

Hovedrapport

KVU – Bedre nettdækning langs jernbanen

Hovedrapport

Utarbeidet av Multiconsult - Kaj W. Halvorsen	Saksnummer 202000641
Godkjent av Jernbanedirektoratet - Geir Hansen	Dokumentnummer 202000641-1
Dato 21.09.2020	Versjon 1.1

Endringslogg:

Dato	Versjon	Endret av	Endringsbeskrivelse
01.09.2020	1.0	-	Førsteutgave
21.09.2020	1.1	GH	Korrigert kryssreferanser.

Forord

Samferdselsdepartementet har i brev av 5. april 2019 gitt Jernbanedirektoratet i oppdrag å utarbeide konseptvalgutredning (KVU) for nettdækning langs jernbanen.

Jernbanedirektoratet ga ut «Plan for bedre nettdækning til togreisende» 25.04.2018. Bakgrunn for planen var blant annet kundetilfredsundersøkelser som viser lav tilfredshet med bruk av internett ombord i tog. Samferdselsdepartementet fulgte opp planen ved å beslutte at Norske tog AS skulle bygge inn moderne mobilforsterkerutrustning utvalgte persontog. Planen identifiserte også at investering i nødvendig infrastruktur for å bedre nettdækningen langs jernbanen tilsier at det er krav om konseptvalgutredning.

Konseptvalgutredningen er gjennomført i henhold til Finansdepartementets rundskriv R-108/19 om statens prosjektmodell som angir struktur for prosessen og rapporten slik vist i figur 0-1.

Figur 0-1 Fasene i KVU-prosessen



Jernbanedirektoratet har engasjert Multiconsult og BWCS Ltd som konsulenter for utredningen.

Sammendrag

Samferdselsdepartementet har i supplerende tildelingsbrev av 5. april 2019 gitt Jernbanedirektoratet i oppdrag å utarbeide konseptvalgutredning (KVU) for nettdekning langs jernbanen. Konseptvalgutredningen ser på ulike konsept for styrket mobildekning langs alle eksisterende jernbanestrekninger med persontransport – både inne i tunneler og utenfor.

En rekke pågående og fremtidige prosjekter har grenseflate til utbygging av bedre mobildekning langs jernbanen. Dette gjelder spesielt

- KVU Nødnett (2020) som anbefaler at nødnettene i fremtiden skal benytte de kommersielle mobilnettene som kommunikasjonsbærer. Det innebærer at det bør være kommersiell mobildekning langs jernbanen for at nødnettene skal ha samband dersom det oppstår hendelser langs jernbanen.
- Norske Togs prosjekt for å installere mobilforsterkere i togene, slik at mobilsignalene utenfor toget skal nå inn til passasjerene. Dette er en forutsetning for at denne KVUen kan fokusere på dekning langs jernbanesporet.
- Bane NORs prosjekter for å opprettholde driften av GSM-R og siden oppgradere til FRMCS
- Telias forpliktelse til å bygge mobildekning på utvalgte strekninger innen 2025, som de påtok seg gjennom Nkoms frekvensauksjon i 2019.

Både mobiloperatørene (Telenor, Telia og ICE) og Bane NOR er sentrale i utbyggingen av mobildekning langs jernbanen. Alle aktører har derfor inngått i den utvidete prosjektgruppen for denne KVUen. Dette har vært en berikelse for prosessen og kvaliteten på sluttresultatet.

Konseptvalgutredningen er gjennomført i henhold til Finansdepartementets rundskriv R-108/19 om statens prosjektmodell som angir struktur for prosessen og rapporten som vist i Figur 1-1 (Finansdepartementet, 2019).

Problembeskrivelse

Målinger som utføres av Bane NOR og Simula viser at mobildekningen langs jernbanen er dårlig langs mange strekninger og i de aller fleste tunnelene. Kundeundersøkelser utført av Vy viser at kundene er misfornøyd med internetttilgangen på sin togreise.

Dekningen er dårlig langs mange jernbanestrekninger fordi mobiloperatørene ikke har sett bedriftsøkonomisk lønnsomhet i å bygge ut mobilnettene sine i disse områdene. Kundegrunnlaget består ofte bare av togpassasjerer og det forsvare ikke kostnadene ved å bygge ut mobildekning. I tillegg gjør avstanden til etablert infrastruktur det ekstra dyrt å bygge ut mobildekning langs en del av de mest perifere jernbanelinjene. Det ventes ingen vesentlige endringer i dette investeringsbildet fremover, så situasjonen ventes å vedvare. Passasjerenes forventninger til mobildekning på reisen antas å øke i takt med at annen digital infrastruktur i samfunnet forbedres. Misnøyen med internetttilgangen på togreisen ventes følgelig å bli verre.

På noen strekninger vil situasjonen imidlertid bli bedre. Nye tunneler som Blixtunnelen på Follobanen og Arnatunnelen mellom Bergen-Arna bygges ut med repeateranlegg som gir mobildekning inne i tunnelen. Dessuten har Nkom gjennom en frekvensauksjon i 2019 inngått avtale som forplikter Telia til å bygge mobildekning langs noen utvalgte strekninger, blant annet IC-triangelet mellom Skien, Halden og Lillehammer. Forpliktelsen gjelder ikke for tunnelene.

Behov

Samfunnet ønsker økt andel miljøvennlige reiser. Å legge til rette for mer effektiv utnyttelse av reisetid på toget vil stimulere til økt andel togreiser og derigjennom økt andel miljøvennlige reiser. Bedre mobildekning langs jernbanen vil være et viktig stimuli til dette. Da kan passasjerene benytte reisetiden bedre eller bli underholdt slik at de opplever reisetiden på toget som mindre belastende.

Det prosjektutløsende behovet er definert som

Det er behov for bedre mobildekning om bord i tog for å legge til rette for effektiv bruk av reisetid

For å oppnå økt andel togreiser gjennom utbygging av mobildekning så må det bygges et robust og fremtidsrettet nett. Mobilnettet bør levere hastigheter som gjør det mulig å benytte de fleste nettjenester på toget. Dette defineres som God dekning. Som et minimum bør digitale tjenester som epost, nedlasting av nettsider, nettbank, filnedlasting av få små filer, strømming av lyd osv. fungere relativt godt. Det defineres som Middels dekning.

For KVUen er det lagt til grunn at 5 Mbps per samtidig, aktiv mobilbruker er tilstrekkelig til å levere en God kvalitet på digitale tjenester. Dette er i overensstemmelse med det alle mobiloperatørene mener er nødvendig kapasitet. For å dekke Et minimum av digitale tjenester vil kreve minst 1,25 Mbps per samtidig, aktiv mobilbruker.

Mål og rammebetingelser

Ut fra problembeskrivelsen og behovsanalysen formuleres et samfunns mål som beskriver den utviklingen som prosjektet skal bidra til.

Økt verdiskaping gjennom bedre utnyttelse av reisetid og økt andel miljøvennlige reiser

Med utgangspunkt i samfunns målet er det definert to effektmål for utredningen:

- Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt
- Økt andel togreiser

Gjennom å tilby en mobildekning langs jernbanen som tillater bedre utnyttelse av digitale tjenester ønsker man at passasjerene skal oppleve reisetiden som kortere eller mindre belastende. Gode digitale tjenester legger til rette for at passasjerene kan utnytte tiden til gjøremål de ellers ville gjort før eller etter reisen, eller det legger til rette for at passasjerene opplever at reisen går raskere, for eksempel ved å benytte digitale underholdningstjenester.

Gjennom å redusere den opplevde belastningen ved å reise med tog skal togets konkurransekraft styrkes, slik at en økt andel av reisene i samfunnet gjøres med tog.

Konseptene som skal vurderes i utredningen må tilfredsstillende et sett med rammebetingelser. Disse rammebetingelsene skal sikre at det

- Velges konsepter som er bedriftsøkonomisk lønnsomme for private aktører, slik at konseptet faktisk kan bli realisert
- Kapasiteten som bygges i mobilnettet langs jernbanen får en nødvendig minimumskapasitet.
- Anbefales løsninger som ikke strider med EUs regulativ for statsstøtte.

Mulighetsrom

Arbeidet med å utforske mulighetsrommet for konseptvalgutredningen inkluderer flere verksted både med eksterne aktører og internt i prosjektgruppen. Verkstedene identifiserte en rekke ideer og tiltak for bedre nettdækning langs jernbanen. Mange ideer var interessante, slik som bruk av satellittbasert kommunikasjon, men ble ikke vurdert å være realistiske i nær fremtid.

De mest aktuelle ideene ble tatt med videre til konseptutviklingen. Til sammen ti konsepter ble identifisert i tillegg til referansealternativet. De skilte seg fra hverandre langs tre dimensjoner:

- Dekning og kapasitet i tunneler
- Dekning og kapasitet utenfor tunneler
- Dekning og kapasitet for ulike typer strekninger

Med utgangspunkt i rammebetingelsene ble seks konsepter silt ut. Fire konsepter – i tillegg til referansealternativet – ble tatt videre til alternativanalysen.

Alternativanalyse

Prosjektgruppen utviklet en egen modell for bruk i alternativanalysen. Hensikten med å utvikle modellen har vært

- Utvikle en robust modell som kunne anvendes i analysen av ulike tekniske konsepter
- Bruke passasjertall til å beregne behovet for mobilkapasitet på enhver strekning i nettet.
- Bruke dekningsmålinger til å identifisere strekninger der mobildekningen bør styrkes
- Beregne investerings og driftskostnader for ulike tekniske konsepter
- Inkludere samfunnsøkonomisk nytte av å bedre mobildekningen
- Kunne gjennomføre kost-/nyttevurderinger ned på strekningsnivå, for aggregering til prioritetsstrekkningsnivå
- Kunne gjennomføre sensitivitetsanalyser på viktige variabler og parametere

Modellen har hentet input fra en lang rekke kilder slik som

- Jernbanenettet med stasjoner, tunneler og strekninger i åpent lende fra Bane NOR
- Passasjertall per strekning per år fra Vy
- Høyeste forventede passasjertall per tog per strekning fra Jernbanedirektoratet og Vy
- Dekningsmålinger utført av Bane NOR sin målevogn
- Kostnader ved å bygge mobildekning i tunnel fra Bane NOR
- Kostnader ved å bygge mobildekning i frittland fra mobiloperatørene
- Beregnet nytte av forbedret mobildekning fra Jernbanedirektoratet og Multiconsult.

Et viktig bidrag til analysen har vært TØIs nye verdsettingsfaktorer for Dårlig, Middels og God mobildekning på reise. Ved hjelp av disse faktorene har utredningen beregnet årlig nytte for togpassasjerene. I praksis knyttes nytten opp til passasjerenes verdsetting av tid, og verdien av at reisetiden oppleves som kortere eller mindre belastende. Beregningene viser at bruttonytten knyttet til bedre mobildekning er betydelig.

Modellen anvender strekningen mellom to nabostasjoner betjent av persontog som byggekloss. Alle kostnader og nyttevirkninger beregnes per nabostasjonstrekning. Behovet for mobildekning på en strekning baseres på det maksimale antallet passasjerer som ventes å være på et tog som passerer strekningen, samt hvilket ambisjonsnivå (Dårlig, Middels, God) som skal bygges ut. Mobildekningen i referansealternativet baseres på målinger utført av Bane NORs målevogn. Gapet mellom behov og dekning identifiserer behovet for investeringer i kapasitet i tunnel og frittland. Kostnadene til investering og drift beregnes basert på enhetskostnader fra Bane NOR (tunneler) og mobiloperatørene (frittland).

Med utgangspunkt i dette kan modellen beregne kost-/nytte av å øke kvaliteten i mobildekningen per nabostasjonsstrekningen. Disse verdiene kan aggregeres til prioritetsstrekninger, prioritetsgrupper og samlede tall for hele jernbanenettet.

En usikkerhetsanalyse er innhentet fra Metier OEC. Usikkerhetsanalysen viser at de ulike konseptene har et forventet påslag som varierer mellom -5% og 7%. For alle fire konsepter utgjør eksterne usikkerhetsfaktorer den største usikkerheten.

De fire konseptene er analysert både med utredningens egenutviklede modell og med Jernbanedirektoratets SAGA-modell (på et overordnet nivå). Begge modeller viser at alle fire konsepter gir netto nytte for samfunnet, og har en netto nåverdi per budsjettkrone større enn 1. De to modellene har ulik hensikt. Utredningens egen modell har til hensikt å etablere oversikt over tiltak, etablere kostnadsestimatene og sammenlikne konseptene innbyrdes. SAGA-modellens hensikt er å analysere nytte for samfunnet etter metoder og forutsetninger som er konsistente for alle prosjekter i sektoren. Siden begge elementer er viktige i ulik kontekst gjengis både samfunnsøkonomiske resultater (NNV/NNB)¹ og forventet prosjektkostnad (P50)².

Konseptet med ambisjon om å bygge Middels god mobildekning langs alle jernbanestrekninger (TECH02) gir både dårligst trafikantnytte (7,3 mrd.) og samfunnsøkonomisk netto nåverdi (NNV) med 4,95 mrd. kroner og netto nåverdi per budsjettkrone (NNB) på 2,49. Forventet total prosjektkostnad inkl. drift er på 2,1 mrd. kroner.

Konseptet med ambisjon om å bygge God mobildekning langs alle jernbanestrekninger (TECH04) gir best brutto trafikantnytte med 11,8 mrd. kroner. Det er også det dyreste konseptet, hvor NNV er på 7,4 mrd. og NNB er 2,01. Forventet total prosjektkostnad (P50) er på 4 mrd. kroner.

Konsept TECH10 er utformet slik at det optimaliserer samfunnsnyttene ved å tilpasse ambisjonsnivået for mobildekningen i henhold til hva som gir best nytte på hver enkelt nabostasjonsstrekning. Der samfunnsnyttene er negativ anbefaler konseptet videreføring av dagens situasjon. Konseptet gir en NNV på 7,7 mrd. kroner og NNB er på 4,21. Forventet total prosjektkostnad (P50) er på 2 mrd. kroner.

Konsept TECH11 er utformet som TECH10, men sikrer at alle strekninger minimum får Middels dekning. Konseptet gir NNV på 7,1 mrd. kroner og NNB er 2,81. Forventet total prosjektkostnad (P50) er på 3,6 mrd. kroner.

Tabell 0.1 under gir oversikt over forventede kostnader og nytteverdier fra to ulike kilder; henholdsvis prosjektets egen estimatmodell og SAGA.

