2021) *Vår felles digitale grunnmur* fattet Stortinget vedtak om at regjeringen skal utarbeide en plan for utbygging av mobil- og internettdekning langs eksisterende riksveier. Planen skal spesifisere dekningshull og kostnadene for utbedring av disse.

Analysys Mason har i denne forbindelse gjennomført en utredning med mål om å danne et grunnlag for utbedringsarbeidet, gjennom å definere hva som utgjør et dekningshull langs en veistrekning, beskrive relevante metoder for å utbedre slike dekningshull, kartlegge dekningshull langs eksisterende riksveistrekninger, utarbeide kostnadsoverslag for fjerning av slike dekningshull, samt foreslå prioriteringer knyttet til gjennomføring av et utbedringsarbeid.

Før forvaltningsreformen i 2010 var det mer enn 27 000 km med riksvei i Norge, men i forbindelse med denne reformen ble de fleste riksveier som ikke var stamvei overført til fylkene. Ifølge data fra Nasjonal Vegdatabank finnes det i dag rundt 10 900 km riksvei i Norge. Av dette er rundt 7 000 km europavei, og rundt 3 900 km er riksvei som ikke også er europavei. For Sør-Norge vises sistnevnte med blå linjer på kartet under. Noen av våre mest kjente veistrekk – eksempelvis riksvei 7 over Hardangervidda – er riksvei men ikke europavei.

I forbindelse med tildelingen av frekvensressurser i 700 MHz-båndet tok Telenor på seg forpliktelser til å etablere dekning langs europaveier, samt kystveien mellom Mo i Rana og Bodø. I denne utredningen har vi derfor utelukkende undersøkt dekning langs riksvei som ikke også er europavei.

Vi har målt dekning langs 1 300 km med ren riksvei, dette utgjør ca. en tredel av riksveier som ikke også er europavei. Vi har målt dekning i bil med måleutstyr fra Rantcell og Simula, og sammenstilt måleresultatene med teoretiske dekningskart fra Ice, Telenor og Telia. Gjennom denne sammenstillingen har vi kunnet undersøke relasjonen mellom målt og teoretisk signalstyrke. Ettersom mobiloperatørenes dekningskart også omfatter veier som vi ikke har kjørt, har vi kunnet anslå omfanget av dekningshull langs alle riksveier ved å ta utgangspunkt i dekningskartene, relasjonen mellom målt og teoretisk signalstyrke og definisjonen av et dekningshull. For å kunne vurdere nøyaktigheten i målingene har vi kalibrert måleutstyr med Nkom og gjort doble målinger langs en veistrekning på 300km.



Figur 1. Kart over riksveier i Sør-Norge

Med utgangspunkt i oversikten over målte og estimerte dekningshull har vi estimert kostnader knyttet til utbedring av dekning langs riksveiene. Langs riksvei som befinner seg utenfor tunnel, har vi tatt hensyn til at mobiloperatørene kan innplassere sitt utstyr på konkurrentenes basestasjoner der det er tilgjengelig plass, og antatt at det bygges nye basestasjoner der ingen operatører har dekning i dag. Med gitt rekkevidde per basestasjon, avhenger antall nye basestasjoner av lengden på dekningshullene. Tunneler er klassifisert basert på lengde, hvor lengre tunneler har en høyere utbyggingskostnad enn kortere tunneler.

Resten av denne rapporten er strukturert som følger:

- Kapittel 3 definerer et dekningshull og diskuterer hva som ligger til grunn for denne definisjonen
- Kapittel 4 presenterer datakildene som vi har benyttet i utredningen, samt en oversikt over de ulike stegene i analysen
- Kapittel 5 diskuterer kvalitet og usikkerhet knyttet til måleresultatene, og presenterer dekningshull langs veistrekningene som vi har kjørt
- Kapittel 6 beskriver hvordan vi har benyttet de teoretiske dekningskartene for å estimere dekning langs ukjørt riksveier, og presenterer resultatene fra analysen
- Kapittel 7 presenterer estimerte kostnader for å etablere mobildekning der denne mangler

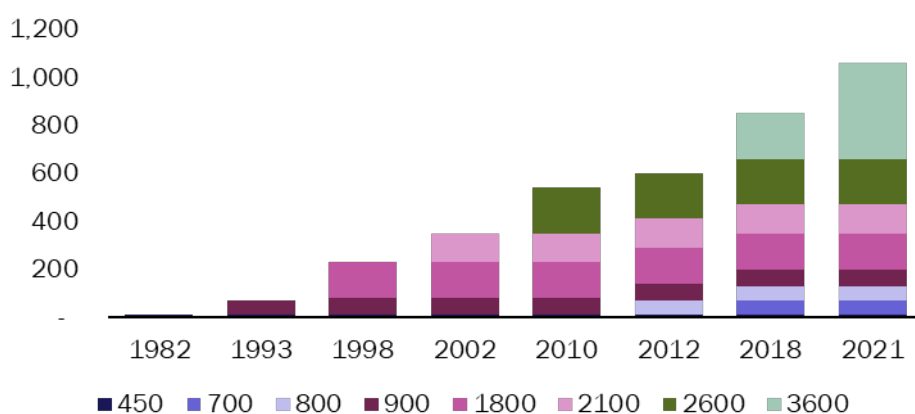
3 Definisjon av dekningshull

Dette kapitlet drøfter hva et dekningshull er og hvilke kriterier som legges til grunn for å måle dekningshull.

3.1 Generelt om mobildekning

En sluttbruker skaffer seg tilgang til mobilnett gjennom en brukerterminal. Den vanligste formen for brukerterminal er en mobiltelefon. Brukerterminaler i et mobilnett kan aksessere tjenester (som mobil tale, meldingstjenester og internettaksess) ved å koble seg til sendestasjoner, ofte kalt «basestasjoner» i mobilnettet. Kommunikasjon forutsetter at det er tilstrekkelig dekning i området det brukerterminalen befinner seg.

Mobiloperatører etablerer dekning ved å montere utstyr som sender radiosignaler i ulike frekvensbånd. Som regel er dette frekvensbånd som de har en eksklusiv rett til å benytte. I Norge og mange andre land ble 450 MHz-båndet og 900 MHz-båndet tidlig tatt i bruk for mobilkommunikasjon – derav betegnelsene «NMT 450» og «GSM 900». Med teknologisk utvikling og stadig større etterspørsel etter mobiltjenester har nye frekvensbånd blitt tatt i bruk. Norske myndigheter har støttet opp om denne utviklingen ved å allokere stadig mer radiospektrum til mobilnett. Figur 2 viser at per 2021 var det nesten 1100 MHz tilgjengelig for mobiloperatører – mer enn en tredobling siden 2002.



Figur 2. Spektrum tildelt norske mobiloperatører over tid. Kilde: Analysys Mason

Denne utviklingen har ført til at mobiloperatører ofte etablerer dekning ved hjelp av flere frekvensbånd på samme sendestasjon. På denne måten kan hver sendestasjon levere mer kapasitet og betjene flere brukere på samme tid. Moderne mobiltelefoner kan være koblet til flere frekvensbånd samtidig. Hvilke og hvor mange frekvensbånd en brukerterminal er koblet til, styres av mobilnettet. Vanligvis vil mobilnett søke å kommunisere med brukerterminaler i frekvensbånd med høy kapasitet. Som det fremgår av Figur 2 er dette ofte frekvensbånd over 1 GHz. Mens høyere

frekvensbånd har mer kapasitet (høyere båndbredde), har lave frekvensbånd lengre rekkevidde. Disse benyttes derfor til å etablere god flatedekning.

Mobildekning uttrykkes normalt ved «Reference Signal Received Power» (RSRP), som representerer signalstyrke i et LTE-nett. RSRP uttrykkes i desibel-milliwatt (dBm), som uttrykker signalstyrken med referanse til én milliwatt. Rapporterte verdier for RSRP i våre målinger ligger mellom -44 dBm (veldig god dekning, nær en basestasjon) og -140dBm (veldig dårlig dekning, grensen for hva vårt utstyr kan registrere). Merk at kvaliteten på en radioforbindelse ikke bare avhenger av signalstyrken, men også av forstyrrelser (interferens) i det aktuelle frekvensbåndet. Slik støy er bakt inn i «Reference Signal Received Quality» (RSRQ), som er en annen referansestørrelse som benyttes når brukerterminaler skal opprette en forbindelse til en sendestasjon.

Selv om en brukerterminal kan benytte flere frekvensbånd samtidig for å øke kapasiteten, vil det alltid være ett *ankerbånd* som benyttes til signalering og annen kontrolltrafikk. Når vi i dette arbeidet måler mobildekning, er det signalstyrken i dette ankerbåndet vi måler. En konsekvens av diskusjonen over er at ankerbåndet som en brukerterminal er koblet til, ikke alltid er frekvensbåndet som har høyest signalstyrke. Så lenge signalstyrken er tilstrekkelig høy i et frekvensbånd med høy kapasitet, vil mobilnettet prioritere dette. Vi vil derfor ofte måle en signalstyrke som er lavere enn den høyeste tilgjengelige signalstyrken på en gitt lokasjon. Dette vil imidlertid ikke være tilfelle i områder med marginal dekning.

Figur 3 illustrerer en situasjon der en brukerterminal er koblet til en sendestasjon som bruker to frekvenser: 1800 MHz-båndet med signalstyrke -95dBm (målt på utsiden av bilen) og 800 MHz-båndet med signalstyrke -88dBm på utsiden av bilen. Selv om 800MHz-båndet har sterkere signal enn 1800MHz-båndet er mobilen koblet til 1800 MHz-båndet siden mobilnettet foretrekker at frekvensbåndet med høyest kapasitet brukes så lenge det er mulig.

Figur 3 illustrerer også at signalstyrken inne i bilen (-102 dBm) er lavere enn signalstyrke på utsiden av bilen (-95 dBm). Signalstyrken reduseres når det møter hindringer som husvegger eller bilens karosseri. Bruk av utendørs antenne er en effektiv måte å få bedre dekning på, og slike antenner er vanlige i såkalte FTB-tjenester som er en fast bredbåndsforbindelse levert via mobilnett. De fleste biler har en utendørs antenne for bilens eget kommunikasjonssystem, men dette benyttes ikke av mobiltelefoner i en bil.



Figur 3. Frekvensbånd, demping og dekning

3.2 Definisjon av dekningshull

KDD har oppgitt at *det legges til grunn at "dekning" innebærer "normal signaltilgang til mobilnett", der de "vanlige mobiltjenestene" inklusive mobilt bredbånd, er tilgjengelige*. For å gjennomføre en kartlegging må dette oversettes til en konkret terskelverdi som bestemmer hvor sterkt signal (hvor høy RSRP) som skal kreves.

Bruksscenario og forutsetninger

Vi legger i dette prosjektet til grunn at de «vanlige mobiltjenestene» skal være tilgjengelige fra en normal brukerterminal inne i en bil. Våre målinger er derfor gjort med vanlige mobiltelefoner plassert inne i en bil. Vi har benyttet Samsung Galaxy S22 mobiltelefoner – en for hver mobiloperatør – og plassert disse over instrumentpanelet i en Tesla Model 3. Apple selger flere mobiltelefoner i Norge enn Samsung. Apple begrenser imidlertid hvilken dekningsinformasjon som det er mulig å lese ut fra deres mobiler, noe som gjør deres utstyr mindre egnet for vårt formål. I 2021 var Tesla Model 3 den mest solgte bilen i Norge.

I tillegg til de tre mobiltelefonene har vi også målt dekning med utstyr fra Simula Metropolitan Center for Digital Engineering som ble plassert på hattehyllen i bilens baksete. I motsetning til Samsung-telefonene har Simula-utstyret en ekstern antenne som gjør at Simula-utstyret generelt måler en høyere signalstyrke enn telefonene fra Samsung.

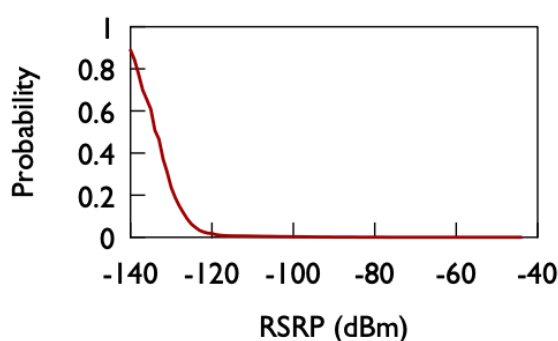
Videre er målet å definere et signalstyrkenivå som muliggjør bruk av data med god kapasitet. Hastighet vil også avhenge av andre faktorer, som tilgjengelig båndbredde, antall samtidige brukere koblet til en basestasjon og eventuelle støykilder som påvirker signalkvaliteten. Målet i denne sammenhengen er å bestemme et signalnivå som gjør at signalstyrken normalt ikke er den begrensende faktoren for hvilke tjenester som kan benyttes.

Terskelverdi for dekningshull

Det er krevende å angi en konkret grense for hva som er «god nok» signalstyrke i et LTE nettverk. Det virker å være bred enighet om at en RSRP-verdi på over -100 dBm vil være tilstrekkelig for å ha en stabil tilkobling til mobilnettet og kunne benytte de fleste tjenester med god kvalitet. I

dekningskartene som norske mobiloperatører publiserer på sine nettsider, benyttes tre ulike terskelverdier når de skal beskrive dekning. Disse verdiene er -110 dBm («Basis dekning»), -100 dBm («God dekning») og -90 dBm («Meget god dekning»).

En brukerterminal kan normalt opprettholde en tilkobling til mobilnettet selv om signalstyrken faller langt under disse verdiene. Figur 4, som er hentet fra en studie av et mobilnett med to millioner brukere og 14 000 sendestasjoner utført av forskere ved Universitetet i Berkeley, viser at sannsynligheten for at en mobiltelefon skal miste tilkoblingen til mobilnettet er lav så lenge RSRP er over -120 dBm, men at den øker raskt når RSRP faller under denne verdien¹. Det er imidlertid ikke gitt at det er mulig å benytte tjenester som telefoni og mobildata med anstendig hastighet selv om en brukerterminal klarer å opprettholde tilkoblingen til nettet. En terskelverdi for "normal signaltilgang til mobilnett" bør derfor ligge høyere enn dette.



Figur 4. Sammenheng mellom signalstyrke og brudd i tilkobling til mobilnettet.

I forbindelse med målingene av signalstyrke beskrevet i denne rapporten har vi også aktivt sendt måletrafikk gjennom mobilnettene i form av enkle «ping» meldinger². Dette gir oss mulighet til å observere hvordan opplevd pakketap henger sammen med den målte signalstyrken. Høyt pakketap er en indikator på at kvaliteten på forbindelsen er for dårlig. Dersom pakketapet stiger til et nivå på flere prosent vil dette raskt påvirke den opplevde tjenestekvaliteten i form av lavere hastigheter.

RSRP (dBm)	Operatør 1	Operatør 2	Operatør 3
[- , -100)	0,4%	0,7%	0,6%
[-100, -105)	0,4%	0,7%	0,8%
[-105, -110)	2,4%	1,1%	1,2%
[-110, -115)	0,6%	3,7%	5,0%
[-115, -120)	14,1%	36,5%	47,4%
[-120, -125)	2,0%	38,0%	14,4%
[-125, -)	35,6%	22,9%	51,1%

¹ Kilde: Iyer, Li and Stoica. Automating Diagnosis of Cellular Radio Access Network Problems, MobiCom 2017

² Ping er en liten datapakke som sendes fra en klient til en mottaker som umiddelbart sender en tilsvarende datapakke i retur. Slike brukes ofte for å teste nåbarhet, forsinkelse og pakketap

Tabell 1 viser pakketap for ulike nett og for ulike målte RSRP-verdier. Tabellen viser at for lave RSRP er pakketapet høyere. Selv om det er grunn til å tolke disse tallene med noe varsomhet, indikerer de et økende pakketap for RSRP-verdier under -105 dBm, og svært høyt pakketap for RSRP under -115 dBm.

RSRP (dBm)	Operatør 1	Operatør 2	Operatør 3
[- , -100)	0,4%	0,7%	0,6%
[-100, -105)	0,4%	0,7%	0,8%
[-105, -110)	2,4%	1,1%	1,2%
[-110, -115)	0,6%	3,7%	5,0%
[-115, -120)	14,1%	36,5%	47,4%
[-120, -125)	2,0%	38,0%	14,4%
[-125, -)	35,6%	22,9%	51,1%

Tabell 1. Målt pakketap med Simula-utstyr. Kilde: Analysys Mason

Definisjon av dekningshull

Med dekningshull forstår vi en veistrekning der opplevd signalstyrke, målt som RSRP, er lavere enn en gitt terskelverdi som målt med en vanlig mobiltelefon inne i en vanlig bil. Basert på diskusjonen over har vi valgt å gjennomføre analysen i dette arbeidet med tre ulike terskelverdier:

- -105 dBm
- -110 dBm
- -115 dBm

I tillegg til terskelverdien for signalstyrke, ser vi også på ulike terskelverdier for hvor korte dekningshull vi inkluderer i analysen. Korte dekningshull vil normalt ikke skape store problemer i en bil i bevegelse, men kan være problematiske ved stans. En lav terskelverdi vil øke antall dekningshull. Gjennom rapporten ser vi i ulike sammenhenger på 20, 50 og 100 meter som nedre grense for lengden på et dekningshull.

Avgrensninger

De fleste norske riksveier har tunneler, og mange riksveier inneholder en eller flere fergestrekninger. I tunneler har vi målt dekning i tunnelen, mens operatørenes dekningskart viser dekning i terrenget over tunnelen. Dette gjør det vanskelig å estimere dekning i tunneler på ukjorte veier.

Noen riksveier, særlig riksvei 80 i Nordland fylke, inneholder lange fergestrekk over åpent hav. Slike strekk er ekskludert fra analysen siden etablering av mobildekning på disse strekningene trolig må løses på særskilt måte.

4 Metode og datagrunnlag

Vi har brukt flere datakilder i kartleggingen av dekningshull langs riksveiene. Som beskrevet i forrige kapittel har vi målt dekning med Rantcell og Simula. I tillegg har vi brukt måledata fra Nkom for å kalibrere vårt måleutstyr. For å kunne plassere måledataene langs riksveiene har vi brukt kart over alle riksveier i Norge. For å kunne identifisere dekningshull langs riksveiene der vi ikke har målinger, har vi studert sammenhengen mellom operatørenes dekningskart og våre egne målinger.

I dette kapittelet gir vi en nærmere beskrivelse av de ulike datakildene vi har brukt i utredningen vår, dette inkluderer en oversikt over hvilke riksveier vi har kjørt. Vi presenterer også en oppsummering av stegene i analyseprosessen.

4.1 Datakilder og preprosessering

4.1.1 Rantcell

Rantcell er programvare for å måle signalstyrke, overføringshastighet, forsinkelse, tale- og SMS-forbindelser i mobilnettverk, fra sluttbrukers perspektiv.³ Rantcell installeres på smarttelefoner som gjennomfører målinger og overfører måledata til en skybasert tjeneste. Vi har gjennomført målinger av signalstyrke, hastighet og forsinkelse med tre Samsung Galaxy S22 håndsett, ett for hver mobiloperatør. Rantcell måler signalstyrke en gang i sekundet, og bruker mobiltelefonens lokasjonstjenester til å angi koordinater for hver måling

4.1.2 Simula

Simula Metropolitan Center for Digital Engineering har utviklet egne målenoder (her omtalt som simulabokser) for sine målinger av dekning, ytelse og robusthet i norske mobilnett.⁴ Dette er små datamaskiner med integrerte 4G-modemer som kan gjøre samtidige målinger av alle tre mobilnett. For våre målinger har vi benyttet en spesialtilpasset versjon av simulaboksene som opererer på 12V strømforsyning, og som er utstyrt med GPS-mottaker for å logge posisjon på målingene.

I motsetning til smarttelefoner har simulaboksen eksterne antenner. I tillegg til måling av signalstyrke kan flere andre variabler måles. Vi har gjennomført enkle tester (ping) for å teste at det faktisk er mulig å benytte mobildata i områder med oppgitt dekning, og for å undersøke sammenhengen mellom signalstyrke og pakkeoverføring.

³ <https://rantcell.com>

⁴ https://www.simula.no/sites/default/files/norske_mobilnett_i_2020.pdf

Resultatene fra målingene overføres til Simulas sentrale dekningsserver. Der har vi gjort nødvendig prosessering av data og produsert dekningskart per operatør som vi har sammenstilt med operatørenes teoretiske dekningskart.

4.1.3 Nkom-målinger

Verken Simulaboksen eller Rantcellmobilene har vært koblet til en utendørs (takmontert) antenne, og vi har heller ikke detaljert kunnskap om egenskapene til antenner eller mottakerutstyr. Det finnes enkelte begrensninger sammenlignet med målinger fra dedikerte målebiler med utendørs antenne:

- Simulaboksene og mobiltelefonene vi har brukt med Rantcell, støtter alle frekvensbånd som benyttes for 4G av norske mobiloperatører, men måleutstyret vårt måler kun dekning i det båndet som mobilnettet allokterer til terminalen.
- Siden vi har målt dekning inne i bil, er signalene svakere enn signalet som vi ville fått i friluft. Den målte dekningen gjenspeiler den opplevde dekningen for en bruker i en Tesla Model 3. En annen bilmodell kan i teorien ha andre dempningsegenskaper enn vår.

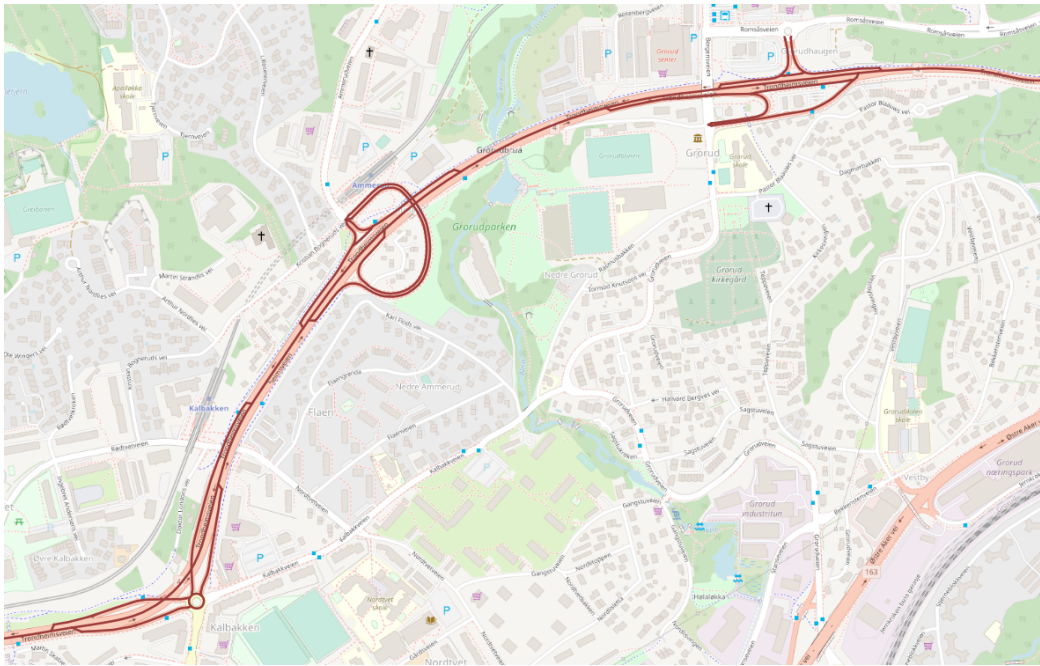
For å forstå eventuelle avvik mellom våre målinger og målinger foretatt med mer avansert måleutstyr, har vi samarbeidet med Nkom om å gjøre kontrollerte målinger med deres måleutstyr. Vi har brukt resultatene fra disse målingen til å gjøre enkelte justeringer analysen. Kapittel 5.1 beskriver dette i mer detalj.

4.1.4 Veidata

Vi har tatt utgangspunkt i data fra Nasjonal Vegdatabank som tilbyr detaljerte kart på egnet format over alle riksveier.

Riksveiene er ikke bare kontinuerlige linjer med ett kjørefelt, men består av avkjørsler, veikryss, rundkjøringer, broer, veilommer og flere kjørefelt. Dette illustreres i Figur 5, som viser riksvei 4 gjennom Grorud i Oslo.

Når vi har målt dekning langs riksveiene, har vi kjørt mest mulig kontinuerlig og i en retning. Vi har altså ikke målt dekning på broer som krysser riksvei, i avkjørsler osv. Dette er praktisk, fordi det har gitt oss måledata for unike veistrekninger raskere, og fordi det har gjort det mulig å uttrykke lokasjon i form av en verdi som angir «antall meter fra start av en vei».



Figur 5. Riksvei 4 før prosessering

Før vi har kombinert veidata med måledata, har vi derfor rensket riksveiene til de utelukkende består av senterlinjer. Figur 6 viser hvordan riksvei 4 gjennom Grorud ser ut etter denne prosessen.



Figur 6. Riksvei 4 etter prosessering

Ettersom veidata representerer lokasjoner langs riksveiene i form av koordinater har vi også i denne prosesseringen oversatt koordinater til meterlokasjoner i form av «antall meter fra starten av

riksvei». Dette har tillatt oss å presentere lokasjonen til dekningshull på en mer intuitiv måte, samt gjort det enklere å måle antall meter med dekningshull.

4.1.5 Dekningskart

Analysen er basert på dekningskart fra de tre mobiloperatørene Telenor, Telia og Ice. Operatørene benytter ulike dataformater på sine kart. I tillegg er det noe variasjon på oppløsningen til kartene, hvor Telenor har en oppløsning på 90x90 meter, mens Ice og Telia har en oppløsning på 100x100 meter.

Telenor og Ice sine dekningskart presenterer teoretiske verdier for signalstyrke fra det «beste» frekvensbåndet (det frekvensbåndet som gir høyest RSRP), mens Telia har gitt oss dekningskart for hvert frekvensbånd individuelt. Dette har gitt oss mulighet til å verifisere samsvar mellom teoretisk dekning og målt dekning på en mer nøyaktig måte, som omtalt i kapittel 5.1.

Ice sitt dekningskart dokumenterer operatørens egen dekning. Ice har imidlertid også en avtale med Telia om nasjonal gjesting. På denne måten er Ice sin målte dekning noen ganger bedre enn hva deres dekningskart tilsier siden terminalen er tilknyttet Telia sitt mobilnett selv om den har et Ice abonnement.

4.2 Kjørte veier, oppsett og målinger

Tabell 2 viser en oversikt over veiene hvor vi har foretatt målinger. Til sammen har vi kjørt rundt 1 300 km med ren riksvei som utgjør ca. en tredel av alle riksveier som ikke også er europavei.

Riksvei	Lengde (km)	Kjørt (km)
2	131	97
4	140	137
7	276	114
9	236	236
13	424	108
22	120	114
25	116	32
35	53	21
36	92	77
41	174	174
52	79	79
110	22	22
150	15	15
159	11	11
162	11	5

Riksvei	Lengde (km)	Kjørt (km)
163	11	11
350	53	53
SUM	1964	1306

Tabell 2. Kjørte riksveier

De tre mobiltelefonene plasserte vi over instrumentpanelet i bilen, og simulaboksene plasserte vi ved bakvinduet. Disse plasseringene gjorde måleutstyret mer mottakelig for signaler enn om vi for eksempel hadde plassert det på gulvet i baksetet. I motsetning til Samsung-mobilene hadde Simula-utstyret en ekstern antenne som gjorde at Simula-målingene generelt viser noe høyere RSRP-verdier enn Samsung-målingene.

4.3 Steg i analysen

Prosessen med å identifisere dekningshull langs riksveiene og å beregne kostnadene ved utbedring av disse, består av flere steg, som illustrert i Figur 7.