¹ Kilde: Saga

² Kilde: Prosjektets estimatmodell inkl forventet tillegg fra Usikkerhetsanalyse

Tabell 0.1. Oversikt over kostnader og nytteverdier

Prosjektkostnader (P50) (kilde: prosjektets estimatmodell)	TECH 02	TECH 04	TECH 10	TECH 11
Forventet investeringskostnad	1 719	3 293	1 586	2 225
Driftskostnad (10år)	425	672	388	519
Total prosjektkostnad	2 145	3 965	1 974	2 744
Andel tunnelkostnad	65%	68%	63%	61%
Nyttekostnadsanalyse (kilde SAGA) (mill. 2019 kr i 2022)	TECH 02	TECH 04	TECH 10	TECH 11
Trafikantnytte, togpassasjerer i referanse	7 333	11 794	9 876	10 178
Investering for det offentlige	-1 985	-3 669	-1 826	-2 539
Endring i skattefinansiering	-397	-734	-365	-508
Samfunnsøkonomisk netto nåverdi (NNV)	4 951	7 392	7 685	7 131
Netto nåverdi per budsjettkrone (NNB)	2,49	2,01	4,21	2,81

Kostnad knyttet til mobildekning i tunnel utgjør om lag 2/3 av kostnaden. Mest for TECH04, minst for TECH11.

Konseptvalg

TECH02 ventes ikke å gi passasjerene tilstrekkelig god tilgang til digitale tjenester, og det ventes kun en begrenset økning i antall togreiser i dette konseptet. Middels dekning anses ikke å være robust for fremtidens behov. Konseptet utnytter heller ikke til fulle den investeringen som Telia har fått ansvar for å realisere på sine strekninger. Konseptet anbefales ikke.

TECH10 vil gi et jernbanenett der mobildekningen varierer fra null/Dårlig til God. Passasjerer på lengre reiser vil oppleve at mobildekningen og -kapasiteten varierer underveis på samme reise. Det er også fare for at tunneler forblir uten dekning langs strekninger der Telia bygger God dekning utenfor tunnelene. Konseptet anbefales ikke.

TECH11 vil også gi et jernbanenett der mobildekningen varierer, men variasjonen vil være mindre enn for TECH10. Det vil være Middels eller God dekning langs hele jernbanenettet, men det vil kunne oppleves å variere underveis for passasjerer på lengre reiser. Som for TECH10 er det fare for at det kun blir Middels dekning i tunneler på strekninger der Telia bygger God dekning utenfor tunnelene. Kostnaden ved TECH11 er vesentlig lavere enn for TECH04, men mobildekningen vil også bli mindre robust og fremtidsrettet.

En investering med ambisjon om å gi God dekning langs hele jernbanenettet, slik TECH04 gjør, gir den mest fremtidsrettede løsningen som lettest kan utvikles i takt med nye digitale tjenester. TECH04 gir et løft for fremtiden ved å bygge et mer finmasket nett av basestasjoner som åpner for bruk av høye frekvenser, og det bygges repeateranlegg i tunnelene som er robuste, vil tåle vekst i passasjerantallet og er godt egnet for nytt Nødnnett. Basert på helhetsvurdering anbefales det å gå videre med TECH04.

Føringer for forprosjektet

Denne utredning viser at det er lønnsomt for samfunnet å etablere mobildekning langs jernbanen. Mobildekningen blir imidlertid ikke realisert av de kommersielle aktørene fordi det ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt. Derfor må staten gi økonomiske insentiver slik at det blir bedriftsøkonomisk lønnsomt for mobiloperatørene å etablere tilstrekkelig mobildekning og -kapasitet i frittland. Samtidig må det investeres i egne anlegg for å gi mobildekning i tunnelene. Dette bør bli et oppdrag til Bane NOR, med tilhørende finansiering.

Det anbefales at utbyggingen skjer gjennom utlysning av konkurranser, der mobiloperatørene forventes å gi tilbud. Mobiloperatøren som tilbyr seg å bygge ut mobildekning for det laveste finansieringstilskuddet tildeles oppdraget. Det anbefales at det lyses ut flere konkurranser, med pakker av strekninger, for ikke å påvirke balansen i mobilmarkedet. Det er viktig med betingelser i konkurransene som sikrer lav etableringssterskel for alle mobiloperatørene som vil bygge mobildekning langs jernbanen.

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
1 Innledning	12
1.1 Bakgrunn	12
1.2 Metode	13
1.3 Medvirkning og grensesnitt til andre prosjekter	14
1.4 Begreper	15
2 Problembeskrivelse	16
2.1 Avgrensning av konseptvalgutredningen	16
2.2 Mobilnettet	16
2.3 Mobildekning langs jernbanen – Hva er problemet?	19
2.4 Konsekvenser av dårlig mobildekning	22
2.5 Hva er årsakene til problemet?	23
2.6 Forventet utvikling	25
2.7 Ytre miljø	30
2.8 Oppsummering	31
3 Behovsanalyse	33
3.1 Normative behov	34
3.2 Etterspørselsbaserte behov	34
3.3 Interessentanalyse	38
3.4 Oppsummering og prosjektutløsende behov	41
4 Strategiske mål og rammebetingelser	43
4.1 Samfunns mål	43
4.2 Effektmål	44
4.3 Rammebetingelser	45
5 Mulighetsrom	47
5.1 Metode	47
5.2 Kreativ gjennomgang av tiltak	49
5.3 Konseptutvikling	50
5.4 Innhold i konseptene	54
5.5 Konsepter	55
5.6 Siling av konsepter	60
5.7 Oppsummering av mulighetsrom	62
6 Alternativanalyse	64
6.1 Metode	64
6.2 Modell	65
6.3 Evalueringkriterier	66
6.4 Analyse av konseptene	67
6.5 Oppsummering	75
6.6 Sensitivitetsanalyse	78
6.7 Usikkerhetsanalyse	80
7 Samfunnsøkonomisk analyse	87
7.1 Samfunnsøkonomisk metode	87
7.2 Konsepter	89
7.3 Beregning av nytte	89
7.4 Prissatte virkninger	92

7.5	Ikke-prissatte effekter	92
7.6	Konklusjon og anbefaling fra samfunnsøkonomisk analyse	93
8	Konseptvalg og anbefalinger.....	94
9	Føringer for forprosjekt	96
9.1	Grensesnitt mot andre prosjekter	96
9.2	Risikoreduserende tiltak.....	97
9.3	Fordeling mellom offentlige og private investeringer.....	97
9.4	Eierskap til infrastruktur	102
9.5	Konkurransen	106
9.6	Prosjekteier.....	109
9.7	Covid-19.....	109
10	Referanser.....	111
11	Ordforklaringer	113
12	Oversikt over delrapporter.....	116

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Samferdselsdepartementet har i brev av 5. april 2019 gitt Jernbanedirektoratet i oppdrag å utarbeide konseptvalgutredning (KVU) for nettdækning langs jernbanen. Dette oppdraget ble gitt på bakgrunn av at Jernbanedirektoratets utredning «Plan for bedre nettdækning til togreisende» av 25.04.2018 viser at investeringskostnadene ligger over terskelverdien i statens prosjektmodell som den gang var 750 mill. kroner. Nåværende terskelverdier er henholdsvis 300 mill. kroner for digitaliseringsprosjekter og 1000 mill. kroner for infrastrukturprosjekter.

Konseptvalgutredningen ser på ulike konsept for styrket mobildekning langs alle eksisterende jernbanestrekninger med persontransport. Utredningen berører dermed i liten grad arealer utenfor en korridor langs eksisterende jernbanenett.

Den store geografiske utstrekningen av tiltaksområdet (det norske jernbanenettet) og et stort antall relativt små tiltak skiller denne KVUen fra utredninger av mer konsentrerte samferdselsprosjekt med store lokale (og regionale) virkninger i et mindre geografisk område. Dette er forhold som tilsier at prosess, blant annet forholdet til lokale og regionale interessenter, blir annerledes. Da arealverdier, med unntak av en relativt smal korridor langs jernbanen, påvirkes i relativt liten grad, er det mindre relevant å involvere lokale og regionale myndigheter i utredningsarbeidet.

KVUen legger vekt på å belyse realistiske finansieringsløsninger for å realisere aktuelle konsept. Det er vesentlig fordi prosjektet involverer flere sektorgrenser og forvaltningsnivåer, noe som skaper strukturelle og komplekse sammenhenger. Blant annet vil private selskaper være viktige aktører i utviklingen av bedre mobildekning langs jernbanenettet.

De reisende forventer stabil og god mobildekning med god kapasitet³. Stadig flere nettbaserte tjenester betyr økt behov for god mobildekning, også når man reiser med tog. I takt med utviklingen stiger togpassasjerers forventninger til god kapasitet i mobilnettet i tiden fremover.

Om bord i toget kan en i dag enten benytte eget mobilabonnement eller wifi-tjenesten som tilbys av togoperatør for bruk av internettjenester ombord. Wifi-tjenesten er avhengig av mobildekning for å fungere. God opplevd kvalitet i bruk av netttjenestene forutsetter både kontinuerlig dekning og tilstrekkelig kapasitet i mobilnettet langs jernbanen.

For å oppnå kontinuerlig dekning og tilstrekkelig kapasitet må mobilsignalene være tilgjengelige både i frittland langs jernbanen og inne i jernbanetunnelene. I tillegg må signalene ledes inn i toget til passasjerene. Siden moderne togkarosserier i praksis fungerer som faradaybur⁴, dempes mobil signaler kraftig igjennom gjennom togets karosseri og vinduer⁵. Signalene må ledes inn til de reisende ved hjelp av mobilforsterkere og/eller wifi-utsyr. I 2018 ble det besluttet at Norske tog skal installere nye mobilforsterkere som anbefalt i «Plan for bedre nettdækning til togreisende» (Jernbanedirektoratet, 2018).

Økt kvalitet både på tilgang til internett og mobilanrop for de togreisende avhenger av bedre dekning og kapasitet både i mobiloperatørens⁶ nett og i Bane NOR sine tunneler. I denne konseptvalgutredningen er det derfor valgt å bruke «mobildekning» som begrep. Begrepet «nettdækning» brukes i hovedsak kun ved referanse til departementets bestilling, eller ved kilder som benytter seg av dette begrepet.

³ Kundetilfredshetsundersøkelsene til Vy. Se mer informasjon i kapittel 2.3.1, og Delrapport 1 (Delrapport 1 - Problembeskrivelse, 2020)

⁴ <https://snl.no/faradaybur>

⁵ Vinduene har en metallfilm som hindrer oppvarming i toget grunnet solinnstrålingen.

⁶ Med mobiloperatører menes i denne sammenheng mobilnettverksoperatører (MNO-er) som eier radioaksessnett.

1.2 Metode

Konseptvalgutredningen er gjennomført i henhold til Finansdepartementets rundskriv R-108/19 om statens prosjektmodell som angir struktur for prosessen og rapporten som vist i Figur 1-1 (Finansdepartementet, 2019).

Utredningen starter med en problembeskrivelse som redegjør for dagens situasjon og forventet utvikling. Problembeskrivelsen klargjør konsekvenser av og årsaker til problemet. Deretter kommer behovsanalysen som kartlegger berørte interessenter og deres behov i et overordnet samfunnsperspektiv, mest mulig uavhengig av teknologiske løsninger. Behovsanalysen munner ut i formulering av et «prosjektutløsende» behov som danner grunnlaget for formulering av samfunns mål og effektmål⁷.

I henhold til KVVU-metodikk gjennomføres en bred vurdering av teknologisk mulighetsrom. Dette mulighetsrommet vurderes ut fra hva som er beste løsning ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv.

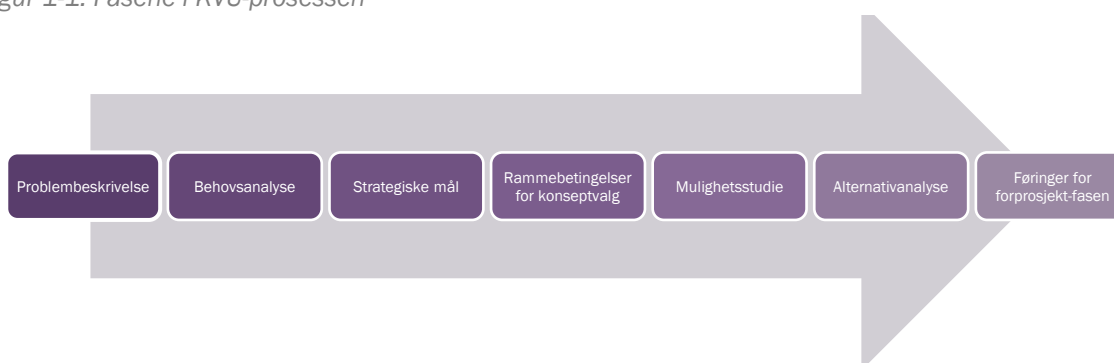
Firetrinnsmetodikken benyttes i arbeidet. Metodikken baseres på følgende prinsipper:

1. Tiltak som påvirker transporttetter og valg av transportmiddel prioriteres
2. Tiltak som gir mer effektiv utnyttelse av eksisterende infrastruktur
3. Forbedringer av eksisterende infrastruktur (mindre investeringer)
4. Nyinvesteringer og større ombygginger av infrastruktur

Når det gjelder punkt 1 i firetrinnsmetodikken, så anses ikke dette punktet å være relevant. Det er ønsket politikk å legge til rette for at flere reisende velger å benytte kollektivtransport. Ved å forbedre nettdekningen så bidrar det til å øke toget som attraktivt reisemiddel. Tiltaket kan derved bidra til at reisende velger tog som transportmiddel og kan således avlaste veinettet og spare samfunnets miljøbelastning.

Gitt det komplekse forretningsbildet og ulike rammebetingelser i privat og offentlig sektor vurderes ulike finansieringsmodeller og eventuelle føringer for ansvars- og kostnadsdeling mellom staten og de kommersielle aktørene. Det gjøres en overordnet vurdering av ulike finansieringsmodeller og hvorledes de påvirker tiltakenes samfunnsøkonomiske lønnsomhet. I dette bildet vil eventuell skjevhet mellom statens samfunnsøkonomiske gevinst eller utgift settes i sammenheng med de kommersielle aktørenes behov for lønnsomhet.

Figur 1-1. Fasene i KVVU-prosessen



⁷ KVVU-metoden er beskrevet i Finansdepartementets veiledere for KS-ordningen, se blant annet Rundskriv R 108/19 «Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten» (Finansdepartementet, 2019)

1.3 Medvirkning og grensesnitt til andre prosjekter

Utredningen er gjennomført av en sentral- og utvidet prosjektgruppe. Gruppens hovedrepresentanter har vært følgende:

Navn	Firma	Prosjektrolle	Prosjektgruppe
Geir Hansen	Jernbanedirektoratet	Prosjektleder	Sentral
Maria Hollen	Jernbanedirektoratet	Ass. Prosjektleder/prosjektsekretær	Sentral
Adrian Balachandran	Jernbanedirektoratet	Samfunnsøkonomi	Sentral
Kaj W. Halvorsen	Multiconsult	Prosessleder	Sentral
Anders Jordbakke	Multiconsult	KVU-rådgiver	Sentral
Chris Butler Donelly	BWCS	Rådgiver telecom	Sentral
Peter Cartwright	BWCS	Rådgiver telecom	Sentral
Kristin Due Hauge	Bane NOR SF	Rådgiver mobildekning	Utvidet
Morten Helle	Bane NOR SF	Rådgiver mobildekning	Utvidet
Christian Duysen	ICE	Rådgiver mobildekning	Utvidet
Asle Kirkesæther	Telenor	Rådgiver mobildekning	Utvidet
Steffen Amundsen	Telia	Rådgiver mobildekning	Utvidet

I tillegg har mange dyktige ressurser i nevnte virksomheter bistått prosjektgruppemedlemmene med faglig ekspertise etter behov.

Relevante aktører og interessenter er identifisert og omtalt i Behovsanalysen (Delrapport 2 - Behovsanalyse, 2020), og de mest sentrale er beskrevet i kapittel 3.3. Et verksted ble gjennomført i mars 2019, med en lang rekke interessenter til stede (Rapport fra verksted: Konseptvalgutredning om nettdekning på tog, 2019). Mobiloperatørene og Bane NOR har inngått i en utvidet prosjektgruppe for denne konseptvalgutredningen.

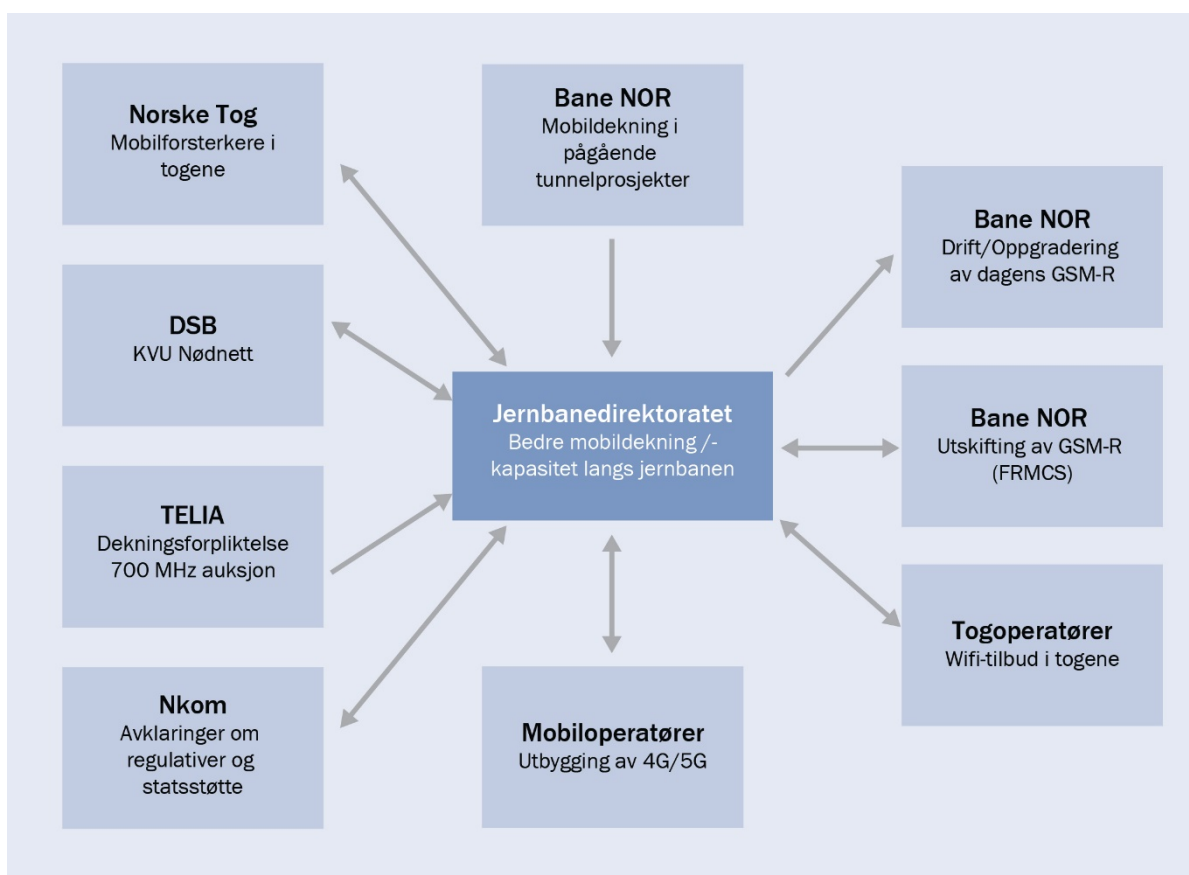
Det er gjennomført tre møter med utvidet prosjektgruppe. Alle medlemmer av utvidet prosjektgruppe har også hatt anledning til å gi tilbakemelding på hovedrapporten og delrapport 1 – 4. Viktige forutsetninger for beregning av kapasitet i mobilnettet er særskilt avklart med mobiloperatørene.

Flere pågående prosjekter er identifisert som relevante for denne utredningen. Bane NOR har flere prosesser som enten berører, eller som med fordel kan koordineres med, utbygging av mobildekning langs jernbanen. Flere bilaterale møter er avholdt med Bane NOR gjennom hele prosessen.

Det er avholdt bilaterale møter med togoperatørene og alle bekrefter at de ønsker å videreføre/styrke dagens wifi tilbud om bord i togene.

Det er gjennomført to eller flere bilaterale møter med hver mobiloperatør der mobiloperatøren i første omgang beskrev sine planer og ga sine generelle synspunkter. Senere møter har blant annet drøftet viktige forutsetninger for beregning av kapasitet i mobilnettene som legges til grunn for denne utredningens anbefaling. Møtene med Telia har også drøftet deres dekningsforpliktelser knyttet til 700 MHz-auksjonen som ble gjennomført i 2019, se nærmere omtale i kapittel 2.6.3.

Figur 1-2. Prosjekter med grenseflate mot KVU Bedre nettdekning



Det er gjennomført to møter med KVU Nødnett, der det blant annet er avklart grensesnitt mellom de to KVUenes beregning av nytte og kostnader. Alle nytter og kostnader knyttet til bedre mobildekning langs jernbanen inkluderes i KVU Bedre nettdekning langs jernbanen.

Det har vært en direkte dialog mellom Jernbanedirektoratet og Norske Tog. Norske Tog har hatt hovedrapporten til gjennomlesing og kommet med innspill til den foreliggende rapporten.

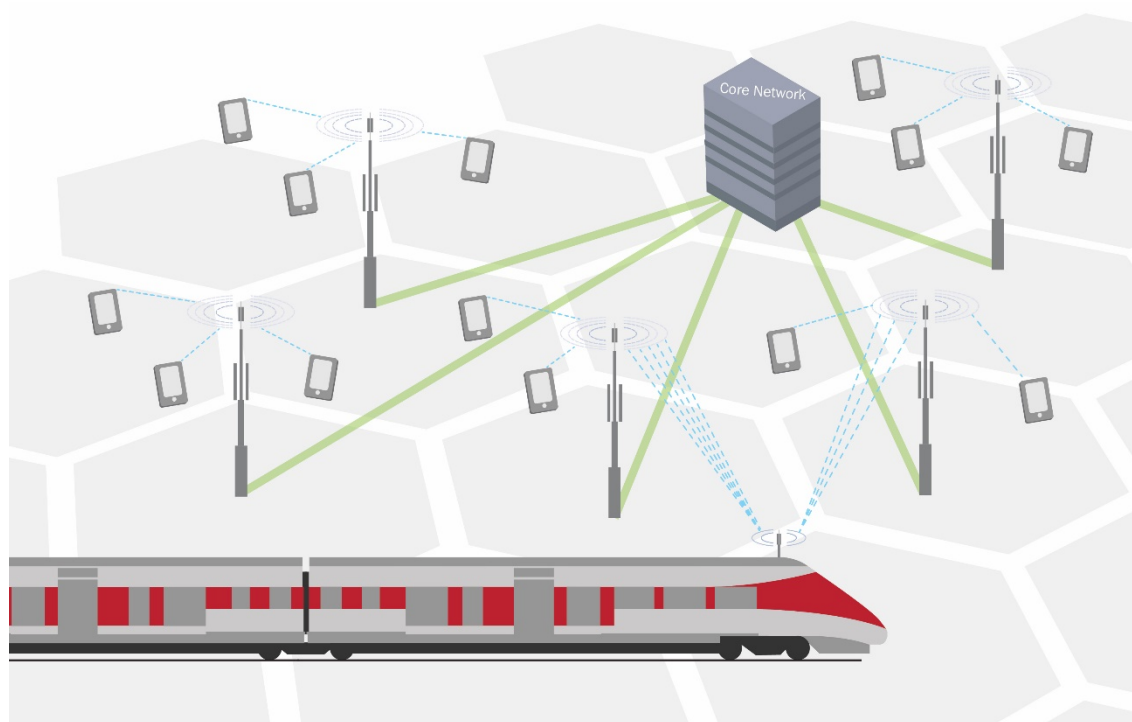
Nasjonal kommunikasjonsmyndighet (Nkom) har ikke inngått i utvidet prosjektgruppe, men har likevel vært en viktig bidragsyter. Det er avholdt tre bilaterale møter med Nkom, der Nkom blant annet har vurdert og gitt innspill til føringer for forprosjekt i kapittel 9.

Togkundens behov er først og fremst hørt gjennom kundetilfredshetsundersøkelsene som er gjennomført av Vy. Se mer informasjon i kapittel 2.3.1, og Delrapport 1 (Delrapport 1 - Problembeskrivelse, 2020)

1.4 Begreper

Det foreligger en egen liste med ordforklaringer til utredningen, se kapittel 11.1.

Figur 2-3. Hovedelementer i mobilnettet

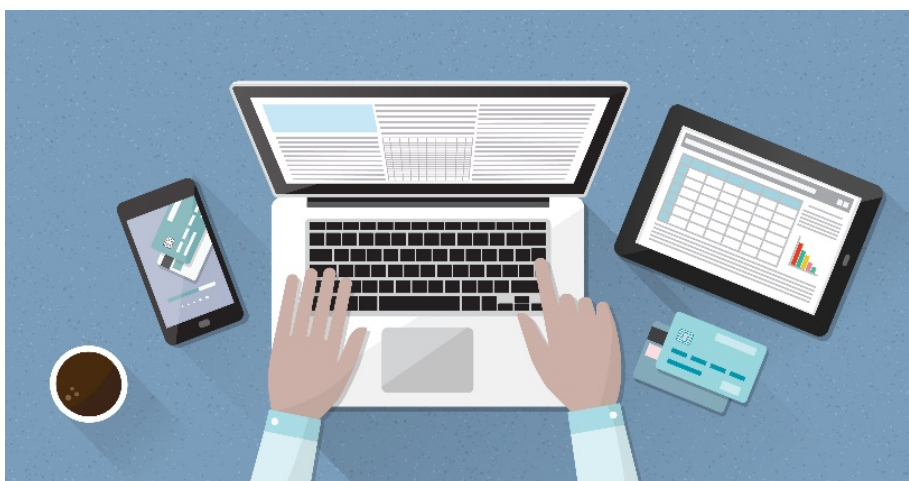


Figuren viser hvordan basestasjoner langs jernbanen danner et radioaksessnett som gir mobildekning både til terminaler i området, og terminaler om bord i toget. Terminalene om bord i toget får hjelp av mobilforsterkeranlegg montert på toget.

Brukerne av mobilnettet kan ha mobiltelefoner, nettbrett, laptop eller andre enheter som inneholder en mobil radiobasert sender/mottaker med SIM-kort. Fellesbetegnelsen for disse er terminaler, og brukeren betegnes som en abonnent. Mange terminaler kan også kommunisere trådløst ved hjelp av wifi. Wifi-nett er lokale trådløse nett med relativt kort rekkevidde som tilbyr internetttilgang til tilkoblede enheter. Wifi benytter andre frekvensbånd og annen teknologi⁸ enn mobilnett, og krever ikke at terminalen har et SIM-kort.

⁸ wifi er ofte en populærbetegnelse på IEEE 802.11; en serie standarder for trådløse lokalnett utgitt av standardiseringsorganet IEEE. Wi-Fi er egentlig et varemerke for «WiFi Alliance» og mer en teknologibetegnelse for produkter utviklet basert på IEEE802.11 standarden.

Figur 2-4. Mobilterminaler og abonnent



I denne utredningen brukes begrepet basestasjon primært om en lokalisering der det er etablert nødvendig passiv infrastruktur og en eller flere mobilnettoperatører har installert aktivt utstyr (antennener, sender- og mottakerutstyr). Basestasjoner kan være lett synlige ved forholdsvis høye antennemaster eller mindre synlige montasjeanordninger med antenneenheter montert på strategisk utvalgte bygninger eller liknende. En basestasjon i kommersielle mobilnett krever lokal stabil strømforsyning og høyhastighets datalinje for å kunne sette opp kommunikasjon til terminalene. Selve antenneenhetene kjennetegnes oftest som rektangulære bokser. Hver antenneenhet dekker et spesifikt landområde nær basestasjonen. Basestasjonene er via høyhastighets datalinjene koblet sammen i et kjernenett.

Figur 2-5. Basestasjon. Kilde: Telenor



Den trådløse kommunikasjonen mellom terminal og basestasjon opprettholdes gjennom radiosignaler. Radiosignalene sendes på ulike frekvenser. Frekvensene har ulike egenskaper som utnyttes av mobiloperatørene når de bygger ut mobilnettet. Lave frekvensområder (typisk 800-900 MHz) har lengre rekkevidde enn høye frekvensområder (typisk 1800 MHz og høyere). Ved å bruke høye frekvensområder oppnås større kapasitet for overføring av data, enn ved bruk av lave frekvensområder.

Tilgjengelig kapasitet påvirkes både av frekvensområde og størrelsen på tilgjengelig frekvensbånd. Jo større frekvensbånd (båndbredde) man har tilgjengelig, desto større mengder data eller høyere datahastigheter kan leveres innen det angitte frekvensområdet. Datahastighet som lar seg overføre mellom terminal og basestasjon avhenger blant annet av tilgjengelig båndbredde, antennteknologi,

avstand, antall brukere og interferens fra andre sendere. Dess flere samtidige brukere og dess lengre avstand mellom terminaler og basestasjon dess mindre samlet kapasitet klarer basestasjonen å levere til mobilterminalene.

Mobilsignalene kan nå inn i tunneler, men stort sett bare nær tunnelåpningene. Lenger inn i tunnelene trengs særskilte løsninger for å gi mobildekning. Dette kan blant annet være såkalte repeateranlegg bestående av mobilforstærkere og strålekabler montert langs veggene/taket i tunnelene. Basert på dagens repeaterløsning er tommelfingerregelen at hver repeater dekker om lag 500 metertunnellengde.

2.2.1 Dagens mobilnett

Norge har i dag tre kommersielle mobilnett drevet av de tre private mobilnettoperatørene ICE, Telenor og Telia. I tillegg til de kommersielle mobilnettene finnes to lukkede mobilnett: Nødnett (TETRA) og togradio (GSM-R)

Både Nødnett og GSM-R er regulert som private nett, og kan ikke benyttes som del av de offentlige nettene. Nødnett (TETRA) eies av Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap (DSB) og sikrer at nødnetatene har samband i store deler av Norge. GSM-R er Bane NOR sitt mobilnett og er primært bygget ut for å gi dekning langs hele jernbanenettet for operativ drift av jernbanen i Norge.