- **Steg 0** behandler riksveidata fra Statens Vegvesen. I dette steget renser vi veiene for veikryss, avkjørsler, rundkjøringer og lignende slik at veidataene til slutt består av senterlinjen til riksveiene og informasjon om hvilke veistrekninger som går gjennom tunnel. I tillegg oversetter vi koordinater til meter, slik at vi senere kan vite hvor mange meter fra starten av riksvei et målepunkt befinner seg, samt enkelt måle lengden til dekningshull.
- **Steg 1** tar for seg måledata fra Rantcell og Simula. Vi kombinerer måledata med veidata fra Steg 0, og fordeler målepunktene langs senterlinjene til riksveiene.
- **Steg 2** sammenstiller måledata med de teoretiske dekningskartene fra mobiloperatørene. Vi finner med andre ord tilhørende teoretiske verdi på signalstyrke for hvert målepunkt for hver operatør.
- **Steg 3.1** identifiserer dekningshull langs riksveiene hvor vi har målinger. Analysen inkluderer målinger som vi har gjort sammen med Nkom for å kalibrere måleutstyr, og tar dermed hensyn til eventuelle svakheter ved vårt måleoppsett.
- **Steg 3.2** omfatter identifisering av dekningshull langs de ukjorte riksveiene. Her undersøker vi sammenhengen mellom målt og teoretisk signalstyrke for å estimere dekning langs *alle* riksveier, også de vi ikke har kjørt. Resultatet fra analysen er en oversikt over dekningshull langs riksveiene.
- **Steg 4** består av kostnadsberegninger knyttet til utbedring av dekningshull langs riksveiene. Her estimeres antall nye sendestasjoner og innplasseringer som er nødvendig for å sikre full dekning med ulike krav til signalstyrke og lengde på minste dekningshull.

	Input	Prosessering	Output
Steg 0 Preppe veger	Detaljert vegdata	Finne senterlinje til riksveger, regne meteravstand og merke tunneler	Renset vegdata
Steg 1 Rense måledata	Output fra Steg 0 + Måledata fra RantCell og Simula	Fordele målepunkter jevnt over riksvegene	Vegdata med overlappende målepunkter
Steg 2 Inkludere teoretiske data	Output fra Steg 1 + Dekningskart fra operatørene	Finne teoretisk signalstyrke for hvert målepunkt	Vegdata med overlappende målepunkter og teoretisk dekning
Steg 3.1 Dekningshull basert på målinger	Output fra Steg 2 + Data fra målinger med Nkom	Analysere måledata og identifisere dekningshull langs kjørte riksveier	Liste med dekningshull langs kjørte veger
Steg 3.2 Dekningshull basert på dekningskart	Output fra Steg 2 + Måledata fra RantCell og Simula	Definere forholdet mellom målt og teoretisk signalstyrke, og predikere dekningshull langs ukjorte	Endelig liste med dekningshull over alle veger
Steg 4 Kostnadsanalyse	Output fra Steg 3 + Kostnader	Beregne kostnader knyttet til utbedring av dekning der det mangler langs riksvei, inni og utenfor tunnel	Kostnads-estimer for utbedring av dekningshull

Figur 8. Oversikt over stegene i analysen

5 Identifisering av dekningshull basert på målinger

Dette kapitlet drøfter hvordan dekningshull er identifisert langs riksveier hvor dekningsmålinger er gjennomført.

5.1 Kalibrering av målinger i samarbeid med Nkom

Som diskutert i kapittel 3 er våre målinger gjennomført av terminaler som er plassert inne i en bil. En slik rigg har både styrker og svakheter. En viktig fordel er at et slikt oppsett samsvarer med måten de fleste bilister bruker mobilen langs norske riksveier. Samtidig er det større usikkerhet knyttet til hvor generelle våre målinger er sammenliknet med mer kontrollerte målinger.

Vi brukte derfor en dag sammen med fagfolk hos Nkom hvor vi kjørte i kolonne med vårt måleoppsett oppsett og en Nkom målebil i Akershus og Østfold. Målet var å forstå muligheter og begrensninger i vårt måleoppsett. Særlig ville vi forstå effekt av ulikt måleutstyr og dempning i karosseri for å studere forskjeller utendørs dekning og opplevd dekning inne i en bil.

5.1.1 Måleoppsett og begrensninger

Det er flere forskjeller på Nkoms måleoppsett og vårt måleoppsett. Nkom sin målebil har montert ekstern antenne som Nkom har detaljert kunnskap om. I tillegg gjør Nkom passive målinger i alle frekvensbånd hos hver operatør, mens vi har en aktiv tilkobling til det frekvensbåndet som mobilnettet velger.

Figur 7 viser den felles kjøreturen som vi hadde sammen med Nkom. Ruten består av veier av ulik karakter, og kartet viser at vi opplevde både gode (vist med rødt) og relativt dårlige (vist med grått) dekningsforhold. I tillegg til dekningsmålinger gjennomførte vi ulike tester med tale- og videosamband.



Figur 7. Kart over strekninger som er målt samtidig av Nkom og Analysys Mason

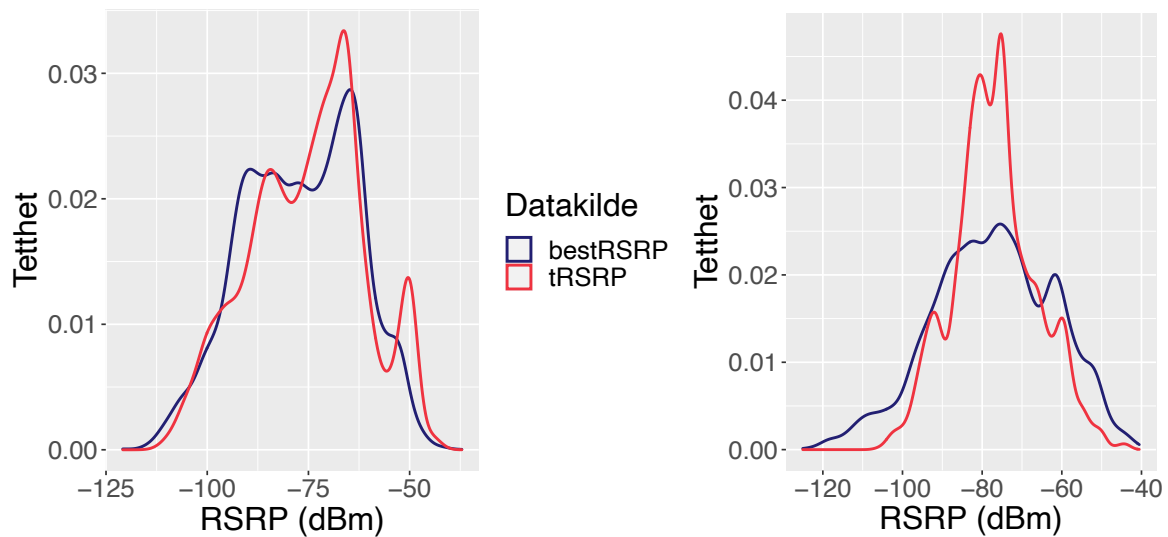
5.1.2 Sammenligning av Nkom målinger og teoretiske dekningskart

Figur 8 sammenlikner resultater fra Nkom sine målinger med Telias og Telenors dekningskart. For hver operatør viser grafene tre typer av resultater:

- tRSRP er verdi fra operatørenes dekningskart (beste dekning)
- bestRSRP er dekningen Nkom måler i beste frekvensbånd
- nRSRP er dekningen Nkom måler i det båndet vår måletelefon koblet seg til

For Telenor (venstre graf) er det godt samsvar mellom operatørens dekningskart og Nkom sin måling av dekningsstyrke i det beste frekvensbåndet. Vi ser også at dekningen i båndet som AM's telefon var koblet til er jevnt noe lavere enn dekning i beste bånd.

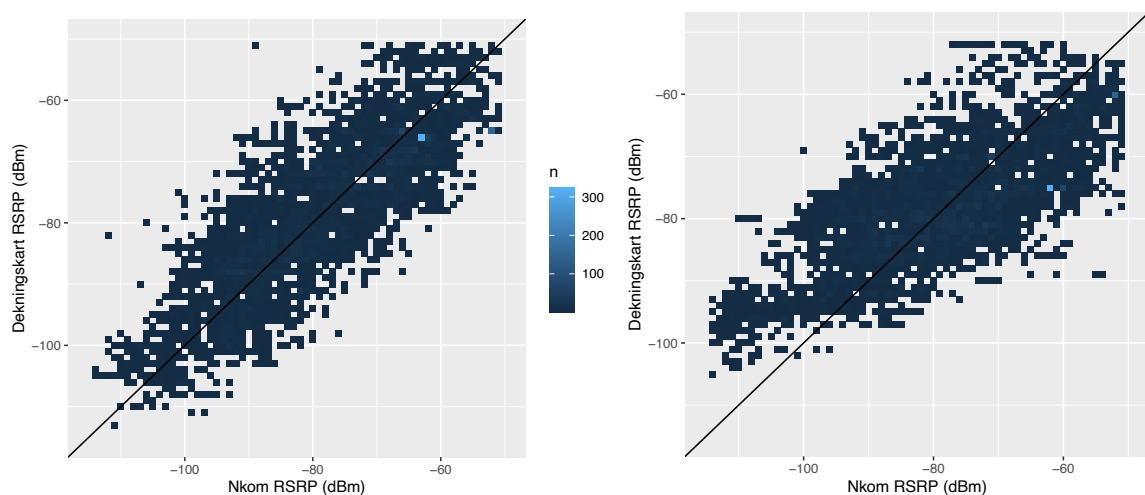
Det er noe større variasjoner mellom Telias dekningskart og målt dekning. Det teoretiske dekningskartet (tRSRP) har et stort antall målepunkter på rundt -80 dBm, mens Nkoms måling i beste bånd (bestRSRP) viser en større variasjon: I mange tilfeller har Nkom målt bedre dekning hos Telia enn hva operatøren viser i sitt dekningskart, men det motsatte er også tilfelle i noen grad. I likhet med Telenor er signalstyrken i det båndet vår telefon er koblet til (nRSRP) konsistent noe lavere enn dekning i beste bånd.



Figur 8 Dekning for dekningskart og Nkom målinger for Telenor (venstre) og Telia (høyre).

Figur 9 viser en punkt-for-punkt sammenlikning av beste Nkom-måling med teoretisk signalstyrke fra operatørenes dekningskart. Denne framstillingen gir et inntrykk av forskjeller mellom målt (Nkom) og teoretisk (dekningskart) signalstyrke i hvert enkelt målepunkt. Dersom det var perfekt samsvar mellom teori og målinger, ville alle punktene ligge langs den markerte linjen hvor $x=y$. Større spredning av punktene viser større tilfeldige avvik mellom teori og måling.

Vi observerer at punktene i Telenor-grafen er mer samlet langs $x=y$ enn punktene i Telia-grafen. Dette viser at Telenors dekningskart samsvarer med Nkoms målinger i større grad enn for Telia. Merk særlig at Telias dekningskart har få RSRP-verdier under -100 dBm, mens Nkom måler en god del slike verdier.



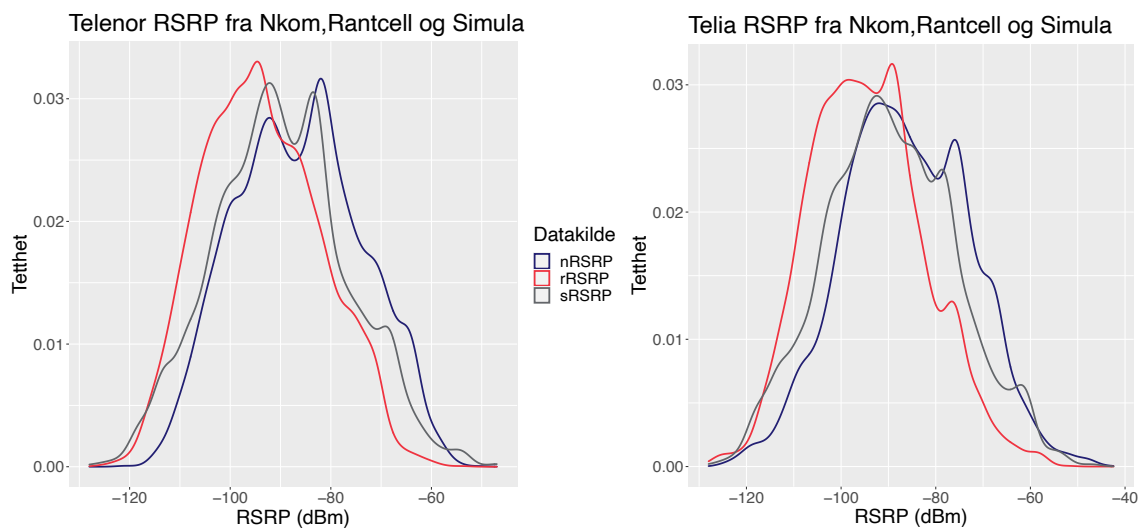
Figur 9 Punktvis sammenlikning av beste dekning målt av Nkom og teoretisk dekning for Telenor (venstre) og Telia (høyre).

5.1.3 Sammenligning av Nkom målinger og Rantcell/ Simula målinger

Figur 10 sammenlikner dekningsstyrke fra tre datakilder:

- rRSRP er målinger fra Rantcell
- nRSRP er målinger fra Nkom i det samme frekvensbåndet som Rantcell
- sRSRP er målinger fra Simulaboksen (som i teorien kan være et annet frekvensbånd)

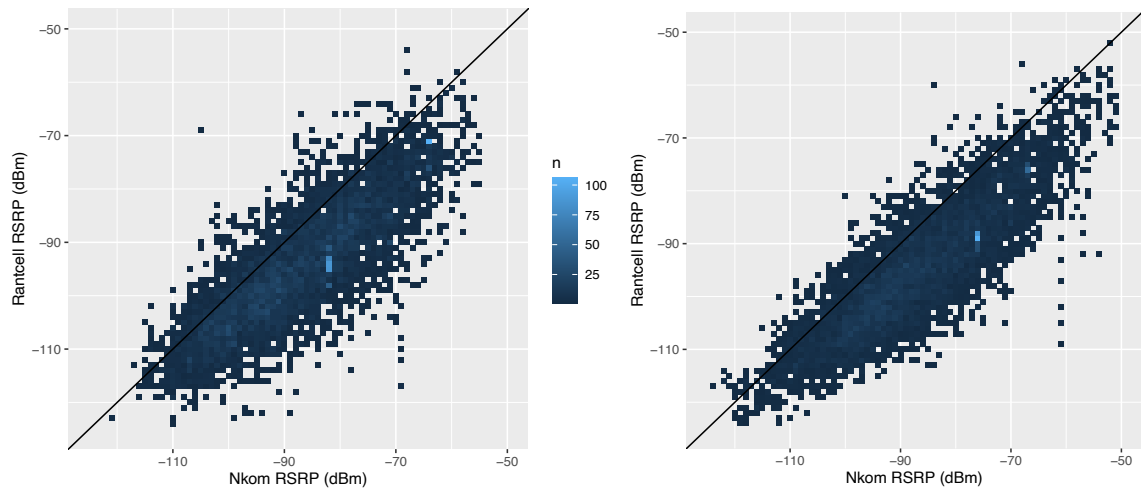
For begge operatørene viser figuren at Nkom måler best dekning, Rantcell måler dårligst dekning og Simula ligger ofte et sted mellom de andre. Dette er forventet siden Nkom måler med utendørs antenne, Simula måler med ekstern antenne inne i bilen og Rantcell bruker kun mobilens innebygde antenne.



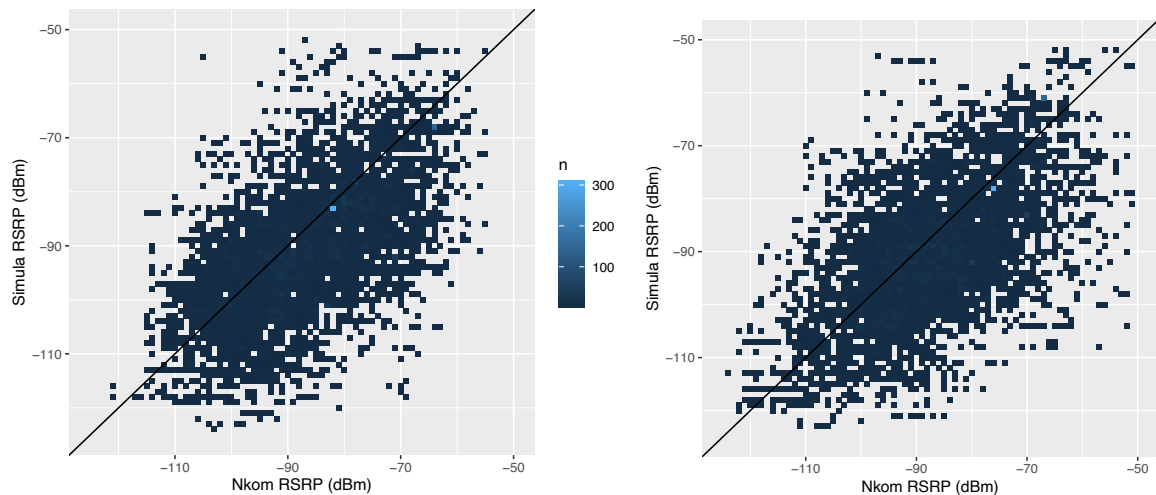
Figur 10 Dekningsstyrke målt av Nkom, Rantcell og Simula for Telenor (venstre) og Telia (høyre).

Figur 11 viser en punkt-for-punkt sammenlikning av Nkom-måling med Rantcell-målinger. Det er høy grad av samsvar mellom Nkom og Rantcell, men Rantcell måler gjennomgående noe lavere signalstyrke enn Nkom.

I Figur 12 er Rantcell byttet ut med Simula. Her det noe større variasjon i måledata, men det er klart at Simula-målingene i hovedsak måler noe lavere dekning enn Nkom. Dette er konsistent med data fra Figur 10.



Figur 11 Punktvis sammenligning målt av Nkom og Rantcell for Telenor (venstre) og Telia (høyre).



Figur 12 Punktvis sammenligning målt av Nkom og Simula for Telenor (venstre) og Telia (høyre).

5.1.4 Diskusjon

Det er relativt godt samsvar mellom Telenors dekningskart og Nkoms målinger, mens det er noe dårligere samsvar i Telia sitt tilfelle. Dette kan skyldes forhold ved Telias dekningsmodell.

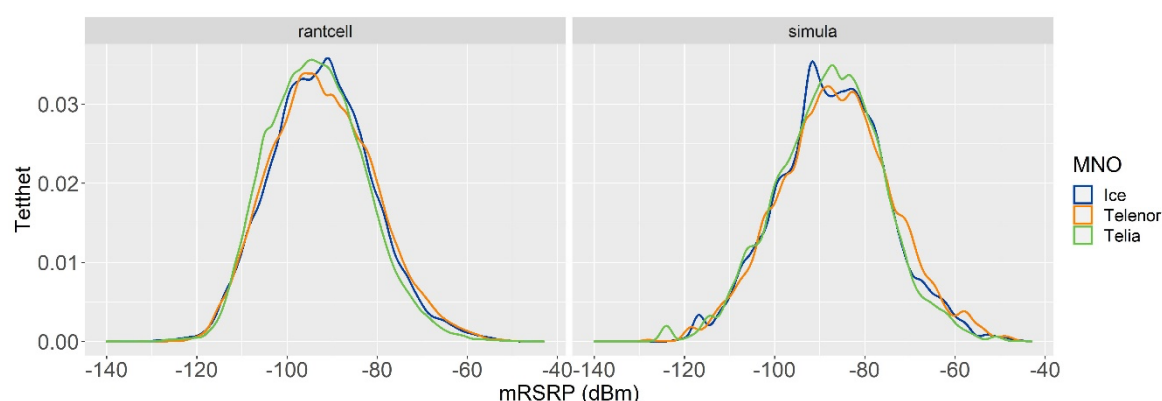
Rantcell måler gjennomgående svakere dekning enn Nkom. Dette er ikke uventet siden Rantcell-målingene er foretatt fra innsiden av bilen og med mobilens interne antenne. Det er høy korrelasjon mellom Nkom og Rantcell målinger. For Telenor er eksempelvis Pearson korrelasjonskoeffisienten målt til 0.83.

Simula-utstyret måler høyere signalstyrke enn Rantcell, men ikke like sterk som Nkom. Simula har bedre antenne enn Rantcell, noe som trolig forklarer forskjellen. Det er en mindre korrelasjon mellom Nkom- og Simula-målinger enn for Rantcell sin del. Merk at Simulaboksen i noen tilfeller kan måle dekning i et annet frekvensbånd enn Nkom, noe som kan forklare den relativt store spredningen.

5.2 Analyse av måledata

Merk at resultatene i dette delkapittelet er basert på data fra alle våre målinger langs riksveier, og ikke på de separate kalibreringsmålingene foretatt sammen med Nkom (som i forrige delkapittel).

Figur 13 viser fordeling av målt dekning for hhv. Rantcell- og Simula-utstyr. I begge tilfeller likner dekningen på en normalfordelt kurve hvor brorparten av måleverdiene ligger mellom -60 dBm og -120 dBm. Simula-grafen er mer hakkete enn Rantcell-grafen, og dette skyldes at vi har flere observasjoner fra Rantcell enn fra Simula. Det er slående hvordan kurvene for de ulike operatørene følger hverandre. Det indikerer at den opplevde dekningen er relativt lik mellom operatørene.



Figur 13 Dekningsstyrke (RSRP) målt av Rantcell (venstre) og Simula (høyre) for hvert mobilnett.

Tabell 3 viser nøkkeldata for Rantcell- og Simula-målinger fordelt på de ulike mobilnettene. For Rantcell måles signalstyrken i mobilnettene til et gjennomsnitt på mellom -91,9 dBm for Telenor og -93,5 dBm for Telia. Simula-målingene viser generelt noe høyere signalstyrke enn Rantcell-målingene. I gjennomsnitt er forskjellen på mellom 5,5 dB (for Telenor) og 6,2 dB (for Ice). Det parvise samsvaret mellom en Rantcell-måling og den nærmeste tilsvarende Simula-målingen kan uttrykkes i form av en (Pearson) korrelasjonskoeffisient. Denne sier noe om hvordan verdiene i to måleserier korrelerer (samvarierer) med hverandre. En korrelasjonskoeffisient på 1 forteller at de to måleseriene er like, mens en korrelasjonskoeffisient på 0 forteller at det ikke er noen sammenheng mellom de to måleseriene. Kolonnen lengst til høyre viser en korrelasjonskoeffisient på litt under 0,7 i vårt tilfelle, noe som indikerer relativt godt samsvar mellom Rantcell og Simula.

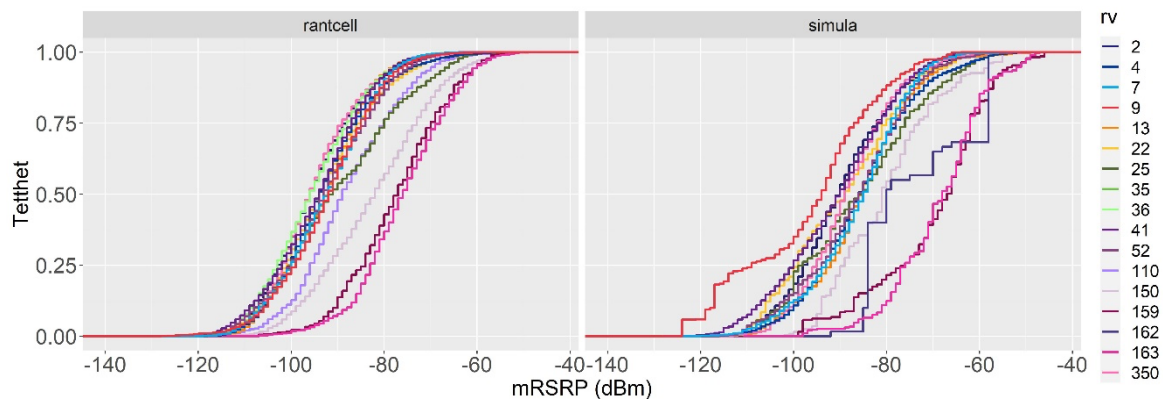
MNO	Rantcell avg RSRP	Simula avg RSRP	Avg diff Rantcell/Simula	Stddev diff Rantcell/Simula	Pearson korrelasjonskoeffisient
Telenor	-91,9 dBm	-86,3 dBm	5,5 dB	9,7 dB	0,69
Telia	-93,5 dBm	-87,8 dBm	6,1 dB	9,5 dB	0,66
Ice	-92,3 dBm	-87,1 dBm	6,2 dB	9,5 dB	0,68

Tabell 3. Rantcell og Simula måledata

Basert på dette har vi valgt å kreve et 6 dB sterkere signal av Simula enn av Rantcell når vi skal beregne dekningshull. Dette tilsvarer i hovedsak forskjellen på antennene som benyttes i de to ulike oppsettene.

5.2.1 Variasjoner mellom riksveier

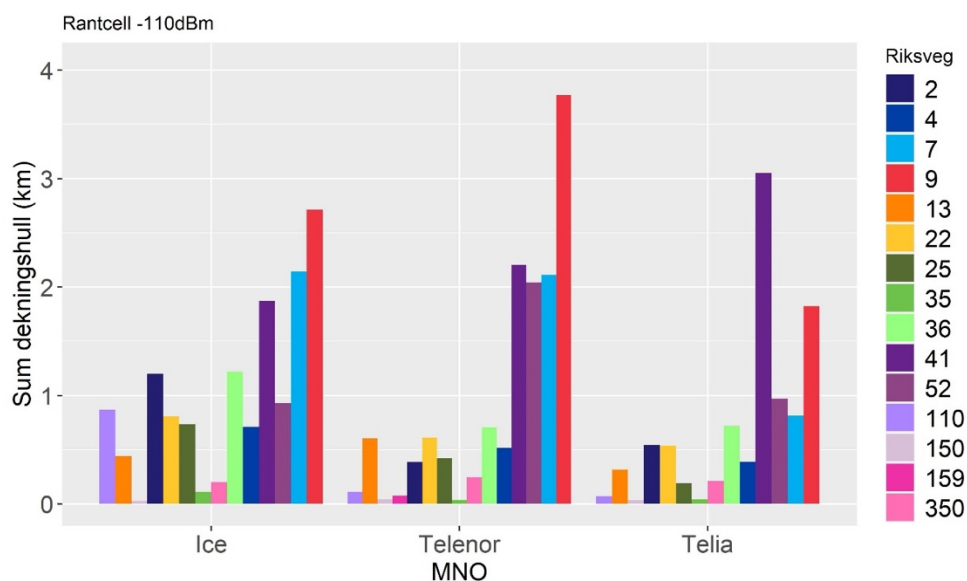
Figur 14 viser hvordan målt signalstyrke fordeler seg på ulike riksveier. Figuren viser klart at riksveier i sentrale strøk (RV159, RV163) har bedre dekning enn riksveier som primært ligger utenfor tettsteder (RV9, RV41).



Figur 14 Signalstyrke for ulike riksveier (alle operatører) for Rantcell (venstre) og Simula (høyre).

5.3 Identifisering av dekningshull

Som beskrevet i kapittel 3.2 beregner vi dekningshull med utgangspunkt i tre ulike terskelverdier: -105 dBm, -110 dBm og -115 dBm. Figur 15 viser samlet lengde av målte dekningshull per riksvei med bruk av Rantcell-data og -110 dBm dekningssterskel og 50 meter som minste krav til lengde på et hull. Figuren illustrerer at ulike operatører har ulik dekning langs ulike riksveier. For eksempel har Telenor flest meter med dekningshull langs riksvei 9, mens Telia har flest meter langs riksvei 41.



Figur 15 Dekningshull for ulike riksveier og operatører

Tabell 4 viser antall hull og antall meter hull for alle kjørte riksveier basert på Rantcell-målinger. Det er klart at krav til dekningsstyrke og minste hullengde er vesentlige drivere for vurdering av dekningshull. Med et krav til -105 dBm og 50 meter hullengde har vi målt mer enn 150 000 meter med manglende dekning og mellom 500 og 600 dekningshull for alle operatører. Dersom vi senker kravet til signalstyrke til -115 dBm og kun teller hull på minst 100 meter reduseres dette med en faktor 10 til mindre enn 13 000 meter og maksimalt 32 hull for alle operatører.