Infrastrukturen for mobilnettene langs jernbanen der mobiloperatørene har utfordringer kan i mange tilfeller deles, men tilpasninger vil i mange tilfeller være nødvendige. Allerede i dag deler mobiloperatørene, Nødnett og GSM-R blant annet plass i antennemast og teknisk rom på flere lokasjoner. Delingen er da etablert i form av leiekontrakter mellom aktørene. Krav til deling og tilgang til infrastruktur mellom de kommersielle mobiloperatørene er regulert i ekomloven⁹.

2.3 Mobildekning langs jernbanen – Hva er problemet?

Passasjerene er ikke tilfreds med internetttilgangen når de reiser med tog. Målinger fra Bane NOR og Simula underbygger at kapasiteten i mobilnettet er dårlig langs deler av jernbanenettet.

2.3.1 Kundetilfredshetsmålinger

Vy, tidligere NSB, gjennomfører kundetilfredshetsmålinger to ganger i året. Kundetilfredshetsundersøkelsene måler blant annet kundenes tilfredshet med internett-tilbudet om bord i toget de reiser med. Figur 2-6 viser hvordan andelene fornøyde og misfornøyde respondenter har utviklet seg fra høsten 2017 til våren 2019.

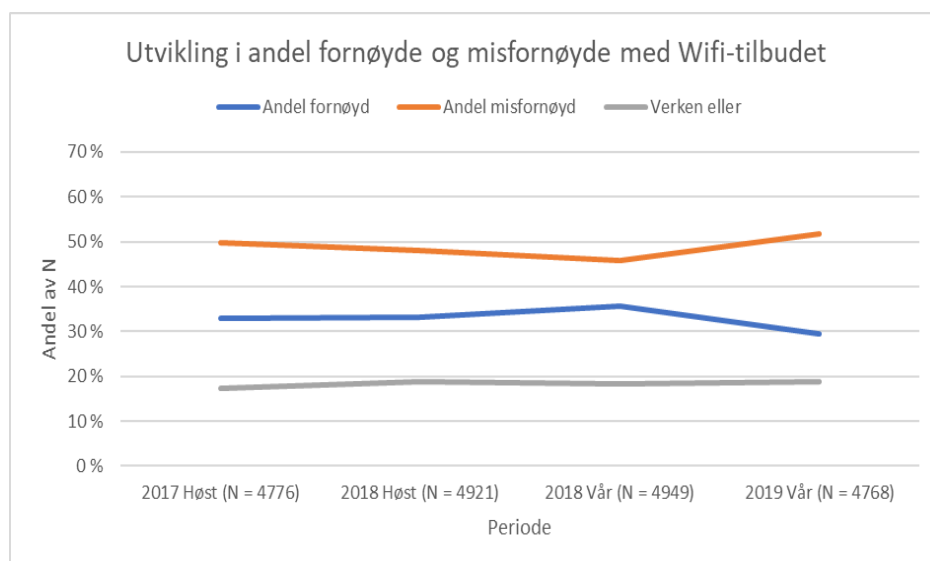
Våren 2019 oppga bare 29 prosent av respondentene at de var svært eller ganske fornøyde. Analyser viser at det er små forskjeller i misnøyen uavhengig av reisehensikt og reiselengde. Misnøyen avtar noe med stigende alder på passasjerene, og det er noen geografiske forskjeller. Av 27 strekninger er det bare fire strekninger der flere reisende er fornøyde enn misfornøyde.

⁹ Ekomloven: <https://lovdata.no/dokument/LTI/lov/2003-07-04-83>. I reguleringen er Telenor utpekt med sterk markedsstilling og derigjennom pålagt å tilby tilgang til mobilnett og infrastruktur når anmodning om det anses rimelig. Telia og Ice er ikke pålagt tilsvarende bestemmelse.

2.3.2 Simulas målinger

Simula er et norsk statlig eid forskningslaboratorium innenfor teknologi, kommunikasjons-systemer, IT og softwareløsninger. De har utført dekningsmålinger om bord på norske tog siden 2015. Målingene er gjennomført med fastmontert måleutstyr i et utvalg av vogner og togsett på ulike banestrekninger over en lengre tidsperiode. Simulas målemetode er relevant siden den måler hvordan den reisende opplever mobiltjenestene inne i selve toget. Simula har målt dekning (signalstyrke) både i tog med og uten mobilforsterker, og måledataene gir derfor ikke fullgod oversikt over teleoperatørens dekning i åpent lende. Resultatene fra Simula bør følgelig tillegges mindre vekt enn målingene fra Bane NOR, jf kapittel 2.3.3.

Figur 2-6. Utviklingen i tilfredshet med Wifi-tilbudet om bord på toget. Andel av N = dagtogpassasjerer med avgitt svar



Simula sine målinger viser at opplevelsen av dekning innendørs i tog på mange strekninger ikke er god nok. Brudd i nettilgangen er blant de største utfordringene. 2019-resultatene viser at mer homogen 4G-dekning og færre overganger for toget mellom 4G og 3G (eller eldre nettgenerasjoner) bidrar til å løfte den opplevde kvaliteten på mobildekningen. Øvrige resultater fra Simula sine målinger er å finne rapporten Norske mobilnett i 2018¹⁰ (Center for Resilient Networks and Applications, 2019).

2.3.3 Bane NORs målinger

Bane NOR utfører jevnlig målinger av teleoperatørens dekning langs de ulike banestrekningene med sin egen målevogn, ROGER1000. Målingene utføres ved bruk av utvendig takmonterte antenner, og gir et meget godt bilde av frekvenser og signalstyrken¹¹ utenfor toget. Basert på målingene fra målevognen kan Bane NOR beregne hvilken type dekningskvalitet som finnes langs jernbanesporet. Utredningen har fått

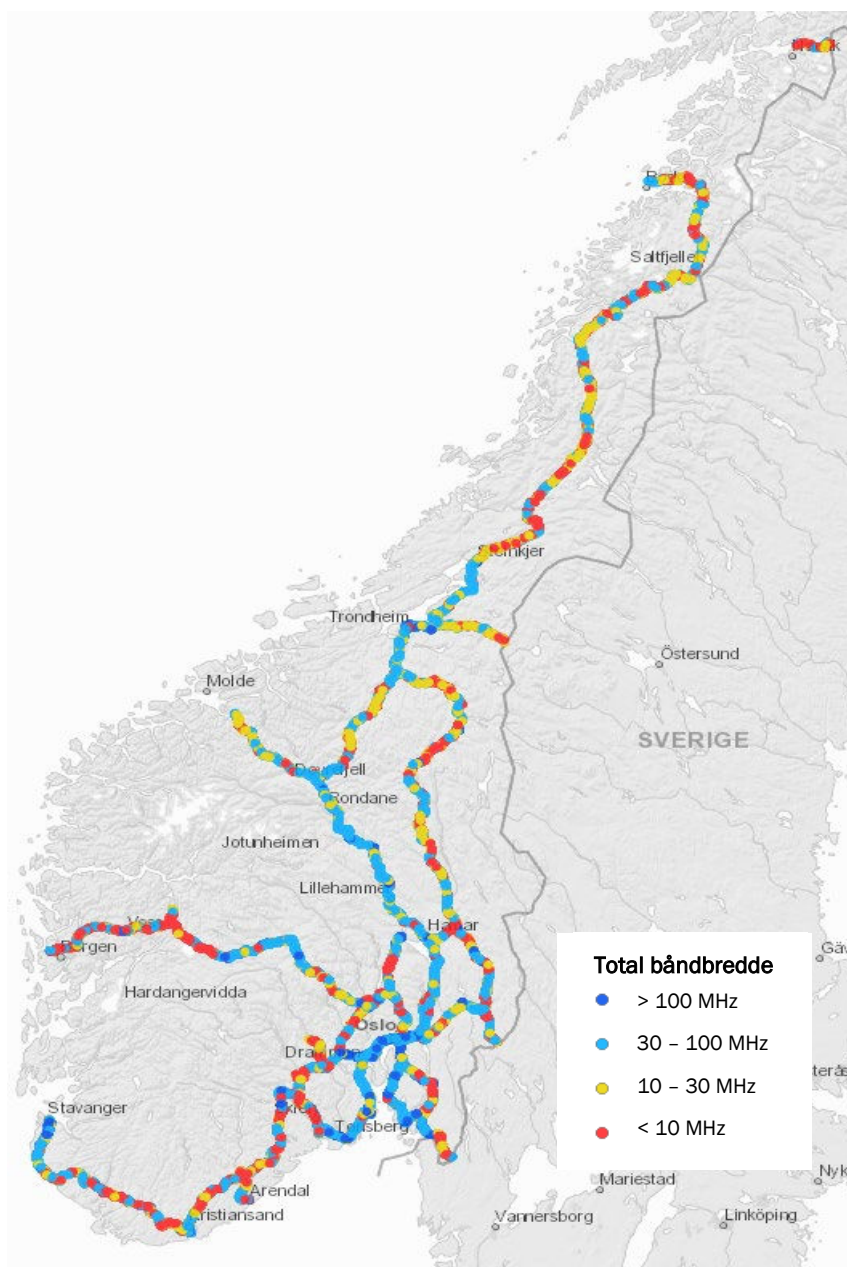
¹⁰ Rapporten for 2019 er ikke gjort tilgjengelig per 18.mai, 2020

¹¹ Signalstyrken angir styrken/kvaliteten i radiosignalene fra basestasjonen til klienten. Signalstyrken svekkes ved økt avstand til basestasjonen, eller av objekter (for eksempel fjell og bygninger) mellom klienten og basestasjonen.

tilgang til data som viser samlet tilgjengelig båndbredde¹² per målepunkt, fordelt på lave og høye frekvenser. Dataene viser også frekvenser som benyttes til 4G, og frekvenser som mobiloperatørene vil kunne benytte til 4G/5G i fremtiden.

Kartet i Figur 2-7 viser hvert enkelt målepunkt langs jernbanen og hvor mye båndbredde som totalt er tilgjengelig for fremtidig 4G-dekning, samlet for alle mobiloperatører.

Figur 2-7. Total båndbredde beregnet basert på observasjoner. Kilde: Bane NOR



¹² Signalstyrken angir styrken/kvaliteten i radiosignalene fra basestasjonen til klienten. Signalstyrken svekkes ved økt avstand til basestasjonen, eller av objekter (for eksempel fjell og bygninger) mellom klienten og basestasjonen.

Kartet viser at det er mobildekning er best i eller nær de store byene. I tillegg er det bygget ut mobildekning langs mange av pendlerstrekningen inn mot byene, og i øvrige befolkningsrike områder. I mer gravgrendte strøk er dekningen dårligere, for eksempel over Hardangervidda, indre deler av Agder, øverst i Østerdalen, over Dovre og stor deler av Nordlandsbanen. Strekningene der det måles dårlig dekning sammenfaller i stor grad med de strekingene der det måles stor misnøye blant passasjerene. Kartets oppløsning gjør at dårlig dekning i korte og middels lange tunneler ikke kommer så godt frem. Dekningen i tunneler er generelt begrenset, ettersom det er få tunneler som har installert repeateranlegg per i dag.

2.4 Konsekvenser av dårlig mobildekning

EUs regelverk for elektronisk kommunikasjon, European Electronic Communications Code (EECC), pålegger medlemsstatene å sørge for at alle forbrukere skal ha rimelig tilgang til bredbånd med tilstrekkelig hastighet til å kunne bruke et fastsatt minimumssett av tjenester fra årsskiftet 2020/2021.

Minimumssettet av tjenester innebærer bruk av epost, søkemotorer for å finne frem til informasjon, grunnleggende verktøy for læring, digitale aviser og nyheter, jobbsøking og nettvorking, digitale banktjenester, offentlige digitale tjenester, sosiale medier, føre samtaler/videosamtaler med standard kvalitet, og varekjøp på nett (Kommunal- og moderniseringsdepartementet, 2019).

Nkom setter krav til statsstøttede trådløse bredbåndsaksessnett for å sikre god ytelse og stabilitet hos sluttbrukerne. For trådløse nett som er delfinansiert med offentlige midler gjelder blant annet krav om stabile ned- og opplastingshastigheter på henholdsvis minimum 30 Mbps og 5 Mbps. Gjennom dialog med Nkom er det avklart at netthastighetene som legges til grunn er rettet mot lokasjoner med fast posisjon og der abonnentene typisk er husstander eller bedrifter med flere brukere som deler den samlede kapasiteten. Nkom gjør ikke de samme kravene gjeldende for et tog eller per togpassasjer. Denne KVUen er følgelig ikke bundet til de nevnte kravene om 30 Mbps og 5 Mbps, men står fritt til å definere egne hastighetsmål.

Målingene til Simula og Bane NOR viser at mobildekningen langs mange strekninger ikke leverer digital tjenestekvalitet i tråd med forventningene til forbrukere, Nkom og EU. Vys kundeundersøkelse viser at passasjerene er misfornøyde, noe som på sett og vis bekrefter det målte dekningsbildet. Lav kvalitet på mobildekningen fører til at passasjerer ikke får utført en del planlagte/ønskede digitale gjøremål, eller at de ikke kan benytte seg av for eksempel en underholdningsplattform på reisen.

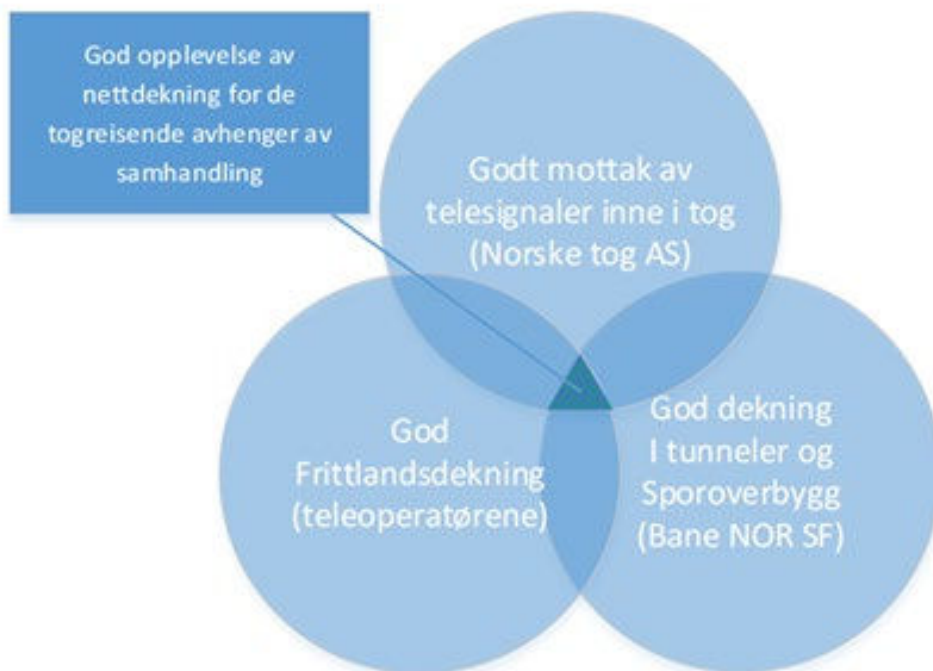
Når passasjerer som ønsker å jobbe ombord i toget forhindres av dårlig mobildekning, går det ut over verdiskapingen i samfunnet. Dersom passasjerer forhindres fra å utnytte tiden om bord i toget til digitale gjøremål som kunne effektivisert hverdagen deres, utnytter ikke jernbanen muligheten til å skape verdi for passasjerene gjennom effektiv bruk av reisetid. Det er også en utfordring at digitale reiseplanleggere og billetteringsløsninger om bord i togene ikke blir utnyttet til fulle uten kontinuerlig mobildekning.

Det er en overordnet målsetning at mer transport skal flyttes over til grønne alternativer som jernbane. Toget tilbyr korte, mellomlange og lange reiser, og konkurrerer med både fly, bil og andre fossile transportalternativer. På korte reiser konkurrerer lokaltogene med privatbilene. Busstilbudet i samme område er mer en kompletterende tjeneste enn en konkurrent til lokaltogene. På mellomlange reiser konkurrerer regiontogene og Intercity-togene med både bil og buss. På lange strekninger representerer fly og bil de sterkeste konkurrentene til fjerntogene (Transportøkonomisk institutt, 2015). I alle disse markedene er det viktig at toget utnytter sine konkurransefortrinn, slik at flere velger toget. Hvis ikke påføres samfunnet større lokale og globale utslipp enn nødvendig. I tillegg til at toget stort sett drives av miljøvennlig elektrisk kraft og har svært høy energieffektivitet grunnet lav rullemotstand, så er et av togets viktigste konkurransefortrinn at de reisende kan utnytte reisetiden til noe nyttig. Med dårlig mobildekning, reduseres denne muligheten. Dermed konkurrerer toget dårligere mot bil, buss og fly, slik at toget ikke får full uttelling for sitt markedspotensial. Konsekvensen er at samfunnet påføres større miljøbelastninger enn nødvendig.

2.5 Hva er årsakene til problemet?

God opplevelse av nettdækning for togreisende krever samarbeid mellom flere aktører. Først og fremst må det være god mobildekning langs sporet, både i åpent lende og inne i tunnelene. Dette ansvaret hviler på mobiloperatørene og Bane NOR. Videre må det være tilrettelagt for å lede mobilsignalene inn i togene, og dette er Norske Tog AS sitt ansvar. Hvis en eller flere av aktørene ikke leverer sin del av tjenesten, vil det resultere i dårlig mobildekning for de reisende.

Figur 2-8. Nødvendig samspill mellom aktører for å oppnå opplevelse av god mobildekning i tog. Kilde: (Jernbanedirektoratet, 2018)



Årsaken til den lave kundetilfredsheten er følgelig sammensatt. Mangel på dekning i området der toget kjører er åpenbart én viktig årsak. Eller det er dekning i området, men ikke dimensjonert med tilstrekkelig kapasitet til å håndtere alle passasjerene i toget samtidig. En annen viktig årsak er at karosseri og vinduer i togvognene demper signalene, slik at det som kanskje er god dekning på utsiden, oppleves som dårlig på innsiden.

En tredje årsak er for dårlig kapasitet for overføring av signaler mellom basestasjonen og videre inn i mobiloperatørens kjernenett. I et slikt tilfelle vil passasjerene oppleve utilfredsstillende kvalitet på tale og data, selv om mobiltelefon/nettbrett/PC indikerer god dekning. Dette inntreffer fordi kommunikasjonsforholdene mellom basestasjonen og togpassasjerer er gode, men kapasiteten ved basestasjonen ikke er tilstrekkelig til å betjene mange samtidige brukere som ønsker tale og datakommunikasjon via kjernenettet. Dette kan både skyldes kapasiteten internt i basestasjonen eller kapasiteten fra basestasjonen inn i kjernenettet. Avvik mellom den dekningskvaliteten som brukerens mobilenhet indikerer som god og den faktiske kvaliteten på tjenesten kan bidra til ytterligere misnøye hos brukere, i tillegg til misnøyen med selve dekningen. En variant av dette som er kjent for mange togpassasjerer er når wifi-signalet inne i toget er sterkt, men kapasiteten i mobilnettet mellom wifi-ruteren og basestasjonen er dårlig. Wifi-brukere vil se et sterkt wifi-signal på sin terminal, men opplever likevel trege hastigheter.

En fjerde årsak til lav kundetilfredshet kan være uforutsigbarheten i dekning underveis på en togtur. Bane NORs målinger viser at mobildekningen varierer mellom svært god (4G) og ingen dekning i det hele tatt. På en lang reise kan reisende gjennomføre mange ulike aktiviteter som å jobbe, spise, sove etc. Da

kan det oppleves frustrerende dersom det viser seg at dekningen er spesielt dårlig på den delen av reisen man planla å jobbe. Med bedre informasjon om kvalitet i mobildekning kunne passasjerene tilpasset sine aktiviteter på reisen.

2.5.1 Hvorfor har det blitt slik?

De kommersielle aktørene har i utgangspunktet fokus på lønnsomhet når de bygger ut sitt nett. Det vil si at de bygger basestasjoner der det er kommersielt grunnlag for dette, og de dimensjonerer kapasiteten på basestasjonen etter den forventede trafikkmengden i området. Imidlertid er det slik at for å få tilgang til frekvensbånd i Norge har mobiloperatørene forpliktet seg til å bygge ut nettet sitt slik at befolkningen skal være sikret mobildekning av en viss kvalitet der de bor. Det vil si at det bygges ut basestasjoner også der det ikke nødvendigvis er et kommersielt grunnlag for det, men det antas likevel at mobiloperatørene legger kommersielle hensyn til grunn når de foretar slike utbygginger.

Overordnet kan man si at markedet for mobildekning har fungert godt. Private aktører har bygget ut sine mobilnett slik at over 99 % av Norges befolkning har 4G-mobildekning der de bor og jobber. I tillegg er det bygget ut god dekning langs sentrale deler av veinettet. Mobiltilbudet virker å være etablert under bærekraftige bedriftsøkonomiske rammevilkår med lønnsom drift hos mobiloperatørene. Staten har krevd dekningsforpliktelser fra mobiloperatørene, slik at en del kommersielt ulønnsomme områder likevel har blitt bygget ut. Med unntak av auksjonen som ble avholdt på 700 MHz-båndet sommeren 2019, har det ikke vært stilt krav om dekning langs jernbane.

Den viktigste overordnede årsaken til den dårlige mobildekningen langs jernbanen er manglende kommersielt grunnlag i områdene der jernbanen ligger. Mer spesifikt handler det om for liten stasjonær kundemasse i landskapet langs jernbanen, at togpassasjerene ikke utgjør et stort nok markedsgrunnlag alene. Togpassasjerenes behov for kapasitet krever dyrere investering enn det samlede markedsgrunnlaget langs jernbanen skulle tilsi. Investeringskostnadene er høyere enn normalt blant annet fordi strekningene det gjelder ofte ligger langt fra tilgjengelig infrastruktur, noe som medfører høye kostnader i forbindelse med fremføring av bl.a. strøm og samband (f.eks. fiberkommunikasjon).

En basestasjon som skal gi dekning langs fjerntogstrekningene, må kunne håndtere de digitale behovene til alle passasjerene – opp mot 800-1000 passasjerer - på toget samtidig. Det vil si at opptil 800 mobilbrukere ankommer basestasjonens dekningsområde samtidig, er i området i kanskje 5 minutter, før de forsvinner igjen. I de 5 minuttene bruker de 800 passasjerene mye tale- og datakapasitet. Når toget har kjørt videre, er det kanskje ingen klienter knyttet til basestasjonen før det kommer et nytt passasjertog, noen steder flere timer senere. Det kommersielle grunnlaget fra toget er følgelig til stede bare i svært korte perioder, og når det er der krever det en kapasitet som koster mye å bygge ut. Lokal/regiontog har hyppigere avganger slik at det kommersielle grunnlaget på slike strekninger blir noe større. Kravene til den tekniske kapasiteten ved basestasjonen for å betjene lokal-/regiontogene er om lag lik som med fjerntogene. Jernbanens behov er således atypisk og lite kommersielt attraktivt. I et marked styrt av tilbud og etterspørsel er det naturlig at dette behovet ikke har blitt møtt med et tilbud fra mobilaktørene.

Tunnelene representerer et ytterpunkt for begge problemer. Det er 728 togtunneler i Norge, hvorav 686 er på baner med regulær drift (Bane NOR, 2019). Den lengste er Romeriksporten med 14,6 km. Når Follobanen åpner i 2022, blir Blix-tunnelen den lengste, med to løp på 20 km hver. I tunnelene finnes generelt ikke noe annet markedsgrunnlag enn togpassasjerene, og kostnadene ved å bygge ut tunneldekning er mye høyere enn for frittlandsdekning. Passasjerenes etterspørsel og behovene for mobildekning inne i tunnelene er minst like store og like krevende som beskrevet for frittlandsdekning i forrige avsnitt.

Plan for bedre nettdækning langs jernbanen (Jernbanedirektoratet, 2018) belyser grundig kostnadene for å bygge mobildekning i tunneler. Hvilken teknologi som blir mest aktuell i fremtiden er usikkert. Per i dag fremstår repeateranlegg med strålekabler som mest sannsynlige løsning. Dette er en tekniske løsningen med dyrt materiell der også selve monteringen er krevende. Monteringen kan dessuten kun foregå når det ikke er togtrafikk i tunnelen. Det er Bane NOR som har ansvar for å installere, eie, drifte og vedlikeholde mobilmateriell inne i tunnelene. Dette inkluderer materiell som strålekabler, fiberkabler og repetere langs tunnelveggene.

I tunneler med lengde over 1000 meter vil det installeres allment tilgjengelig mobildekning som del av utbyggingen av neste generasjon nødnett, men kapasiteten vil da ventelig kun dimensjoneres iht.

nødnettets behov¹³ og ikke nødvendigvis iht. de reisendes behov. Imidlertid må det forventes at mer enn 650 tunneler fortsatt trenger en plan for bedre mobildekning. Det kan ikke ventes at mobildekning i tunneler på lange strekninger i spredtbygde strekk på Sørlandsbanen, Bergensbanen, Dovrebanen, Rørosbanen, Raumabanen, Nordlandsbanen og Meråkerbanen vil bli bygget og finansiert på kommersielt grunnlag av de tre private mobiloperatørene.

2.6 Forventet utvikling

2.6.1 Nasjonal Transportplan

I NTP 2018-2029 står det at utbygging av jernbane, veg, havn, lufthavn og digital infrastruktur er nødvendig både for byområdene og i andre deler av landet. Regjeringen setter av midler i NTP til et pilotprogram for alternativt kjernenett for å sikre robuste elektroniske kommunikasjonstjenester som blant annet er en sentral forutsetning for fremtidens transportsystem.

Regjeringen foreslår i meldingen å avsette 1,5 mrd. kr i programområdet Tekniske tiltak for å forbedre driftsstabilitet og robusthet på jernbanen ved utbygging av transmisjonsnett/fiberutbygging, tekniske rom for tele, GSM-R og kjøreveisrelaterte IKT-systemer. I tillegg er tekniske tiltak nødvendig for å kunne tilby god kundeinformasjon og bedre mobildekning i tunneler. Det kan ikke forventes nevneverdig utvikling av mobildekningen langs jernbanen fordi det ikke forelå en plan for mobildekning i forkant av NTP 2018-29. Hensikten med denne konseptvalgutredninger er derfor å være innspill til kommende NTP 2022-33.

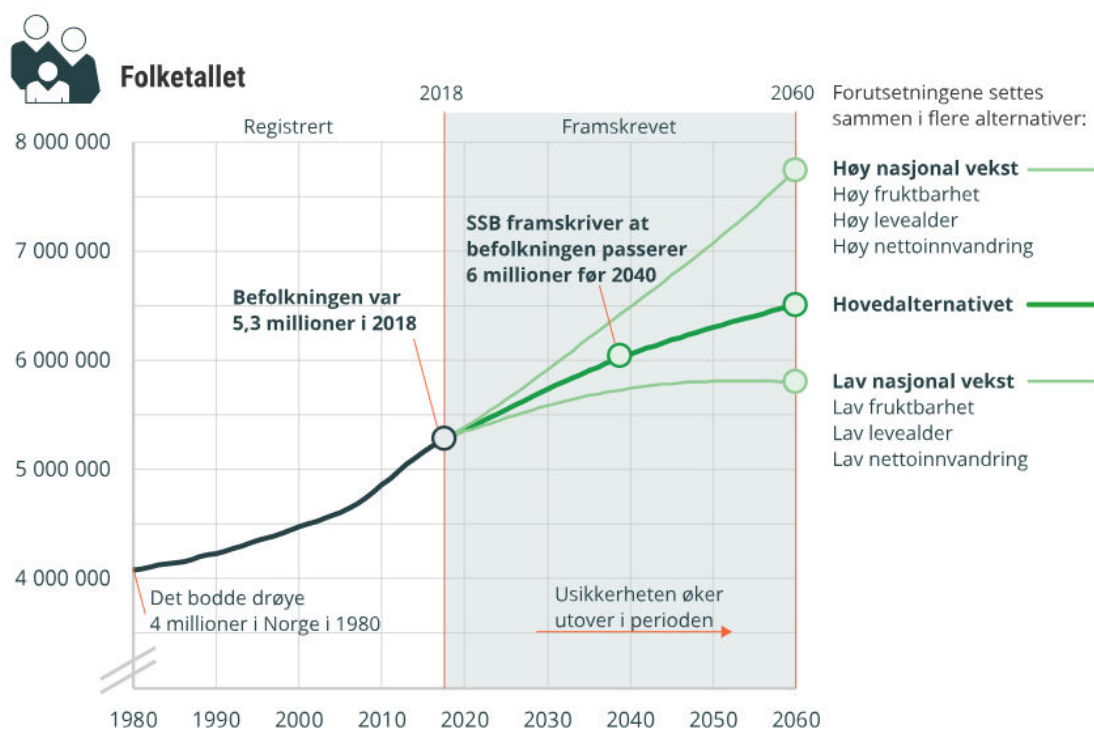
2.6.2 Befolkning, passasjergrunnlag og konsumutvikling

Ifølge tall fra SSB vil Norges befolkning innen 2040, ha økt fra dagens innbyggerantall på ca. 5,3 millioner, til ca. 6 millioner innbyggere¹⁴. De største byene i Norge vil fortsatt ha økt befolkningsvekst, ettersom sentraliseringen inn mot byene vil fortsette. Distriktene vil kunne oppleve en nedgang i folketallet. Figuren nedenfor beskriver framveksten 2018-2060:

¹³ I KVV for neste generasjon nødnett har DSB og Nkom lagt til grunn at det er KVV for bedre nettdekning langs jernbanen som behandler nødvendig dekning i kommersielle mobilnett, herunder ivareta lovens krav til dekning for nødkommunikasjon i jernbanetunneler over 1000 meter lengde.