		50 meter hullengde		100 meter hullengde	
Min RSRP	Nett	Hullmeter	Antall hull	Hullmeter	Antall hull
-105 dBm	Ice	156 797	498	145 007	337
	Telenor	156 242	577	143 216	400
	Telia	163 217	614	149 533	423
-110 dBm	Ice	60 916	257	53 489	154
	Telenor	56 617	272	47 904	152
	Telia	51 606	279	43 340	165
-115 dBm	Ice	14 681	67	12 125	31
	Telenor	13 401	61	11 401	32
	Telia	9 592	47	7 796	21

Tabell 4 Total lengde på dekningshull og antall hull for ulike terskelverdier og krav til minste hullengde (Rantcell-data)

Antall hull blir redusert med om lag en tredjedel dersom minste lengde for et dekningshull settes til 100 meter i stedet for 50 meter. Her er både målemetode og målebilens fart viktig. Men en måling hvert sekund vil man få en måling for hver 22. meter om man kjører i 80 km/t. Farten på en målebil vil imidlertid variere en god del og dette kan medføre at hull som er reelt sett like lange kan bli klassifisert i ulike grupper for hullengde.

Tabell 5 viser hvor stor andel av riksveiene som mangler tilfredsstillende dekning ved ulike terskelverdier. Min og max i tabellen viser til mobiloperatørene med henholdsvis lavest og høyest andel dekningshull.

Terskelverdi	Min andel dekningshull	Max andel dekningshull
-105dBm	11,9 %	12,5 %
-110dBm	4,0 %	4,7 %
-115dBm	0,7 %	1,1 %

Tabell 5. Andel riksveier som mangler dekning med ulike terskelverdier. Minste hullengde 50 meter.

Tabell 6 viser at det er relativt store forskjeller i beregnede dekningshull basert på henholdsvis Rantcell- og Simula-målinger. Dette skyldes forskjeller i måleutstyr, målefrekvens og hvilke konkrete veistrekk vi har målinger fra. Rantcell rapporterer signalstyrke hvert sekund, mens Simula rapporterer med noe lengere (varierende) intervall. Målingene fra Rantcell viser flere og kortere dekningshull enn målingene fra Simula. Et gjennomsnittlig dekningshull for Rantcell er 258 meter mens gjennomsnittet fra Simula-målingene er 804 meter. Samtidig har Rantcell i snitt 505 hull per operatør for dekningsterskel -105 dBm, mens Simula viser kun 153 hull per operatør. Da teller vi alle hull som er målt til lenger enn 50 meter. Merk at Tabell 6 kun omfatter riksveier der vi har målinger fra både Rantcell og Simula, og at tallene derfor ikke er direkte sammenlignbare med Tabell 4.

50 meter hullengde		Hullmeter		Antall hull	
Min RSRP	Nett	Rantcell	Simula	Rantcell	Simula
-105 dBm	Ice	138 815	127 668	439	150
	Telenor	143 232	121 289	516	154
	Telia	147 819	140 205	560	155
-110 dBm	Ice	54 385	66 513	230	84
	Telenor	52 578	56 980	248	93
	Telia	45 186	73 122	245	84
-115 dBm	Ice	12 958	26 522	57	42
	Telenor	12 552	26 385	56	43
	Telia	8 739	32 616	39	40

Tabell 6 Hullmeter og antall hull for ulike terskelverdier for Rantcell og Simula

Det virker også å være en tendens at Simula relativt sett identifiserer flere dekningshull når terskelverdien settes til en lavere verdi (-115 dBm). Dette kan skyldes forskjeller i mottakersensitiviteten i måleutstyret ved lave signalstyrker. Disse forskjellene understreker at det er betydelige usikkerheter forbundet med målingene.

6 Estimerer for dekningshull basert på teoretiske dekningskart

Som diskutert i kapittel 4, har vi gjort målinger langs om lag en tredjedel av alle riksveier som ikke er europaveier. For disse har vi beregnet dekningshull med ulike terskelverdier basert på målinger, som vist i kapittel 5. For riksveier der vi ikke har målinger kan vi estimere dekningshull basert på teoretiske dekningskart fra operatørene. Slike estimerer presenteres i dette kapitlet.

Vi estimerer ikke dekningshull for Ice. Ice har en avtale om nasjonal gjesting i Telias nett i områder der de ikke har egen dekning. Dermed er det liten sammenheng mellom den teoretiske dekningen (i eget nett) og den opplevde dekningen (i eget og Telias nett). Et rimelig estimat for dekningen hos Ice vil derfor være at den er tilnærmet lik Telias dekning.

6.1 Metode for estimering av dekningshull

Hovedtilnærmingen for å estimere dekningshull er å identifisere en terskelverdi for hver operatør, slik at strekninger hvor den teoretiske dekningen er under denne terskelen regnes som et dekningshull. Vi identifiserer tre slike terskelverdier for hver operatør, som tilsvarer terskelverdiene for målt dekning inne i bilen som diskutert i kapittel 5. Vi vil i diskusjonen bruke betegnelsen «mRSRP terskel» for terskelverdiene for målt dekning inne i bilen (-105dBm, -110dBm og -115dBm), og «eRSRP terskel» for de tilsvarende terskelverdiene for den estimerte dekningen.

For å finne passende eRSRP terskler tar vi utgangspunkt i antall meter dekningshull som ble identifisert for hver mRSRP terskel for hver operatør i kapittel 5. Vi finner deretter eRSRP terskler slik at antall meter dekningshull på veier der vi har målinger blir tilnærmet lik for estimerer og målinger. Vi ekskluderer målinger og veistrekninger i tunneler i denne beregningen, siden vi ikke kjenner teoretisk dekning inne i tunneler.

Denne tilnærmingen forutsetter implisitt at forholdet mellom teoretisk dekning og målt dekning i gjennomsnitt er det samme på ukjorte veier som på veier der vi har målinger. Vi mener dette er en rimelig antakelse, da begge grupper domineres av veier utenfor tettbygde områder. Det vil likevel være usikkerhet knyttet til dette. Som vi skal se under (Figur 17), finnes det enkelte veier (der vi mangler målinger) som har særlig dårlig teoretisk dekning. Disse veiene vil veie tungt i beregningen av dekningshull.

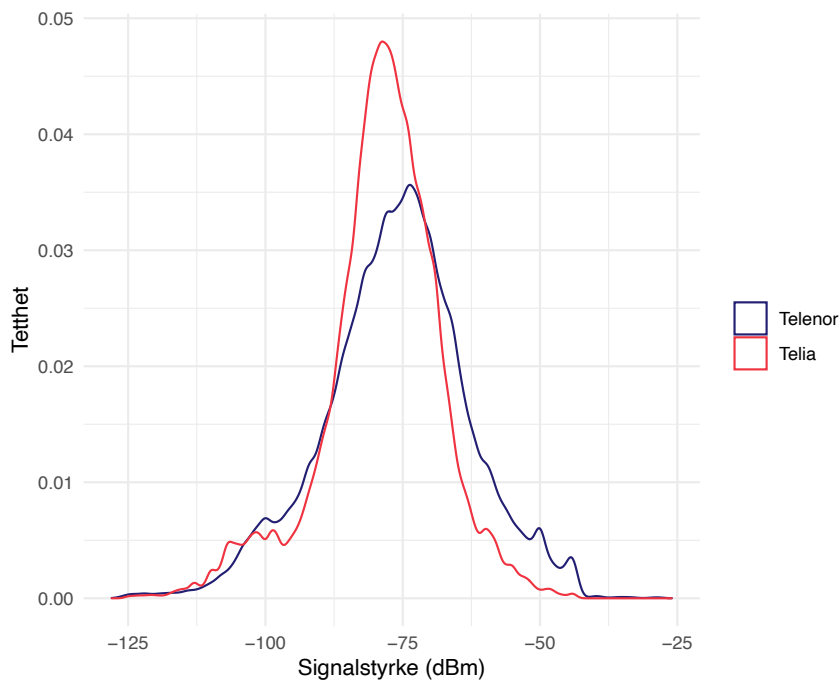
6.2 Beskrivelse av teoretiske dekningskart

Før vi presenterer eRSRP terskelverdier, diskuterer vi egenskaper ved de teoretiske dekningskartene til Telenor og Telia.

Figur 16 viser fordelingen av teoretisk RSRP for Telenor og Telia, langs alle riksveier. Fordelingen er generert ved å lese ut teoretisk signalstyrke fra dekningskartene i hvert punkt der vi har gjort

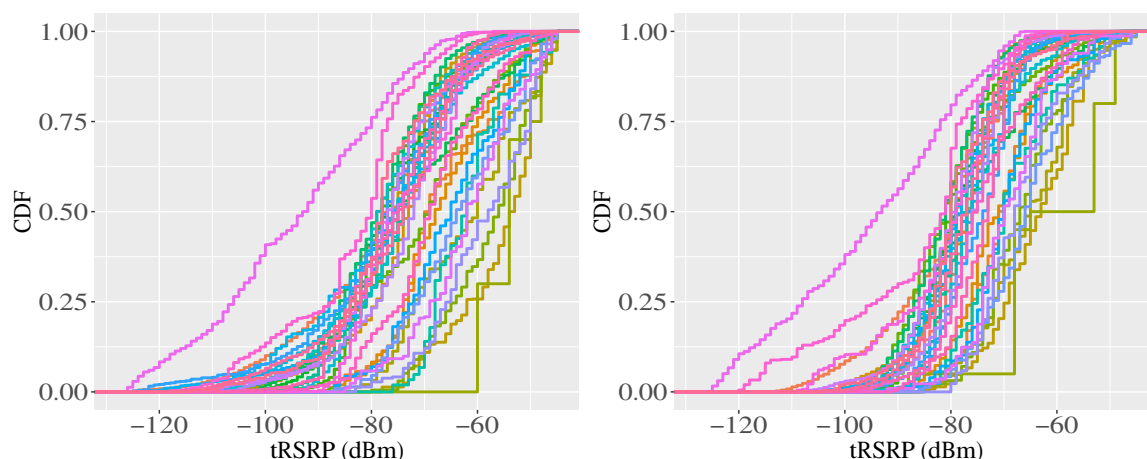
dekningsmålinger. For veier der vi ikke har gjort målinger, har vi lest ut signalstyrken for hver 25. meter.

Figuren viser klare forskjeller mellom Telenors og Telias dekningskart. Telias fordeling har mindre varians enn Telenors. Mens standardavviket for Telenor er 13,1 dB, er det bare 10,9 dB for Telia. Telenor har en noe større andel RSRP-verdier over -70 dBm. En sammenligning med Figur 13 viser at de samme forskjellene ikke finnes i de målte dekningsverdiene. Som vi skal se under (Tabell 7), vil denne forskjellen virke inn på hvilke eRSRP terskler vi setter for henholdsvis Telenor og Telia.



Figur 16. Fordeling av teoretisk signalstyrke langs alle riksveier, Telenor og Telia.

Forskjellen i teoretisk dekning mellom operatørene er også tydelig i Figur 17, som viser den kumulative distribusjonen (CDF) av teoretisk RSRP for hver riksvei. For begge operatører er det klare forskjeller i dekning mellom ulike riksveier, men Telias fordelinger er konsentrert i et smalere intervall. For begge operatører er det særlig én riksvei, RV73 gjennom Hattfjelldal, som skiller seg ut med dårlig dekning.



Figur 17. Fordeling av teoretisk signalstyrke per riksvei for Telenor (venstre) og Telia (høyre).

6.3 Beregning av eRSRP terskel

I kapittel 5 beregnet vi dekningshull basert på Rantcell og Simula målinger langs et antall riksveier. Ut fra dette kan vi også angi totalt antall meter med dekningshull for ulike mRSRP terskler, som vist i Tabell 4. Basert på dette kan vi identifisere en eRSRP terskel som gir tilnærmet det samme antall meter hull for de samme veiene. Disse verdiene er oppgitt i Tabell 7⁵.

Operatør	Modem	mRSRP terskel (dBm)	eRSRP terskel (dBm)	Differanse (dB)	Sum meter hull (målt)	Sum meter hull (estimert)
Telenor	Rantcell	-105	-88	17	136418	125171
		-110	-96	14	48343	45612
		-115	-104	11	11396	10851
	Simula	-105	-89	16	112792	118 825
		-110	-95	15	53111	59 075
		-115	-102	13	24708	27 575
Telia	Rantcell	-105	-85	20	157710	153411
		-110	-90	20	49323	47281
		-115	-97	18	8772	6682
	Simula	-105	-85	20	133033	161 575
		-110	-88	22	72448	87 000
		-115	-92	23	31968	33 800

Tabell 7 mRSRP og eRSRP terskler for hver operatør og målemetode.