¹⁴ <https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram>

Figur 2-9. Befolningsframskriving SSB 2019



Med fortsatt befolkningsvekst, særlig i og rundt de største byområdene (lokaltogområder, indre og ytre intercity områder), og mål om at all transportvekst i byene skal tas med miljøvennlig transport, er det grunn til å tro at antallet togpassasjerer øker.

Generelt vil vekst i antall passasjerer styrke det kommersielle grunnlaget for mobiloperatørene, og gjøre det lønnsomt for disse å investere i utvidet dekning eller bedre kapasitet i områder der det per i dag ikke er lønnsomt.

Hvis passasjerveksten er sterkere enn veksten i togtilbudet, eller togoperatørene møter etterspørselen med høyere setekapasitet per tog, vil det føre til flere passasjerer på hvert enkelt tog. Det vil i så fall øke investeringsbehovet i kapasitet for mobiloperatørene.

Passasjerenes behov for digitale tjenester forventes også å øke. Økning i hver enkelt passasjers behov for og konsum av mobildatatjenester øker også det samlede behovet per tog som skal betjenes av en basestasjon. Dette bidrar til ytterligere behov for kapasitetsutbygging fra mobiloperatørene.

2.6.3 Utvikling i mobilnettilbudet

Både Telenor og Telia har i 2019 en befolkningsdekning over 99,8 % på 4G. Dette har de oppnådd ved utstrakt bruk av lave, langtrekkende frekvenser. ICE har en nasjonal roamingavtale med Telia, slik at ICE sine kunder opplever samme dekning og kapasitet som Teliakunder, der ICE ikke har dekning i eget nett.

Operatørene bygger nå ut flere frekvenser på 4G på samme basestasjon slik at ikke bare den nødvendige dekningen kommer på plass, men også tilstrekkelig kapasitet til å håndtere det kraftig økende behovet for mobildata. Telia og Telenor stenger ned 3G-nettet i løpet av 2020 og de frigjorte frekvensene blir tatt i bruk til 4G. ICE bygger sitt landsdekkende mobilnett som et rent 4G-nett

Sommeren 2019 gjennomførte Nkom den 28. frekvensauksjonen i Norge. Alle tre mobiloperatører fikk frekvenspakker i 700 MHz- og 2 100 MHz-båndene. Noen av frekvensbåndene i 700 MHz-båndet ble auksjonert bort med en dekningsforpliktelse for jernbanen og vei. Telia vant frekvenspakken med

jernbaneforpliktelse og påtok seg derved dekningsforpliktelse for jernbane hvor de må tilby dekning innen 31.12.2025 på følgende strekninger:

- Intercity-triangelet (Skien – Oslo S, Lillehammer – Oslo S og Halden – Oslo S)
- Stavanger – Egersund – Kristiansand
- Melhus – Trondheim – Steinkjer
- Flåmsbanen

Forpliktelsen gjelder kun frittlandsdekning, ikke tunnelene (NKOM, 2019).

På grunn av lav kommersiell lønnsomhet er det per i dag liten eller ingen utbygging av helt ny dekning som har som primærhensikt å dekke eksisterende jernbanestrekninger fra teleoperatørens side.

Teleoperatørene har heller ikke planer som fokuserer på dette i årene fremover. Dette betyr at jernbanestrekninger hvor det ikke er dekning i dag, gjerne i spredtbygde strøk, heller ikke kan forvente en merkbar endring i fremtiden gitt dagens teknologi og regelverk. Unntaket er selvsagt de strekningene Telia nå har et dekningsansvar for.

Mens det i spredtbygde strøk i første omgang handler om å få mobildekning, vil det i sentrale strøk, hvor dekningen allerede er på plass, handle mer om kapasitet. For de områder av jernbanen som går i tettere bebygde områder eller parallelt med hovedvegstrekningsstrøk, vil det fortsatt kunne oppleves en bedret 4G-dekning og mobildatakapasitet. Kapasiteten vil primært være dimensjonert ut fra behovet til stasjonære brukere som innbyggere, arbeidstakere og hyttebrukere. Den utbygde kapasiteten vil kanskje ikke kunne yte et tilfredsstillende tilbud til passasjerer om bord i fulle tog som passerer igjennom disse områdene.

Med utgangspunkt i tilgjengelig båndbredde og antall passasjerer er det laget et kart som viser forventet tilgjengelig datakapasitet per passasjer i 2030. Beregningene baserer seg på alle frekvenser som vil være tilgjengelig for 4G/5G i fremtiden og konvertering av båndbredde til datakapasitet i tråd med erfaringer fra dagens mobilnett¹⁵. Kartet viser dekningen på utsiden av toget, slik at mobilforsterkere i togene er en forutsetning for at passasjerene skal kunne nyttiggjøre seg kapasiteten. Passasjergrunnlaget er forventet antall passasjerer i 2030, på et tog i rushtime eller normal helgeutfart. Videre legges det samme forutsetninger til grunn for antall samtidig aktive terminaler per tog som i Plan for bedre nettdækning (Jernbanedirektoratet, 2018)¹⁶. Kartet gir således et realistisk bilde på kapasiteten som kan forventes. Resultatene av disse beregningene er vist i kartet i Figur 2-10.

Mørk blå viser områder som har mobildekning med høy kapasitet, slik det er definert i Plan for bedre nettdækning fra 2018 – 5 Mbps per samtidig aktiv passasjer. De øvrige fargene viser hvor det må forventes lavere kapasitet. Noen steder langs jernbanen har ingen farge i det hele tatt. Det betyr at det ikke er observert noen mobilsignaler der.

Kartet viser flere interessante funn. Generelt er det få strekninger der kapasiteten forventes å bli over 5 Mbps. En del lyseblå områder viser at det er mobildekning langs jernbanen mange steder som gir en hvis kapasitet for å benytte digitale tjenester, men hvor kapasiteten har begrensninger. Alle togstrekningsstrøk har gule og røde områder som i praksis er å betrakte som dekningshull, ettersom hver enkelt bruker vil oppleve mobilnettet som for tregt til at mange digitale tjenester vil fungere. Innslaget av gule og røde områder er fremtredende på alle fjerntogstrekningsstrøk, men spesielt på Sørlandsbanen, Bergensbanen og Nordlandsbanen. Alle Intercity strekningene har også gule områder, og i Osloområdet er kapasiteten gjennomgående gul/rød i Romeriksporten, og gul i alle tunnelene fra Lysaker til Lier.

¹⁵ 3,5 Mbps/MHz utendørs og i tunneler med 2x2 MIMO-repeateranlegg. 1,75 Mbps/MHz i tunneler med SISO repeateranlegg. 7 Mbps/MHz i tunneler med 4x4 MIMO repeateranlegg.

¹⁶ 80% av passasjerene har mobilterminaler tilkoblet nettet. 1/3 av disse terminalene er til enhver tid aktive brukere (opp-/nedlasting) av mobilnettet.

Kartet illustrerer også at i rurale områder med relativt få passasjerer, for eksempel Raumabanen og Meråkerbanen, kan situasjonen ofte være binær. Mange steder er det dårlig dekning (under 0,5 Mbps), men der det er dekning er den ofte over 5 Mbps, ettersom det er så få passasjerer som skal dele på kapasiteten.

For å oppnå mer båndbredde vil det mange steder kreves utbygging av flere basestasjoner som står tettere, og egne tekniske løsninger i tunnelen.

2.6.4 Mobilforsterkere i togsett

Plan for bedre nettdækning til togreisende (Jernbanedirektoratet, 2018) påpeker at karosseriene til togene utgjør en betydelig hindring for bedre mobildekning inne i togene.

Det er vedtatt at det skal installeres mobilforsterkere i utvalgte tog¹⁷ som Norske tog AS eier. En mobilforsterker løser problemet knyttet til at togvognens karosseri og vinduer kraftig demper mobilsignalene. Ved hjelp av antenner på utsiden og signalkabler på innsiden av toget vil disse signalforsterkerne sørge for at passasjerer om bord i togene får tilnærmet samme kvalitet på mobilsignalet inne i toget, som det som finnes på utsiden. Dette tiltaket betyr at passasjerene på kort sikt vil oppleve bedre kvalitet på tale og data på strekninger med mobildekning.

Montering av mobilforsterkere i alle tog er en viktig forutsetning for dette prosjektet og er begrunnelsen for at denne KVUen fokuserer på bedre utbygget mobildekning langs jernbanen, og mindre på mobilnett-kvaliteten inne i togene. God mobildekning på utsiden av togene er en viktig forutsetning for digitale tjenester inne i togene.

2.6.5 Nødnett og jernbanens mobilnett

I perioden 2020-2030¹⁸ ventes det at både nødnett¹⁹ og togradio²⁰ skal velge ny teknologi. Avhengig av teknologivalg skal det besluttet utbyggingsstrategi, det skal bygges ut dekning og systemene skal settes i drift. Det er store avhengigheter mellom nødnett, togradio og kommersiell nett og kostnader kan potensielt reduseres ved god samordning.

Jernbanens mobilnett

GSM-R er en viktig komponent i European Rail Traffic Management System (ERTMS). ERTMS er et felles Europeisk trafikkontrollsystem. Systemet består av European Train Control System (ETCS), Global System for Mobile communications for Railways (GSM-R) og regelverk for trafikkavvikling. GSM-R sørger for talekommunikasjon blant annet mellom togleder og fører av tog og fungerer som databærer for ETCS (European Union Agency for Railway, 2019).

Dagens GSM-R er basert på 2G teknologien GPRS. Teknologien anses som utdatert i de kommersielle mobilnettene. European Union Agency for Railways (ERA) jobber med neste generasjons togradio: FRMCS²¹ (Future Railway Mobile Communication System). European Agency for Railways (ERA) beslutter hvilken teknologi som skal benyttes i fremtiden for togradio og derved også ERTMS²². Her er mulighetsrommet mer åpent. En løsning kan være at FRMCS bygges opp som et rent privat mobilnett tilsvarende dagens GSM-R. En annen kan være at FRMCS benytter de kommersielt tilgjengelige mobilnettene som

¹⁷ jf. «Plan for bedre nettdækning til de reisende»

¹⁸ KVU for nødnettet forventes ferdig sommeren 2020. Den vil bl.a. legge frem en plan for å ha nytt nødnett på plass til 2026. ERA ventes å ta sin beslutning angående FRMCS noe senere. Kanskje innen 2022. Det forventes deretter et løp for å etablere FRMCS frem mot 2030.

¹⁹ TETRA i dag

²⁰ Togradio, GSM-R i dag, er et system basert på 2G teknologi i dag.

²¹ FRMCS: Future Rail Mobile Communication System er betegnelsen på neste systemgenerasjon som skal erstatte GSM-R. Vil mest sannsynlig bli basert på 5G-teknologi

²² ERTMS: European Rail Traffic Management System. ERTMS er europeisk standard for signalsystem som ivaretar krav til interoperabilitet i togframføringen.

kommunikasjonsbærer slik Nødnett også ser for seg. Det finnes antakelig også flere mellomløsninger. Dette teknologivalget er ventet klart i 2022.

Som en følge av at Bane NOR ruller ut ERTMS pågår det også en oppgradering av GSM-R. Denne oppgraderingen vil være fullført i løpet av 2020. Forventet levetid på oppgradert GSM-R utstyr er 10 – 12 år. Fremtidig TSI for signal (TSI-CCS²³) forventes å sette ramme for overgangsvinduet fra GSM-R til FRMCS, slik at de europeiske landenes samtrafikkeveie ivaretas.

Nødnett

Det pågår en KVVU i regi av DSB som utreder fremtiden for nødnettet. Den skal være ferdig sommeren 2020. Det er svært sannsynlig at nødnettet skal benytte de kommersielle mobilnettene som kommunikasjonsbærer. I DSBs KVVU Nødnett diskuteres alternative løsninger hvor de kommersielle mobilnettleverandørene i større eller mindre grad er sentrale tjenesteleverandører. I så fall vil nødnettets behov dekkes ved at en eller flere av de kommersielle aktørene kan tilby akseptabel sikkerhet, stabilitet, dekning og kapasitet i sine fysiske mobilnett også langs jernbanen. Ambisjonen er at nytt nødnett skal være i drift i 2026.

Nødetatene trenger kommunikasjon også inne i tunneler. Det er et krav at Nødnettet skal være tilgjengelig i tunneler over 1000 meter. Dette kravet gjøres gjeldende for nye tunneler og tunneler som gjennomgår en oppgradering. Utbyggingen må være klar til testing i 2025. Hvis Nødnettet velger å benytte de kommersielle mobilnettene innebærer det at disse tunnelene får kommersiell mobildekning. Kapasiteten som kreves av nødnettet er ikke kjent, men den er sannsynligvis mindre enn hva som kreves for passasjerene i togene. Nødnett vil ha prioritet i det fremtidige 5G-nettet, slik at ved behov kan all kapasitet i nettet tilordnes Nødnett.

Behov for samordning

Utbygging av mobildekning i tunnelene er spesielt kostbart og tidkrevende. Kostnadene for å bygge ut togradio og Nødnett må finansieres med statlige midler. Staten må også påregne å ta en betydelig andel av kostnaden med å bygge ut kommersiell mobildekning inne i tunnelene. Tunnelanleggene eies av Bane NOR som er eier av jernbaneinfrastruktur. Unntaket er den nye Blix tunnelen mellom Oslo-S og Ski, hvor Telenor og Telia også har bidratt med investeringsmidler til mobildekning. Der Bane NOR er eier av mobilforsterkeranleggene er de å anse som tjenesteleverandør til mobiloperatørene i forhold til å sikre anleggenes driftsstabilitet. Denne tjenesten betaler mobiloperatørene leie til Bane NOR for å få utført.

En koordinert plan der togradio og kommersielle nett (inkl. Nødnett) fornyes/bygges ut i én operasjon vil kunne spare store kostnader, sammenliknet med at det i verste fall gjøres tre runder med installasjon i hver tunnel. Dersom utbygging av den kommersielle mobildekningen, som er fokus for denne KVVUen, kan koordineres med utbygging av nødnett og fremtidig togradio vil det kunne ha stor betydning for de totale kostnadene og dermed den samfunnsøkonomiske lønnsomheten. En felles kommunikasjonsløsning hvor både Nødnett og fremtidig togradio kan benytte de kommersielle mobilnettene som kommunikasjonsbærer forventes å gi den samfunnsmessig mest kostnadsoptimal løsning.

Usikkerhet rundt teknologivalg for neste generasjon GSM-R (FRMCS) og manglende samordning av nettutbygging for ulike formål kan øke kostnadene og dermed svekke den samfunnsøkonomiske lønnsomheten. Spesielt EU-myndigheten ERA vil ha stor innvirkning på norske kostnader, og ventes ikke å ta hensyn til enkeltnasjoners interesser i sine prosesser for FRMCS.

2.7 Ytre miljø

Utbygging av mobilnettet utenfor bebygde områder vil medføre naturinngrep i form av 30-40 meter høye master for basestasjoner og infrastruktur (strøm, fiber og om praktisk mulig/kostnadsmessig forsvarlig eventuelt vei) fram til disse. Mastene påvirker primært landskapsbildet og er i mindre grad negative for

²³ TSI-CCS – Technical specification for interoperability – Control Command and Signalling

andre ikke-prissatte virkninger i samfunnsøkonomisk analyse. Drift og vedlikehold har begrensede negative virkninger for ytre miljø.

I departementets oppdragsbrev heter det at:

«Utredningen skal se på ulike konsepter for styrket nettdækning langs eksisterende jernbaneinfrastruktur, og vil i liten grad påvirke arealene utenfor jernbanen. Dette er dermed ikke et typisk infrastrukturprosjekt i samferdselssektoren, og det er vår vurdering at ikke alle prosesser som normalt gjennomføres i en samferdsels-KVU er relevante for denne utredningen.»

Aktuelle tiltak for bedre mobildekning, hovedsakelig nye master for basestasjoner, lokaliseres forholdsvis nær jernbanen. Avstand kan være i størrelsesorden 0-2 km fra jernbanesporet, blant annet avhengig av frekvensbånd og topologi. Der det er mulig søkes det å finne plassering i områder hvor det allerede er synlige tekniske inngrep, gjerne i form av tilgjengelig kjøreveg. Basestasjoner er punktvis installasjoner hvor framføring av kabler for strøm og fiber normalt er nødvendig. I anleggsfasen må man påregne gravearbeider i forbindelse med kabelframføring. Dette er tiltak som mobiloperatørene er vant med å gjennomføre, og tilstrebes å gjøres skånsomt for naturen. Etter anleggsfasen ryddes terrenget tilbake til tilnærmet slik det var før tiltaket. Selve antennemasten og tilhørende hytte for teknisk utstyr forblir synlig i terrenget.

Der jernbanestrekninger går gjennom eller nær ved verneområder eller viktige områder for friluftsliv, vil nye basestasjoner i utgangspunktet være lite ønskelig. Det er viktig å ta hensyn til ytre miljø ved å begrense naturinngrep ved planlegging, utbygging og drift av basestasjoner, blant annet når det gjelder:

- Lokalisering av basestasjoner
- Løsninger for infrastruktur til basestasjonene
- Anleggsdrift

2.8 Oppsummering

2.8.1 Problemet

Kundetilfredshetsundersøkelser som Vy (NSB) har gjennomført, senest i 2019 viser at togreisende er misfornøyde med internettilbudet om bord i togene. Gjentatte målinger utført av Simula og Bane NOR underbygger at mobildekningen (signalstyrke) langs jernbanen i Norge mange steder er dårlig eller fraværende.

2.8.2 Berørte parter

Det er først og fremst passasjerene som berøres direkte av den dårlige mobildekningen. Lav kvalitet på mobildekningen reduserer blant annet verdiskapingen i samfunnet samtidig som toget ikke til fulle utnytter sin unike mulighet til å tilføre verdi til passasjerene ved å la de benytte reisetiden sin effektivt.

Indirekte rammes togoperatører, alle andre aktører som jobber for å styrke togtilbudet i Norge, og samfunnet, gjennom lav kundetilfredshet, svekket omdømme og tapt konkurransekraft for toget. Svekket konkurransekraft for toget fører til at andelen som reiser med tog er lavere enn den kanskje kunne vært. En slik konkurransesituasjon fører blant annet til økte lokale og globale utslipp som rammer hele samfunnet vårt.

2.8.3 Hva er årsakene til problemet

De direkte årsakene til den lave kundetilfredsheten er først og fremst dårlig kvalitet på digitale kommunikasjonstjenester inne toget, som skyldes dårlig mobildekning på utsiden av toget og/eller signaltap på grunn av vognkarosseriene. I tillegg kan misnøyen være forsterket av avvik mellom indikert signalstyrke på klienten og reell kapasitet i mobildekningen i området.

Den dårlige mobildekningen langs jernbanen skyldes en kombinasjon av at det har vært en i all hovedsak kommersielt drevet utbygging av mobildekningen i Norge, og at det kommersielle grunnlaget langs jernbanen mange steder er for dårlig til at det blir lønnsomt å sette opp basestasjoner med god nok kapasitet der. Manglende statlig satsing på å etablere mobildekning i tunneler har også begrenset mobiloperatørenes interesse for å etablere frittlandsdekning langs jernbanestrekningene hvor det normalt ikke er folk.

Problemene med manglende dekning gjelder primært spredtbygde strøk og tunneler, der det i liten eller ingen grad finnes annet kommersielt grunnlag enn togreisende. I områder der det finnes dekning langs jernbanen, vil kapasiteten likevel ofte være for dårlig for tog og deres passasjerer. Årsaken er at det kommersielle grunnlaget ikke er tilstrekkelig til å forsvare de store investeringene som kreves for å møte jernbanens særskilte kapasitetsbehov.

2.8.4 Forventet utvikling

Befolkningsvekst, økt kollektivandel og endring i forbruksmønster tilsier at behovet for økt mobilnettkapasitet langs jernbanen vil tilta i årene fremover.

Det er besluttet å montere mobilforsterkere i alle norske togsett som ikke skal erstattes med nye kjøretøy de nærmeste årene. Signalforsterkerne vil sørge for at passasjerer om bord i togene får tilnærmet samme kvalitet på mobilsignalene inne i toget, som det som finnes på utsiden. Montering av mobilforsterkere i tog er en viktig forutsetning for at denne KUVen fokuserer på bedre utbygget mobildekning langs jernbanen, og mindre på mobilnettkvaliteten inne i togene.

Både GSM-R og Nødnettet skal gjennomgå store endringer fremover. Noen av disse endringene kan endre på de kommersielle forutsetningene for de private mobiloperatørene. Dersom både togradio og nødnett bestemmer seg for å kjøpe transmisjonstjenester i de kommersielle mobilnettene kan det styrke både offentlig og privat vilje til å investere i bedre nettdekning langs jernbanen.

2.8.5 Hva tilsier at det offentlige bør iverksette tiltak?

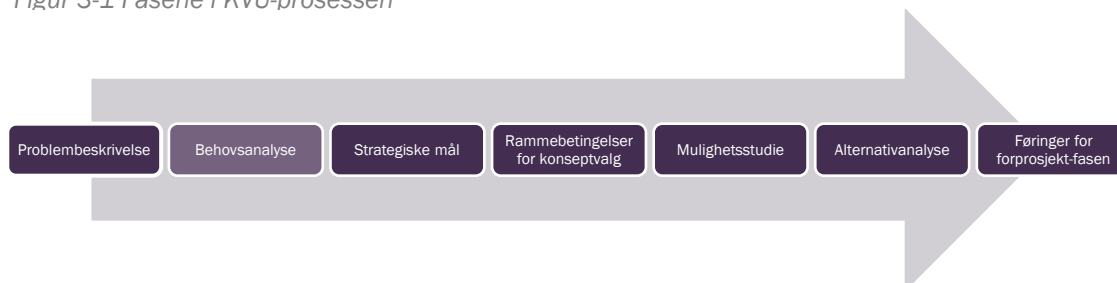
Bedre mobildekning langs jernbanen handler primært om å etablere mobildekning med tilstrekkelig kapasitet der det ikke finnes et kommersielt grunnlag for det. I mange tilfeller betyr det etablering av nye basestasjoner langs sporet og repeateranlegg i tunneler. Mobiloperatørene er tydelige på at jernbanestrekninger som ikke har dekning nå, stort sett mangler det nødvendige kommersielle grunnlaget som skal til for at de kan forsvare investering med gjeldende rammevilkår²⁴. For å løse dette utreder denne KUVen hvilke tiltak det offentlige kan gjøre for å skape mer balanse mellom tilbud av og etterspørsel etter mobildekning langs jernbanen. Mobiloperatørene etterlyser finansieringsløsninger som gir bedre bedriftsøkonomiske incentiver til å investere i deknings langs jernbanen. Det offentlige bør være beredt på løsninger som innebærer finansiering av en andel av utbyggingen – direkte og/eller indirekte.

²⁴ Med unntak av strekningene som Telia er forpliktet til å bygge ut innen 2025, jf. frekvensauksjon #28, hvor auksjonspakken i sum har gitt akseptabelt mulighetsrom.

3 Behovsanalyse

Med utgangspunkt i problembeskrivelsen kartlegger behovsanalysen berørte interessenter og deres behov (Finansdepartementet, 2019). Behovsanalysen beskriver bredden av behov i et overordnet samfunnsperspektiv, mest mulig uavhengig av teknologiske løsninger.

Figur 3-1 Fasene i KVVU-prosessen



Behovsanalysen munner ut i formulering av et «prosjektutløsende» behov. Samfunns mål, effektmål og tilhørende rammebetingelser skal bygge på det prosjektutløsende behovet²⁵.

Behovsanalysen kartlegger relevante samfunnsmessige behov med tre ulike innfallsvinkler:

- **Normative behov:** Utledet av politisk vedtatte mål (nasjonalt, regionalt og lokalt)
- **Etterspørselsbaserte behov:** Med utgangspunkt i forholdet mellom tilbudt kapasitet/ytelse og etterspørsel, basert på observerte tilstander i dag og prognoser for utviklingen
- **Interessentanalyse:** Interessenter som berøres av det aktuelle tiltaket deles i primære og sekundære. I dette tilfellet er passasjerene primære interessenter, mens aktører i mobil- og jernbanemarkedet betraktes som sekundære interessenter

Det vil ofte være betydelig overlapp mellom de tre tilnærmingene i den forstand at enkelte behov identifiseres fra flere innfallsvinkler. Bruk av flere metoder er nyttig for å redusere risiko for at vi ikke skal overse relevante behov.

For å kartlegge ulike interessenters behov og idéer om mulige løsninger gjennomførte Jernbanedirektoratet et KVVU-verksted våren 2019. På verkstedet var det deltakere fra jernbanesektoren, telekomsektoren og myndigheter med ansvar for tjenester som er avhengig av elektronisk kommunikasjon. I tillegg til dette verkstedet bygger behovsanalysen på problembeskrivelsen og på Plan for bedre nettdækning til togreisende (Jernbanedirektoratet, 2018).

Til forskjell fra andre store samferdselsprosjekter vil tiltak for styrket mobildekning langs jernbanen bare i beskjeden grad medføre arealinngrep utenfor jernbanekorridoren. Samferdselsdepartementet vurderer det derfor i sitt oppdragsbrev som mindre relevant med omfattende involvering av lokale og regionale myndigheter i denne konseptvalgutredningen.

For mer informasjon om behovsanalysene henvises det til Behovsanalysen (Delrapport 2 - Behovsanalyse, 2020).

²⁵ KVVU-metoden er beskrevet i Finansdepartementets veiledere for KS-ordningen, se blant annet veileder nr. 9 (Finansdepartementet, 2010).

3.1 Normative behov

Normative behov på nasjonalt nivå er knyttet til mål i stortingsmeldinger, stortingsproposisjoner, lover og forskrifter. Normative behov viser gapet mellom politiske mål og dagens situasjon og/eller forventet utvikling.

Siden konseptvalgutredningen gjelder mobildekning i hele jernbanenettet, er det ikke naturlig å undersøke mål i regionale og lokale planer. Flere av målene og behovene som er omtalt under nasjonale behov nedenfor går imidlertid igjen i planer i kommuner og fylkeskommuner.

Bedre mobildekning langs jernbanen kan bygge opp under målene og hovedprioriteringene for samferdselspolitikken, jfr. Meld St. 33 (2016-2017) *Nasjonal transportplan 2018-2029*. Det overordnede målet er et sikkert transport- og kommunikasjonssystem som fremmer verdiskaping og bidrar til omstilling til lavutslippssamfunnet. Dette er konkretisert i fire hovedmål:

- Bedre framkommelighet for personer og gods i hele landet
- Redusere transportulykker i tråd med nullvisjonen
- Redusere klimagassutslipp i tråd med en omstilling mot et lavutslippssamfunn
- Redusere andre negative miljøkonsekvenser

Med utgangspunkt i de overordnede målene er det i NTP 2018 – 2029 utformet egne mål for utvikling av togtilbudet. Satsing på jernbane er viktig for å nå nullvekstmålet i de største byområdene. Et konkurransedyktig togtilbud må være pålitelig og ha tilstrekkelig kapasitet, høy frekvens, akseptabel reisetid, god komfort og høy sikkerhet.

Meld. St. 27 (2015-2016) *Digital agenda for Norge* formulerer følgende hovedmål for ekompolitikken:

- Å legge til rette for mobilnett og bredbånd for vekst og deltakelse
- Valgfrihet på internett
- Sikre og robuste ekomnett
- Regulering som fremmer innovasjon og bærekraftig konkurranse

For å nå målet om vekst og deltakelse skal det være mobildekning der folk bor, jobber og ferdes. Gode ekomnett skal være en konkurransefordel for næringslivet over hele landet. Det er en ambisjon om at det skal være minst tre konkurrerende mobilnett, og det skal legges til rette for at det er lønnsomt å investere i ekom. Brukerne skal raskt få tilgang til nye tjenester og teknologier.

Bedre mobildekning på tog er spesifisert som et selvstendig mål for ekompolitikken. Ifølge stortingsmeldingen om ekom vil Regjeringen at Jernbaneverket (Bane NOR) fortsatt skal legge til rette for gjenbruk av GSM-R-infrastruktur for å bidra til økt dekning langs jernbanen. Jernbanedirektoratet/Bane NOR skal videreføre arbeidet med bedring av dekningen i tunneler. Regjeringen vil legge til rette for et best mulig samarbeid mellom Jernbanedirektoratet/Bane NOR, togselskaper og mobiltilbydere for å bedre mobildekningen for togreisende.

3.2 Etterspørselsbaserte behov

Nye netjtjenester og økt kapasitet ellers i samfunnet (ved utbygging av fibernettet) vil påvirke de reisendes forventninger og etterspørsel etter mobildekning på togreiser. Behovene vil variere med reisemål og fra passasjer til passasjer. Vys brukerundersøkelser viser at en høy andel av togpassasjerene er misfornøyd med mobildekningen/wifi.

For å sikre kundetilfredshet må mobilnettet håndtere den samlede, samtidige etterspørselen fra passasjerer om bord i et tog. Hver basestasjon må kunne håndtere det samtidige behovet til passasjerene når toget er innenfor basestasjonens dekningsområde.