Vi ser av tabellen at differansen mellom mRSRP og eRSRP tersklene varierer relativt mye mellom operatører, målemetoder og terskelverdier. Vi observerer først at differansen er høyere for Telia enn

⁵ Forskjellen i målte hullmeter mellom Tabell 6 og Tabell 4 skyldes at Tabell 4 kun inneholder hull som er lenger enn 50 meter, samt at Tabell 6 ikke omfatter dekningshull i tunneler (hvor vi ikke har teoretiske dekningsverdier)

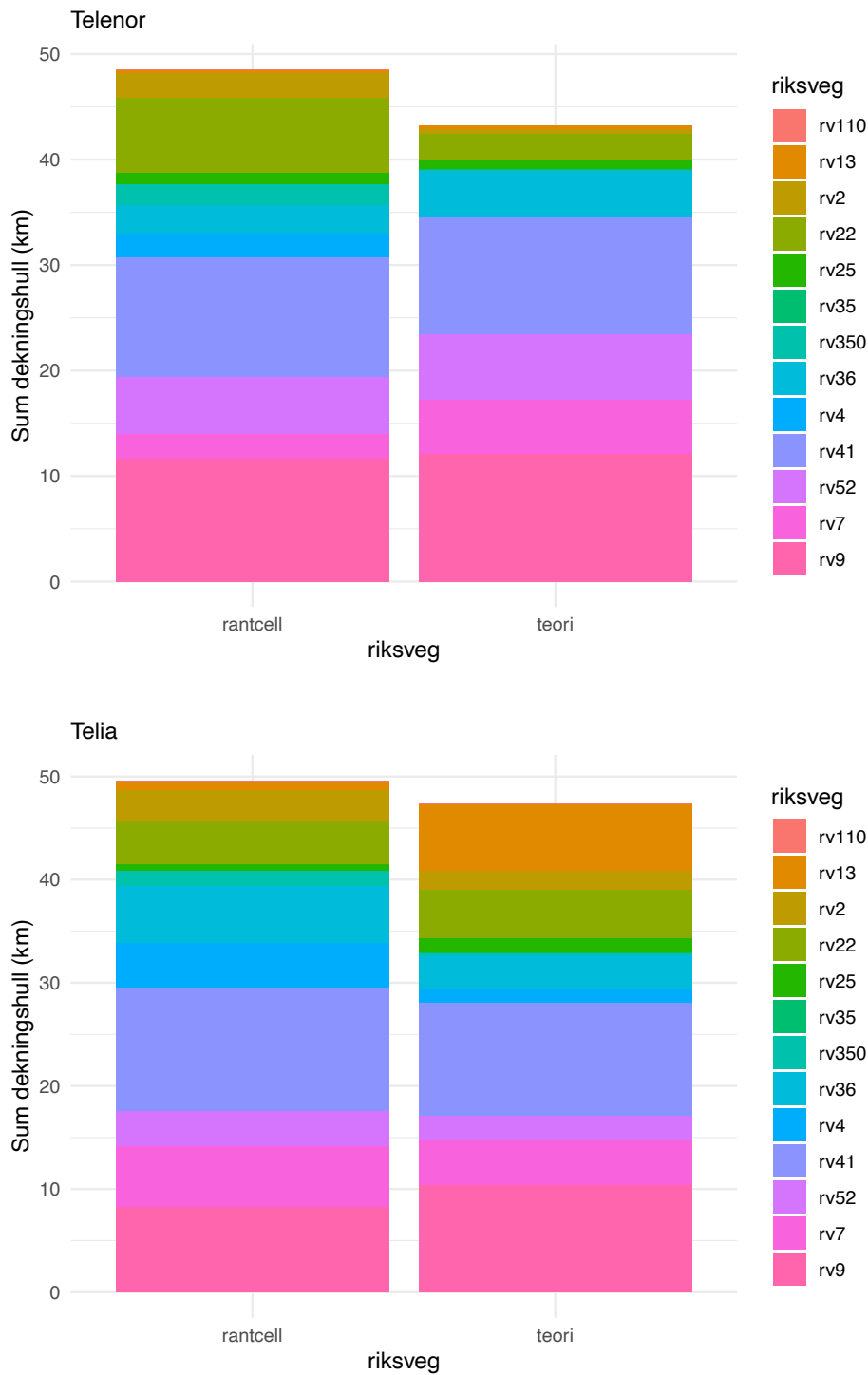
for Telenor. Dette har sammenheng med den smalere fordelingen av teoretiske dekningsverdier hos Telia som diskutert over. Dette betyr at vi må sette en høyere eRSRP terskel for å finne like mange dekningshull som de målte verdiene tilsier. Den smalere fordelingen hos Telia gjør også at differansen mellom mRSRP og eRSRP tersklene blir særlig høy for Simula med terskelverdi -115 dBm. Dette skyldes at Simula måler flere verdier i dette lave intervallet, mens Telias dekningskart har få slike verdier.

6.4 Sammenligning av målte og estimerte dekningshull på kjørte riksveier

Antall meter dekningshull er per definisjon relativt likt på veier der vi har gjort målinger, som vist i Tabell 7. Det er imidlertid ikke slik at de konkrete hullene estimert basert på de teoretiske dekningsverdiene er de samme som hullene basert på målinger. Figur 18 gir et inntrykk av hvordan dekningshull fordeler deg på ulike riksveier hos hver operatør basert på Rantcell målinger og teoretiske verdier. Vi observerer for eksempel at for Telia er estimert antall meter dekningshull høyere enn hva målingene viser på RV13, mens det er lavere på RV4. For Telenor er estimatet høyere enn målingene for RV7, mens det er lavere for RV22.

En annen forskjell mellom de målte og de estimerte dekningshullene er at de estimerte hullene i gjennomsnitt er lenger. Mens median lengde for målte dekningshull er 66 meter (114 meter dersom vi ser bort fra dekningshull under 50 meter), er tilsvarende for estimerte dekningshull 100 meter (175 meter). Dette er ikke uventet, siden oppløsningen på de teoretiske dekningskartene gjør at antall korte dekningshull reduseres.

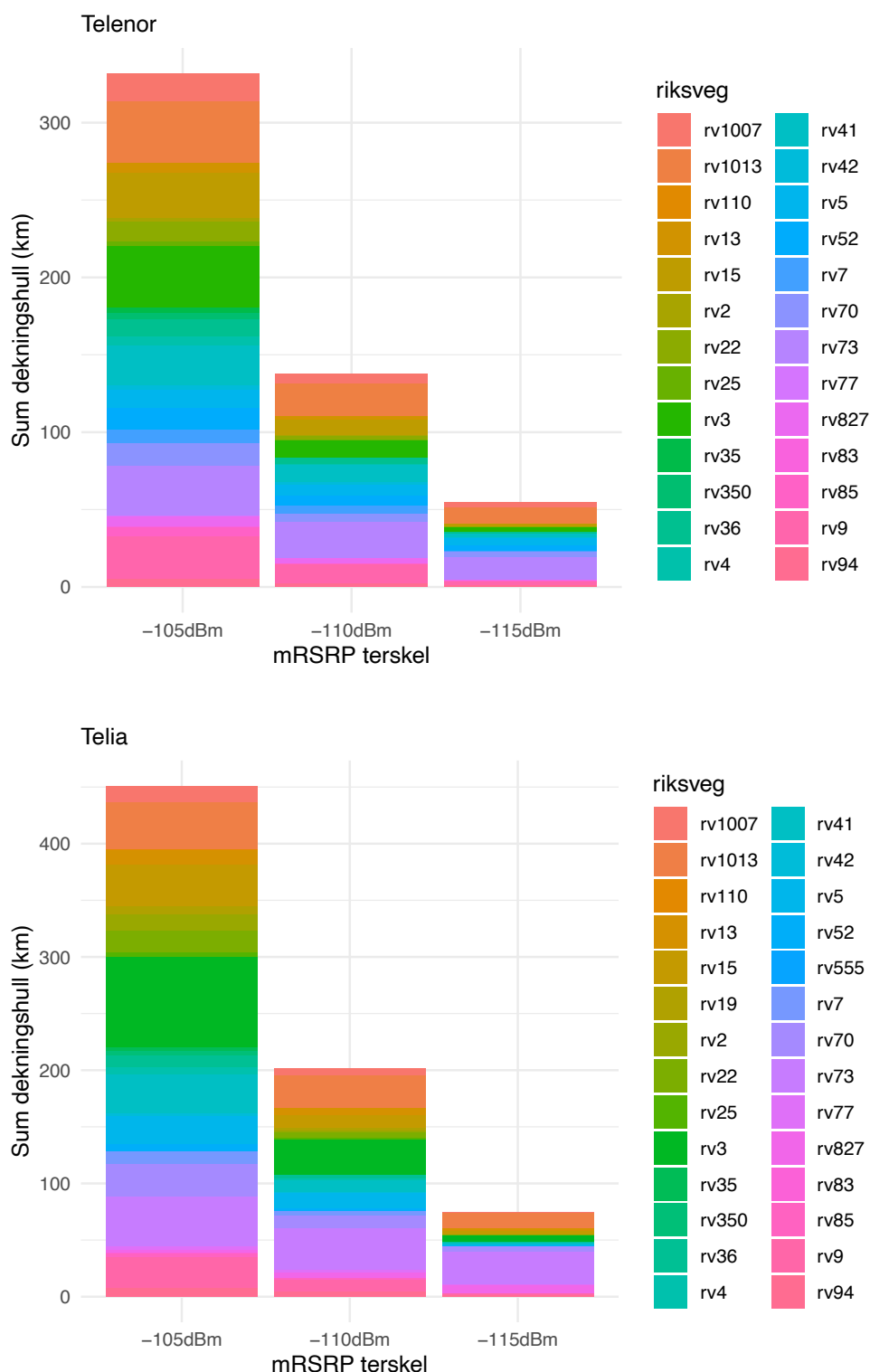
Disse forskjellene gjør at resultater og kostnadsberegninger basert på estimerte dekningshull må tolkes med varsomhet. Estimaten vil ikke identifisere eksakt de samme dekningshullene som målinger. Dette kan igjen føre til forskjeller i hvor ny dekning må etableres, og dermed i kostnadsberegningene.



Figur 18 Sum dekningshull med lengde over 50 meter per riksvei som målt av Rantcell og estimert for Telenor (øverst) og Telia (nederst). Dekningsterskel -110 dBm.

6.5 Estimerte dekningshull

Figur 19 viser samlet lengde på estimerte dekningshull for alle riksveier, for ulike mRSRP terskler. I figuren er alle dekningshull over 50 meter inkludert.



Figur 19. Sum estimerte dekningshull for alle riksveier, for ulike dekningsterskler. Telenor (øverst) og Telia (nederst).

Tabell 8 viser antall hull og samlet lengde på hull for ulike mRSRP terskler og minimumslengder på dekningshull. Det estimerte antall hull, og summen av estimert lengde på hullene, er noe høyere for Telia enn for Telenor. Forskjellen er relativt konsistent for ulike mRSRP terskler.

MNO	mRSRP terskel	Hull > 50 meter		Hull > 100 meter	
		Sum meter hull	Antall hull	Sum meter hull	Antall hull
Telenor	-105dBm	324 598	752	307 240	528
	-110dBm	135 474	298	129 368	220
	-115dBm	54 366	160	50 271	108
Telia	-105dBm	425 050	1041	391 968	625
	-110dBm	184 858	442	170 743	266
	-115dBm	81 277	174	75 872	107

Tabell 8 Estimerte dekningshull for ulike terskelverdier

Tabell 9. Andel riksveier med manglende dekning for ulike terskelverdier - målte og estimerte veistrekninger. viser andelen riksveistrekninger som mangler tilfredsstillende dekning med ulike mRSRP terskler, for veier der vi har målinger og veier der dekningshull er estimert basert på dekningskart. Vi observerer at for estimerte veier er andelen noe lavere for den høyeste terskelverdien (-105 dBm), om lag den samme for middels terskelverdi (-110 dBm), og noe høyere for den laveste terskelverdien (-115 dBm).

Terskelverdi	Målte riksveier		Estimerte riksveier	
	Min andel dekningshull	Max andel dekningshull	Min andel dekningshull	Max andel dekningshull
-105dBm	11,9 %	12,5 %	8,5 %	11,1 %
-110dBm	4,0 %	4,7 %	3,6 %	4,9 %
-115dBm	0,7 %	1,1 %	1,4 %	2,1 %

Tabell 9. Andel riksveier med manglende dekning for ulike terskelverdier - målte og estimerte veistrekninger.

7 Kostnadsestimater

Listene over dekningshull fra kapittel 5 danner grunnlaget for kostnadsestimatene. Dette kapitlet beskriver metodikk og resultater fra kostnadsanalysen.

7.1 Kostnadsanalyse for kjørte veier basert på målinger

Vi har målt dekning på rundt 1,300 km med riksveier. På disse strekkene er dekning i bil målt for alle mobiloperatørene med mobiltelefoner («Rantcell») og Simula-boksen. Eksempelvis har vi målt til sammen 133 dekningshull for alle operatører på den 88 km lange riksvei 36 mellom Porsgrunn og Seljord i Telemark så lenge kravet til dekningsstyrke i bil er satt til -110dBm.

Det er imidlertid ikke gitt at man trenger 133 nye sendestasjoner for å sikre full dekning langs riksvei 36. Det er flere årsaker til dette:

- Mange hull ligger relativt tett inntil hverandre. Eksempelvis har et nett («Nett A») fire dekningshull som ligger langs Seljordvatnet innenfor en strekning på 1,2km. Etablering av én ny sendestasjon ville trolig sikre dekning til alle dekningshull på dette strekket.
- Blant de 133 dekningshullene er mange svært korte. Et dekningshull som er kortere enn 50 meter vil imidlertid ha lite å si for brukeropplevelsen. Kostnadsestimatene er derfor tatt fram i to varianter: En hvor alle hull over 50 meter er inkludert, og en annen variant hvor kun hull som er lenger enn 100 meter tas med i analysen.
- Operatørene har overlappende dekning i mange tilfeller. I eksemplet over dekker en annen operatør, «Nett B», hele strekningen. I et slikt tilfelle vil det ofte være mulig sikre dekning for Nett A ved å innplassere utstyr hos sendestasjonen til Nett B. Innplassering er rimeligere enn å bygge en ny sendestasjon, men er ikke alltid tilgjengelig pga. manglende kapasitet på sendestasjon.
- Riksvei 36 har fire tunneler hvor flere operatører mangler dekning. I slike tilfeller har vi antatt at det vil være nødvendig å bygge ny dekning i hele tunnelen slik at dekningshullet i praksis blir lengre enn hva som framkommer fra måledata.

I kostnadsberegningen for riksvei 36 og alle andre riksveier har vi lagt følgende parametre til grunn:

- En ny sendestasjon har en praktisk rekkevidde på 4 km. Dersom et hull starter på «meter x» langs riksvei 36 kan en ny sendestasjon dekke alle hull som slutter før «meter x + 4000».
- Etableringskostnaden for en ny sendestasjon er satt til NOK 2 millioner. Dette er betydelig mer enn kostnaden for vanlige sendestasjoner, men vi har hensyntatt at man ofte vil trenge relativt høye master og høye kostnader forbundet med framføring av strøm- og telenett.
- Dersom en annen operatør har overlappende dekning vil kostnadsalgoritmen foretrekke dette foran etablering av en ny sendestasjon. Etableringskostnaden for innplassering er satt til NOK 1 million. Dette er også mye høyere enn vanlige kostnader for innplassering, men vi har forsøkt å ta hensyn til at innplassering ikke alltid er mulig.

- For etablering av dekning i tunnel er kostnaden differensiert mellom korte (<500 meter) og lange tunneler på mer enn 500 meter. I lange tunneler kan dekning etableres med aktivt, antenne-basert utstyr eller med såkalt strålekabel. I begge tilfeller har lagt til grunn en etableringskostnad på NOK 2,5 millioner pluss en meterkostnad på NOK 3,500 kroner per meter. I korte tunneler, hvor vi antar at det kun brukes antenne-baserte systemer, er kostnaden estimert til NOK 1,25 millioner i etablering pluss NOK 3,000 kroner per meter. I tilfeller hvor det finnes konkurrerende dekning i tunnel har vi lagt til grunn en innplasseringskostnad som er 25% av estimert kost for etablering av ny dekning i tunnelen.

Kostnadsestimatet representerer direkte kostnader forbundet med å etablere dekning. Vi har ikke estimert løpende kostnader for drift og vedlikehold, og vi har ikke inkludert innkjøps- og administrasjonskostnader.

Kostnader for å etablere dekning langs riksvei 36

Tabellen under viser oversikt over estimert antall nye sendestasjoner eller innplasseringer som må etableres for å sikre dekning langs riksvei 36. Dersom minstekravet til et dekningshull settes til 50 meter er det til sammen nødvendig med 35 nye etableringer for å sikre at alle operatører får full dekning. Det er imidlertid bare nødvendig med 10 nyetableringer dersom man kun er opptatt av at minst én operatør, Nett B i dette tilfellet, skal ha full dekning.

Min hullengde	Nett A	Nett B	Nett C	Sum	Minste
50 meter	14	10	11	35	10
100 meter	9	9	7	25	7

Tabell 10. Antall nyetableringer langs riksvei 36, med -110 dBm dekningskrav

Tabell 10 viser også at antall nødvendige nyetableringer reduseres fra 35 til 25 dersom minstekravet til et dekningshull økes til 100 meter. I dette alternativet vil Nett C ha det laveste antallet nyetableringer for å sikre full dekning.

Tabell 11 viser at samlet kost med 50 meter minste hullengde er rundt NOK 48 millioner for alle operatører, og at Nett B kan sikre full dekning for rundt NOK 15 millioner. Det er imidlertid lave kostnadsforskjeller blant operatørene. Med 100 meter «hullkrav» reduseres kostnadene, og Nett A har den laveste kostnaden på NOK 10 millioner.

Min hullengde	Nett A	Nett B	Nett C	Sum	Minste
50 meter	17	15	16	48	15
100 meter	10	14	12	36	10

Tabell 11. Kostnadsestimat (millioner kroner) for riksvei 36, med -110 dBm dekningskrav

Om kravet til dekningsstyrke endres vil antall nyetableringer og kostnader for å etablere dekning også endres. Tabell 12 viser at antall nyetableringer for beste operatør reduseres fra 10 til 4 dersom kravet til dekning reduseres fra -110 dBm til -115 dBm og minste hullengde settes til 50 meter.

Dersom kravet til dekning økes til -105 dBm vil beste operatør ha behov for 17 nyetableringer på 50 meter og 14 nyetableringer med minste hullengde på 100 meter.

	Min. hullengde 50 meter				Min. hullengde 100 meter			
Dekningskrav	Nett A	Nett B	Nett C	Minste	Nett A	Nett B	Nett C	Minste
-105 dBm	17	19	17	17	16	14	17	14
-110 dBm	14	10	11	10	9	9	7	7
-115 dBm	5	4	6	4	2	4	3	2

Tabell 12. Antall nyetableringer langs riksvei 36 ved ulike dekningskrav

Tabell 13 viser hvordan dette slår ut på kostnadsestimatene. Vi har allerede funnet at Nett B kan få full dekning langs riksvei 36 til en estimert etableringskostnad på NOK 15 millioner med -110 dBm og 50 meter hullengde. Med -115 dBm og 50 meter kan Nett A få full dekning til en estimert kostnad på NOK 4 millioner, og med -105 dBm vil full dekning for Nett A ha en estimert kostnad på NOK 32 millioner.

	Min. hullengde 50 meter				Min. hullengde 100 meter			
Dekningskrav	Nett A	Nett B	Nett C	Minste	Nett A	Nett B	Nett C	Minste
-105 dBm	32	36	34	32	29	25	28	25
-110 dBm	17	15	16	15	10	14	12	10
-115 dBm	4	5	6	4	2	5	4	2

Tabell 13. Kostnadsestimat (millioner kroner) for riksvei 36 ved ulike dekningskrav og dekningshull

Kostnader for å etablere dekning langs alle kjørte veier

Tabell 14 viser antall nyetableringer langs alle kjørte riksveier med ulike dekningskrav og minste hullengde. Tabellen viser flere interessante funn:

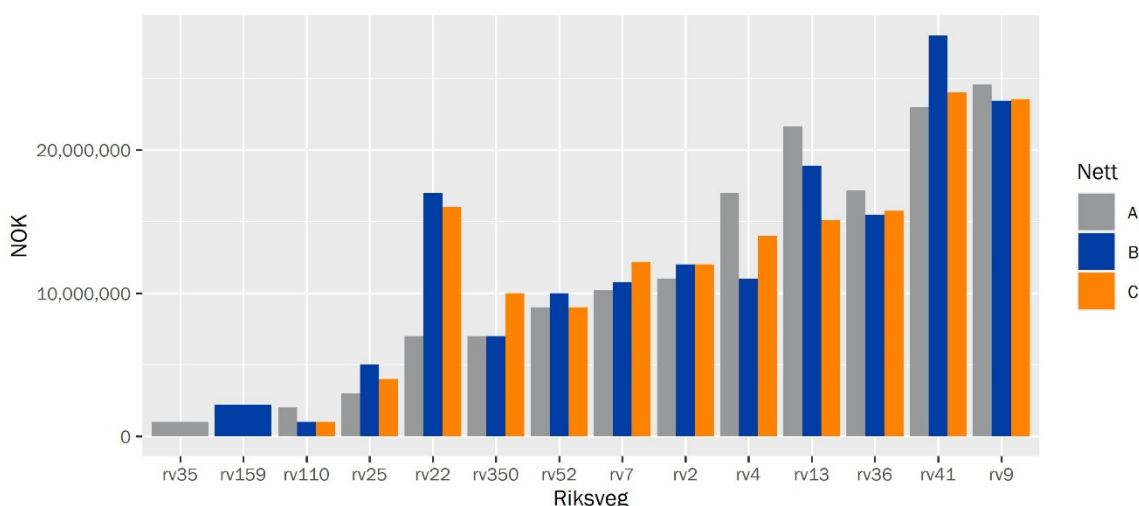
- Det er klart at dekningskravet er en viktig driver for antall nyetableringer. Nett A trenger eksempelvis 163 nyetableringer på -105 dBm og hullengde 50 meter, men har kun 41 nyetableringer om dekningskravet reduseres til -115 dBm.
- Det er relativt liten forskjell mellom de ulike mobilnettene om vi legger samme dekningskrav til grunn. Med -110 dBm dekningskrav og 100 meter hullengde trenger det beste nettet (Nett A) til sammen 79 nyetableringer, mens det dårligste nettet (Nett B) har 86 nyetableringer.
- Ulike nett har ulik dekning på ulike riksveier. Om vi eksempelvis ser på -115 dBm dekningskrav og hullengde på 50 meter trenger det beste nettet (Nett C) til sammen 30 nyetableringer på alle kjørte riksveier. Men om vi ser på hver riksvei for seg og velger nettet med lavest behov for nyetableringer så summeres dette til 22 stykker. Dette betyr at behovet for offentlig støtte vil trolig bli lavere om man legger opp til en mulighet for å støtte ulike nett på ulike riksveier.

	Min. hullengde 50 meter				Min. hullengde 100 meter			
Dekningskrav	Nett A	Nett B	Nett C	Minste	Nett A	Nett B	Nett C	Minste
-105 dBm	163	189	191	155	142	167	163	129
-110 dBm	108	113	111	93	79	86	85	65
-115 dBm	41	40	30	22	21	25	24	14

Tabell 14 Antall nyetableringer med ulike dekningskrav. Alle kjørte riksveier.

Figur 20 viser estimerte kostnader for de ulike nettene på kjørte riksveier. Figuren viser at det er store forskjeller mellom riksveier. Dette er ikke overraskende siden lengden og plassering av riksveier varierer mye. Vi understreker også at noen riksveier, bl.a. riksvei 7 og riksvei 13, er bare delvis kjørt. Kostnaden for de ukjorte delene av disse veiene er inkludert i neste kapittel om ukjorte veier.

I tillegg viser figuren forskjellene mellom nettene. Eksempelvis har Nett A en mye lavere estimert etableringskostnad enn de andre nettene på riksvei 22, mens Nett A er det dyreste nettet å oppgradere på riksvei 13. Riksveier uten behov for nyetableringer og dermed uten noen etableringskost, f.eks. riksvei 150 (Ring 3 i Bærum og Oslo kommuner), er utelatt fra figuren.



Figur 20. Kostnadsestimat for kjørte riksveier med dekningskrav -110 dBm og hullengde 50 meter.

Tabell 15 viser estimerte etableringskostnader for alle kjørte riksveier. Kostnadsestimatet varierer fra NOK 32 millioner for å sikre dekning med minimum -115 dBm til NOK 330 millioner for dekning med -105 dBm på alle dekningshull som er lenger enn 50 meter.

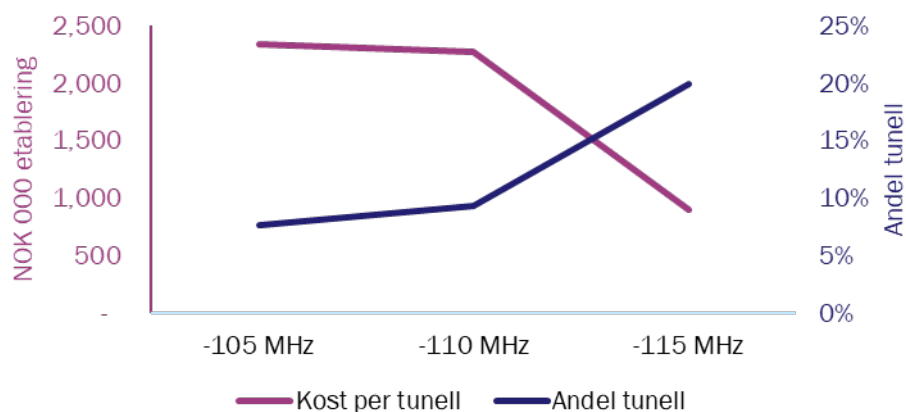
Kostnadsestimatene er basert på listen over dekningshull og parameterne som ble etablert i starten av dette kapittelet. Listen over dekningshull er splittet på hull fra Rantcell-målinger og Simula-målinger, og kostnader er beregnet for Rantcell og Simula separat for ulike krav til dekning og hullengde. I noen tilfeller har Rantcell den høyeste kostnaden, og i andre tilfeller har Simula den høyeste kostnaden. For det endelige estimatet har vi valgt det høyeste av disse. Videre har vi simulert oppgradering av det rimeligste nettet for hver riksvei. I tillegg til dette har vi økt estimatene med en risikofaktor på 25% og satt en minste etableringskostnad til NOK 10 millioner.

Kjørte riksveier	Minste hullengde	
	50 meter	100 meter
Dekningskrav		
-105 dBm	330	275
-110 dBm	170	109
-115 dBm	32	28

Tabell 15. Kostnadsestimat med ulike dekningskrav og dekningshull. Kjørte veier. Millioner kroner

Tunnelkostnader

Figur 21 viser hvordan tunnelkostnader og tunnel-andelen varierer med krav til signalstyrke når minste hullengde er 50 meter. Så lenge dette kravet er -105 dBm eller -110 dBm anslår vi at mellom 5 og 10% av nyetableringer må gjøres i tunnel. Dersom kravet reduseres til -115 dBm øker denne andelen til rundt 20%. Dette indikerer at det finnes (relativt sett) større områder utenfor tunnel som har dekning med -115 dBm enn hva tilfellet er for dekning inne i tunnel. Samtidig viser figuren at kostnad per etablering i tunnel reduseres når krav til signalstyrke reduseres: Med krav på -105 dBm eller -110 dBm er det større sannsynlighet for at ingen operatør har dekning i tunnel og at det må etableres et nytt system i tunnelen. Med krav på -115 dBm er innplassering mulig i mange tilfeller.



Figur 21. Andel tunneler og etableringskostnad i tunnel med ulike krav til signalstyrke

7.2 Kostnadsanalyse for ukjørte veier basert på estimerte verdier

Kostnadsanalysen for ukjørte veier er basert på samme parametere og metode som for kjørte veier, men datagrunnlaget er forskjellig. På kjørte veier har vi faktiske dekningsmålinger, mens for ukjørte veier er listen over hull basert på estimert dekning som beskrevet i kapittel 6. For ukjørte veier er tunneler et særskilt problem. Langs kjørte veier har vi god oversikt over deknings situasjonen både i og utenfor tunnel siden vi har målt dekning i begge tilfeller. For ukjørte veier har vi brukt operatørenes dekningskart som viser dekning over tunnelen og ikke inne i tunnelen. Dette betyr at det er større usikkerhet forbundet med kostnadsestimatene for ukjørte veier enn hva tilfellet er for kjørte veier. I tillegg har vi ikke estimert dekning for mobiloperatøren Ice på ukjørte veier siden Ice sin dekning i stor grad er basert på en avtale om nasjonal gjesting med Telia.

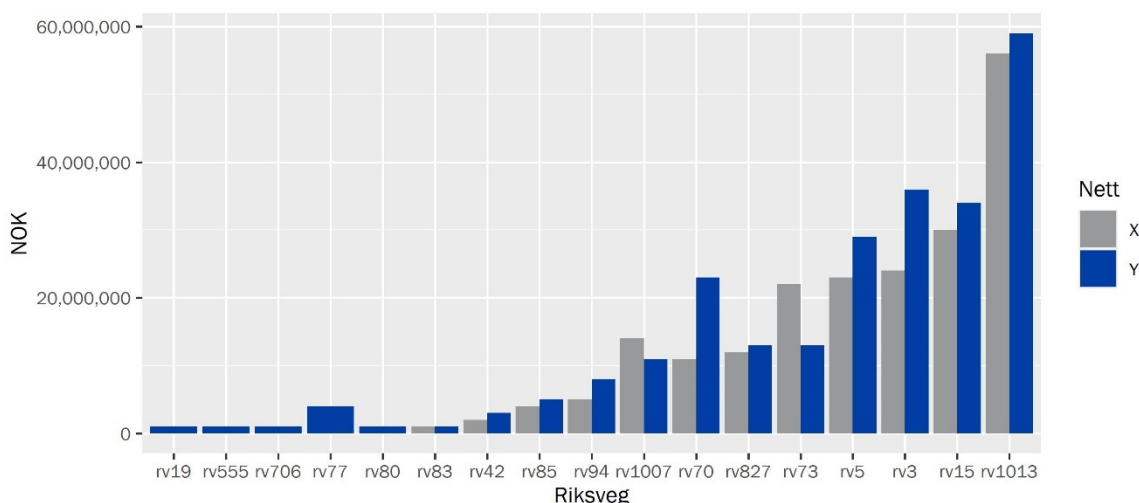
Tabell 16 viser estimert antall nyetableringer langs ukjørte riksveier. Det finnes flere hull langs ukjørte veier enn langs kjørte veier. Noe av denne differansen er naturlig siden ukjørte riksveier har en samlet større lengde (ca. 2460 km) enn kjørte veier (ca. 1300 km). Om vi tar utgangspunkt i et dekningskrav på -110 dBm har ukjørte veier mellom 25% og 35% færre nyetableringer per km enn kjørte veier. Dette bildet snur seg imidlertid når dekningskravene øker: Eksempelvis finnes det behov for 66 nyetableringer langs ukjørte veier om vi legger til grunn bruk av beste nett på hver vei sammen med et dekningskrav på -115 dBm og minste hulllengde på 50 meter. Tilsvarende tall for kjørte veier er 4 nyetableringer. Dette indikerer at ukjørte veier generelt har noe bedre dekning enn kjørte veier, men når ukjørte veier har dårlig dekning så er den dårligere enn hva tilfellet er for kjørte veier. Merk igjen at det er større usikkerhet knyttet til tallene for ukjørte veier.

Ukjørte riksveier	Min. hulllengde 50 meter			Min. hulllengde 100 meter		
	Nett X	Nett Y	Minste	Nett X	Nett Y	Minste
-105 dBm	210	261	204	193	238	187
-110 dBm	123	170	117	106	144	98
-115 dBm	70	80	66	60	69	53

Tabell 16. Antall nyetableringer med ulike dekningskrav. Alle ukjørte riksveier.

Figur 22 viser estimerte kostnader for de ulike nettene på ukjørte riksveier. Som for kjørte veier er det forskjeller mellom riksveier siden lengden og plassering av riksveier varierer mye. Veiene merket med «1013» og «1007» viser kostnaden for de ukjørte delene av riksvei 13 og riksvei 7.

Figuren viser at det er forskjeller i estimert etableringskost mellom nettene. Eksempelvis har Nett X en mye lavere estimert etableringskostnad enn Nett Y på riksvei 70, mens det motsatte er tilfelle for riksvei 73. Riksveier uten dekningshull og dermed uten noen etableringskost er utelatt fra figuren.



Figur 22. Kostnadsestimat for ukjørte riksveier med dekningskrav -110 dBm og hulllengde 50 meter.

Tabell 17 viser estimerte etableringskostnader for alle ukjørte riksveier. Kostnadsestimatet varierer fra NOK 116 millioner for å sikre dekning med minimum -115 dBm og 100 meters hulllengde til NOK 450 millioner for dekning med -105 dBm på alle dekningshull som er lenger enn 50 meter.

På samme måte som for kjørte veier har vi simulert oppgradering av det rimeligste nettet for hver riksvei. I tillegg til dette har vi økt estimatene med en risikofaktor på 25%.

Ukjørte riksveier	Minste hullengde	
Dekningskrav	50 meter	100 meter
-105 dBm	456	330
-110 dBm	240	210
-115 dBm	139	114

Tabell 17. Kostnadsestimat med ulike dekningskrav og dekningshull. Ukjørte veier. Millioner kroner

Samlede kostnader

Tabell 18 viser samlede kostnader for kjørte og ukjørte riksveier. Vi estimerer at det vil koste mellom NOK 140 og NOK 170 millioner å etablere dekning for minst en operatør langs alle riksveier så lenge man legger et dekningskrav på -115 dBm til grunn. Kostnaden øker til mellom NOK 320 og NOK 410 millioner med et dekningskrav på -110 dBm. Et dekningskrav på -105 dBm fører til et kostnadsestimat på mellom NOK 605 og NOK 790 millioner avhengig av om minste hullengde settes til 50 eller 100 meter.

Alle riksveier	Minste hullengde	
Dekningskrav	50 meter	100 meter
-105 dBm	786	605
-110 dBm	410	319
-115 dBm	171	142

Tabell 18. Samlede kostnadsestimater – kjørte og ukjørte riksveier. Millioner kroner

Samlede kostnader – dekning fra minst to nett

Tabell 19 viser samlede kostnader for kjørte og ukjørte riksveier om vi legger til grunn at både Telenor og Telia skal ha dekning. Dette vil også bety at Ice-kunder får dekning siden Ice har en roaming-avtale med Telia. Vi har tatt utgangspunkt i kostnadene fra Tabell 18 som viser etableringskostnader for rimeligste operatør slik at minst en operatør har full dekning langs alle riksveier. Videre har vi antatt at nyetablering for den andre operatøren skjer i form av innplassering hos rimeligste operatør.

Sammenliknet med estimerte kostnader for dekning fra minst en operatør øker kostnaden med mellom 70% og 100% avhengig av krav til signalstyrke og minste hullengde. På den ene side vil den dyreste operatøren (nesten) per definisjon kreve flere nyetableringer enn den rimeligste. Dette betyr at kostnaden for dekning fra minst to nett skulle være mer enn dobbelt så høy som kostnaden for å dekning fra minst ett nett. På den annen side vil kostnaden per etablering for den dyreste operatøren bli lavere siden innplassering (nesten) per definisjon vil være mulig i dette alternativet. I sum blir kostnaden derfor omtrent dobbelt så høy dersom man skal ha dekning fra minst to nett sammenliknet med kostnaden for dekning fra minst ett nett.

Alle riksveier	Minste hullengde	
Dekningskrav	50 meter	100 meter
-105 dBm	1 323	1 057
-110 dBm	775	634
-115 dBm	333	278

Tabell 19. Samlede kostnadsestimater – kjørte og ukjørte riksveier – minst to nett. Millioner kroner

Vedlegg A Måleresultater per riksvei – kjørte veier

I tabellen er alle hull inkludert – også de som er kortere enn 50 meter. Tallene avviker derfor fra tabellene i rapporten hvor hull under hhv. 50 og 100 meter er filtrert bort.

MNO	Riksvei	RSRP -105dBm		RSRP -110dBm		RSRP -115dBm	
		#hull	#meter	#hull	#meter	#hull	#meter
Ice	rv110	13	1,672	2	895	-	-
Ice	rv13	155	13,881	98	4,505	50	1,680
Ice	rv150	2	132	1	29	-	-
Ice	rv163	2	53	-	-	-	-
Ice	rv2	51	16,433	37	6,915	6	1,071
Ice	rv22	46	10,762	15	3,262	6	1,219
Ice	rv25	11	3,993	5	1,173	2	113
Ice	rv35	34	1,110	8	276	1	67
Ice	rv350	47	6,216	13	1,350	2	87
Ice	rv36	69	16,953	38	6,070	18	1,956
Ice	rv4	112	18,375	55	6,177	18	814
Ice	rv41	97	34,439	62	17,429	23	4,454
Ice	rv52	26	8,404	25	3,974	6	352
Ice	rv7	52	10,653	28	4,735	7	1,433
Ice	rv9	84	22,715	41	9,082	14	3,874
Ice	Sum Rantcell	801	165,790	428	65,873	153	17,122
Telenor	rv110	5	516	3	203	1	49
Telenor	rv13	77	13,168	39	4,460	9	569
Telenor	rv150	2	66	1	39	1	39
Telenor	rv159	16	903	9	301	-	-
Telenor	rv2	84	14,709	23	2,522	9	502
Telenor	rv22	122	19,886	62	7,763	16	1,185
Telenor	rv25	9	2,858	7	1,186	2	201
Telenor	rv35	37	1,321	17	469	-	-
Telenor	rv350	46	6,633	24	2,265	2	294
Telenor	rv36	78	12,810	43	4,471	7	931
Telenor	rv4	76	11,023	35	2,720	5	402
Telenor	rv41	115	26,417	69	11,978	23	3,270
Telenor	rv52	38	12,030	26	5,624	5	542
Telenor	rv7	48	14,037	22	5,389	6	1,705
Telenor	rv9	109	28,803	61	12,493	20	5,270
Telenor	Sum Rantcell	862	165,181	441	61,885	106	14,960
Telia	rv110	8	778	1	72	-	-
Telia	rv13	122	12,912	83	3,457	39	1,234
Telia	rv150	7	407	5	139	1	21
Telia	rv159	3	247	-	-	-	-
Telia	rv2	99	14,491	37	3,560	5	257
Telia	rv22	100	16,886	44	4,645	10	746
Telia	rv25	19	3,908	7	725	1	23
Telia	rv35	33	1,316	6	167	-	-
Telia	rv350	53	7,422	21	1,722	4	243
Telia	rv36	63	15,074	52	6,942	16	1,097
Telia	rv4	121	18,408	48	4,985	7	347
Telia	rv41	114	30,432	64	12,633	13	3,009
Telia	rv52	43	9,665	18	3,587	4	656
Telia	rv7	56	18,716	42	6,423	7	548
Telia	rv9	118	23,675	63	9,013	14	3,563
Telia	Sum Rantcell	959	174,336	491	58,070	121	11,744

Vedlegg B Estimerte dekningshull – kjørte veier

MNO	Riksvei	RSRP -105dBm		RSRP -110dBm		RSRP -115dBm	
		#hull	#meter	#hull	#meter	#hull	#meter
Telenor	rv110	1	77	-	-	-	-
Telenor	rv13	25	6,681	11	2,645	4	403
Telenor	rv2	12	2,476	1	497	-	-
Telenor	rv22	46	12,913	13	2,579	2	140
Telenor	rv25	21	2,976	8	863	-	-
Telenor	rv35	22	4,038	2	103	-	-
Telenor	rv350	25	4,215	2	142	-	-
Telenor	rv36	45	11,790	15	4,505	4	939
Telenor	rv4	45	6,586	1	64	-	-
Telenor	rv41	85	26,122	28	11,294	15	2,825
Telenor	rv52	42	14,223	17	6,312	9	3,346
Telenor	rv7	23	9,306	12	5,221	5	905
Telenor	rv9	80	28,187	46	12,467	21	2,790
Telenor	Sum Teori	472	129,591	156	46,693	60	11,349
Telia	rv110	5	675	1	65	1	65
Telia	rv13	31	17,615	18	11,074	10	7,014
Telia	rv159	1	20	-	-	-	-
Telia	rv163	4	126	-	-	-	-
Telia	rv2	105	14,923	20	1,990	1	70
Telia	rv22	68	20,087	28	4,945	3	399
Telia	rv25	39	4,415	21	1,485	-	-
Telia	rv35	20	3,326	2	116	-	-
Telia	rv350	22	3,507	1	192	-	-
Telia	rv36	46	12,933	14	4,318	4	342
Telia	rv4	42	6,461	8	1,373	2	254
Telia	rv41	93	34,769	59	11,281	9	1,413
Telia	rv52	11	6,109	5	2,345	-	-
Telia	rv7	30	11,080	23	4,547	3	188
Telia	rv9	101	28,073	37	10,501	12	1,584
Telia	Sum Teori	618	164,119	237	54,234	45	11,329

Vedlegg C Estimerte dekningshull – ukjorte veier

MNO	Riksvei	RSRP -105dBm		RSRP -110dBm		RSRP -115dBm	
		#hull	#meter	#hull	#meter	#hull	#meter
Telenor	rv1007	47	19,300	18	7,215	11	3,625
Telenor	rv1013	142	65,085	94	34,795	65	16,330
Telenor	rv15	109	35,630	60	15,690	18	6,745
Telenor	rv19	1	20	-	-	-	-
Telenor	rv3	127	42,135	46	11,315	17	3,400
Telenor	rv42	7	3,125	7	1,745	4	575
Telenor	rv5	80	30,265	42	19,675	31	13,085
Telenor	rv70	69	15,570	17	5,565	6	3,370
Telenor	rv73	48	32,585	42	23,895	46	15,130
Telenor	rv77	10	735	1	20	-	-
Telenor	rv827	20	12,110	15	8,975	10	5,575
Telenor	rv83	2	525	1	50	-	-
Telenor	rv85	14	7,220	8	1,025	2	175
Telenor	rv94	14	7,095	6	3,650	8	1,240
Telenor	Sum teori	690	271,400	357	133,615	218	69,250
Telia	rv1007	51	15,360	17	6,460	5	1,250
Telia	rv1013	139	85,430	99	55,085	70	27,305
Telia	rv1036	1	25	-	-	-	-
Telia	rv15	175	48,290	58	19,505	19	8,245
Telia	rv19	8	7,520	1	2,925	-	-
Telia	rv3	148	82,110	72	31,270	22	6,215
Telia	rv42	14	2,345	7	675	-	-
Telia	rv5	88	59,860	49	37,245	27	19,195
Telia	rv509	4	120	2	50	-	-
Telia	rv555	5	675	1	175	-	-
Telia	rv70	123	35,345	56	13,545	10	4,950
Telia	rv706	6	395	2	125	-	-
Telia	rv73	26	43,890	30	36,980	17	28,645
Telia	rv77	11	7,495	9	5,425	8	3,100
Telia	rv827	16	24,260	13	19,420	18	14,225
Telia	rv83	8	1,190	2	70	-	-
Telia	rv85	18	4,500	9	2,350	4	825
Telia	rv94	35	9,960	23	5,625	8	1,675
Telia	Sum teori	876	428,770	450	236,930	208	115,630