Etterspørselsbasert behov er kvantifisert med tre ulike metoder:

- Et beregnet aggregert behov ved å summere behov for kapasitet i et passerende tog ut fra forutsetninger om antall passasjerer, fordeling mellom ulike grupper reisende/reiseshensikter og bruksmønstre for hver av gruppene
- Samlet behov per tog registrert på en utvalgt basestasjon

- Test av tjenestekvalitet på vanlige mobilbaserte tjenester, der tilgjengelig mobilhastighet begrenses

3.2.1 Beregnet behov basert på passasjerprofiler

En modell utviklet av BWCS Ltd er benyttet for å anslå det samtidige behovet for kapasitet til passasjerene i et tog. Beregningsmodellen tar utgangspunkt i de vanligste tjenestene i mobilnettet. For hver av tjenestene antas en belastning på mobilnettet - per time eller per opp- eller nedlasting. Passasjerene deles inn i grupper med varierende bruk av tjenester i mobilnettet. Basert på gitte forutsetninger kan modellen anslå behovet for mobilkapasitet per bruker i en gitt gruppe. Som eksempel viser Tabell 3-1 beregnet etterspørsel for opp- og nedlasting som MB/time²⁶ og gjennomsnittlig Kbps²⁷ for en passasjer på tjenestereise.

Tabell 3.1. Behov for mobilkapasitet. Brukerprofil tjenestereise

Tjeneste	Volum (per time)	Volum- enhet	Gjennomsnittlig bruk per enhet		Mengde- enhet	MB/time		Gjennom-snittlig Kbps	
			Ned	Opp		Ned	Opp	Ned	Opp
Epost	50	Epost	100	100	KB	4,9	4,9	11,1	11,1
Epost med vedlegg	5	Epost	2	2	MB	10	10	22,7	22,7
Websurfing	30	Nettside	2,50	0,5	MB	75	15	170,7	34,1
Strømming - Lyd	15	Minutter	128	10	Kbps	14,6	1,1	32	2,5
Nedlasting - Lydfiler	-	Filer	6	0,5	MB	-	-	-	-
Strømming - Video	-	Minutter	500	50	Kbps	-	-	-	-
Strømming - Video HD	-	Minutter	2000	200	Kbps	-	-	-	-
Videosamtale	-	Minutter	500	500	Kbps	-	-	-	-
Skytjeneste synk.	10	Filer	10	10	MB	100	100	227,6	227,6
IP-telefoni	10	Minutter	100	100	Kbps	7,3	7,3	16,7	16,7
Sosiale medier	-	Minutter	250	250	Kbps	-	-	-	-
Online gaming	-	Minutter	250	250	Kbps	-	-	-	-
VPN	30	Minutter	500	500	Kbps	109,9	109,9	250	250
Totalt						321,1	248,2	730,7	564,7

Passasjerene sender og mottar data via nettet i en relativt liten andel av tiden de bruker sine mobilterminaler. Eksempelvis medfører surfing på nett at en nettside kan lastes ned innen det brukeren oppfatter som rimelig tid. Når siden først er lastet ned og passasjerer leser, benytter ikke mobilkunden noe særlig datakapasitet før brukeren surfer videre til en ny side. Nedlasting av en nettside tar gjerne mindre enn fem sekunder, mens passasjerer kan bruke flere minutter på å lese den. Kortere meldinger på sosiale media lastes ned/opp på brøkdelen av et sekund.

²⁶ MB: Megabyte er måleenhet for datamengde, ofte brukt om datalagringskapasitet. Én MB er 1 million byte. En byte består av 8 bit.

²⁷ Kbps: Kilobit per sekund brukes i sammenheng med telekommunikasjon og betyr 1000 bit per sekund. Kbps forkortes også kbit/s.

Strømming av bilde og lyd belaster mobilnettet mer kontinuerlig, men det tar bare sekunder å laste ned en videofil med ett minutt video. Heller ikke strømming av video belaster mobilnettet kontinuerlig. En passasjer som strømmer video i HD-kvalitet 60 minutter per time, vil bare ha et kapasitetsbehov på 2 Mbps i snitt per time. De fleste togreisende vil trolig være tilfreds med standard oppløsning (SD) på videoen. Strømming av video med standard oppløsning vil klare seg med betydelig mindre kapasitet, kanskje så lite som ca. 0,5 Mbps i snitt per time. Stadig flere bruker flere tjenester parallelt. Spesielt gjelder dette strømming av lyd, samtidig som man benytter andre mobiltjenester. Strømming av lyd krever begrenset kapasitet i nettet, kan fint kombineres med andre tjenester. Strømming av video i kombinasjon med andre tjenester kan by på større utfordringer, men strømming av video kombineres kanskje sjeldnere med andre tjenester enn strømming av lyd.

Behov for mobildekning langs jernbanen avhenger av samlet etterspørsel etter kapasitet for hele toget. Ovenfor nevnte modellen utviklet av BWCS Ltd kan benyttes til å beregne gjennomsnittlig behov for kapasitet for flere brukerprofiler. Videre er et vektet gjennomsnitt av de mest aktuelle profilene beregnet. Resultat av dette gir en anslått gjennomsnittsprofil for en togpassasjer. Ved å multiplisere med antall passasjerer, fremkommer et samlet behov for mobilkapasitet for tog på ulike strekninger.

Samtidig bruk om bord i toget er viktig å ta hensyn til. To faktorer er særlig viktige å vurdere i den sammenheng:

- Andel passasjerer med en mobilterminal tilkoblet mobilnettet
- Andel av terminaler som laster data opp/ned samtidig

I Plan for bedre nettdækning (Jernbanedirektoratet, 2018) ble det lagt til grunn at 80% av passasjerene hadde en mobilterminal tilkoblet mobilnettet, og at 1/3 av terminalene aktivt benyttet mobilnettet samtidig. For et tog med 300 passasjerer vil det si at 240 (80%) er tilkoblet, og 80 (1/3) aktivt bruker mobilnettet samtidig. Rapporten fra 2018 antydte videre et behov for 5 Mbps kapasitet i mobilnettet per aktiv terminal. Et mobilnett som skal tilby 5 Mbps til hver samtidig, aktive terminal²⁸ på dette toget med 300 passasjerer, må altså dimensjoneres med en kapasitet på 400 Mbps (5 Mbps x 80 samtidig aktive terminaler).

I fremtiden vil passasjerene bruke en større andel av tiden sin på mobile tjenester, og sannsynligvis vil det komme tjenester som krever overføring av større datamengder per sekund. Samtidig vil mobilnettene trolig få tilgang til ny teknologi som øker kapasiteten i nettene, for eksempel 5G.

3.2.2 Samlet observert behov

I denne metoden vurderes behovet ved å observere endringer i databruk ved en basestasjon før, under og etter en togpassering. Disse observasjonene sammenholdes med passasjertellinger (APC-basert²⁹) for de enkelte togavgangene. Metoden, som riktignok har enkelte feilkilder, gir mulighet til å beregne gjennomsnittlig konsumert kapasitet per passasjer.

Den nye Holmestrandtunnelen, mellom Holmestrand stasjon og utløpet i retning Skoppum, som har installert et system (SISO³⁰) for å gi mobildekning inne i tunnelen er brukt til å observere faktisk bruk av mobildata. Det er ingen andre brukere av mobilnettet enn togpassasjerer, og mobilkapasiteten er ganske bra sett i forhold til antall reisende på de aktuelle togene.

²⁸ Plan for bedre nettdækning anbefaler 5 Mbps per aktiv online passasjer

²⁹ APC: Automatic Passenger Count – Automatisk passasjertelling. Utstyr montert i dører på Vys tog som registrerer antall av- og påstigende på hver stasjon. Basert på disse tallene kan det også beregnes hvor mange passasjerer som er på toget på alle strekninger, for hver eneste togavgang der togene har APC installert. Det er noen tekniske utfordringer med utstyret, så dataene kan ha unøyaktigheter.

³⁰ Antall strålekabler som monteres parallelt i tunnelen er avgjørende for kapasiteten til anlegget. Et anlegg basert på én strålekabel kalles Single Input, Single Output (SISO).

Det ble gjennomført målinger gjennom to døgn i februar 2020 (en torsdag og en søndag). Telenor og Telia³¹ har samlet inn høyoppløste data om sine abonnenters dataforbruk inne i tunnelen, og Vy har levert passasjertall for hvert enkelt tog (Mobildatabruk ved Holmestrandsporten, 2020).

Basert på de målte datavolumene per sekund er det beregnet gjennomsnittlig datahastighet basert på antall passasjerer totalt i toget³². Den høyeste nedlastingshastigheten som ble levert per passasjer, var 1,8 Mbps i snitt per sekund i den perioden toget passerte³³. I snitt var den observerte nedlastingshastigheten per passasjer 0,3 Mbps.

Målingene viste at SISO-systemet kan levere en nedlastingshastighet på minst 116 Mbps, samlet for begge mobiloperatørene.. Den samlede datahastigheten som ble levert, lå betydelig under dette for de fleste tog. Det kan indikere at passasjerenes mobilbruk i liten grad ble begrenset av systemet. Datahastighetene (nedlasting) per passasjer per togavgang lå i området 0,1 – 1,8 Mbps, med et gjennomsnitt på ca. 0,3 Mbps.

3.2.3 Test av tjenestekvalitet under hastighetsbegrensninger

Som en tredje tilnærming til å beregne etterspørselsbasert behov utførte prosjektet i mars 2020 en kontrollert test med begrensninger i tilgjengelig datahastighet. Hensikten var å kartlegge kvaliteten på ulike mobile tjenester når hastigheten er begrenset.

Testen ble utført med en 4G wifi router med mulighet til å endre tjenestekvaliteten (netthastigheten). Tilkoblet routerens wifi ble det benyttet enten en laptop eller en mobiltelefon som eneste klienter. Netthastighetene var 1, 2 og 5 Mbps. Sistnevnte anbefalt netthastighet i Plan for bedre nettdekning til de reisende med tog (Jernbanedirektoratet, 2018).

Resultatet av testen er gjengitt i Tabell 3-2 nedenfor.

Tabell 3.2: Opplevd kvalitet av netjtjenester ved hastighetsbegrensning. Kilde: Test utført av Jernbanedirektoratet

	Hastighetsbegrensning		
	1Mbps	2Mbps	5Mbps
Målt hastighet (Bredbandskollen) - DL/UL(Mbps)/svartid(ms)	0,65/1,02/39,99	1,79/1,95/39,96	4,29/4,76/39,97
Observasjon av kvalitet			
Nettsurfing på mobil	Nye sider vises etter 5-7 sekunder	Nye sider vises etter 1-3 sekunder	Nye sider vises etter 1-2 sekunder
Nedlasting fil fra Google Drive til laptop (filstørrelse ≈ 3,2MB) Også relevant for nedlasting av vedlegg fra e-post.	38	14	6
Opplasting fil fra laptop til Google Drive	32	17	6

³¹ Telias data inkluderer også informasjon om alle ICE-kunder, ettersom disse benytter Telias nett på i dette dekningsområdet.

³² Ettersom datagrunnlaget fra mobiloperatørene ikke gir tilstrekkelig informasjon om antall tilkoblede eller aktive terminaler gir analysen ikke mulighet for å beregne observerte datahastigheter per aktiv terminal. Tall oppgitt per passasjer er følgelig for alle passasjerer om bord i toget, uavhengig av om de var tilkoblet og aktive på mobilnettet.

³³ Togene oppholdt seg i det målte dekningsområdet i om lag 2 minutter.

(filstørrelse ≈ 3,2Mb)			
Musikkstreaming (Spotify)	Tilfredsstillende kvalitet, Stabil lyd	Tilfredsstillende kvalitet, Stabil lyd	Tilfredsstillende kvalitet, Stabil lyd
Lydbok (Storytel)	Tilfredsstillende kvalitet, Stabil lyd	Tilfredsstillende kvalitet, Stabil lyd	Tilfredsstillende kvalitet, Stabil lyd
Videostreaming direkte sending NRK TV app på mobil	Bufring i starten, stabil video, lav, men helt OK oppløsning ift. Skjermstørrelse	Bufring i starten, akseptabel stabil video, god oppløsning ift. Skjermstørrelse	Stabil
Videostreaming Youtube app på mobil, oppløsning: auto	Stabil video, oppløsning 240p i auto modus.	Stabil video, oppløsning 360p i auto modus.	Stabil, 720p i auto modus
Videosamtale (Teams) på laptop	Stabil forbindelse, God tale, Video litt hakkete og kornete	Stabil forbindelse, God tale, Video litt kornete (ved større bilder)	Stabil forbindelse, God tale og video

Ved hastighet omkring (og under 1 Mbps) er oppstart av applikasjoner og data ned-/opplasting ikke tilstrekkelig rask. En hastighet på 2 Mbps viser seg å fungere godt nok for de fleste formål, og oppstarten av tjenestene er ikke så lang at man kan mistenke at nettet henger. Anbefalingen om 5 Mbps vil gi et robust mobilnett. Disse målingene er utført stasjonært, og ikke i bevegelse. Kapasiteten i mobilnettet, blant annet i handoversoner må dimensjoneres tilstrekkelig, slik at den opplevde hastigheten for togpassasjerene ikke faller under ønsket kapasitet på deler av en strekning, men er kontinuerlig.

Det absolutte primære krav er at mobilnettet leverer stabil dekning uten dekningshull. Et ustabil nettt med dekningshull vil medføre at klientene nærmest samtidig starter en «refresh» av tjenesteinnholdet, noe som bidrar til å skape en ond sirkel, og gir summen av nettbrukerne en svært dårlig brukeropplevelse. Ulike tjenester har ulike krav til kontinuerlig dekning, og bruk av bufring gir apper en viss grad av robusthet mot dekningshull. Dekningshullene kan generelt ikke være så lange at brukere opplever å være uten dekning. Et dekningshull som fører til en avbrutt telefonsamtale, er avgjort ikke akseptabelt. Bane NOR har i sine planer for dekning i tunneler planlagt å bygge ut løsninger i de fleste tunneler over 150-200 meter. 200 meter kan derfor være et utgangspunkt for hvor lange dekningshull som aksepteres. Videre har Bane NOR i sine dekningsmålinger/-beregninger lagt til grunn en signalstyrke på minst -90dB for områder med 4G.

3.3 Interessentanalyse

Interessentanalysen kartlegger hvilke interessenter som vil berøres av tiltaket og identifiserer deres behov. Interessentanalysen er basert på innspill fra verkstedet (Jernbanedirektoratet, 2019) og dialog med prosjektets arbeidsgruppe og rådgiver Multiconsult.

Aktuelle interessenter er delt i to grupper:

- *Primære interessenter* er brukere av mobiltjenester – også utenfor tog i områder langs jernbanen
- *Sekundære interessenter* er blant annet aktører som er direkte involvert i gjennomføring av tiltaket (utbygging og drift av mobilnettet).

Passasjerenes behov for mobiltjenester og kvalitet i mobildekning antas å avhenge av reisehensikt og andre forhold som for eksempel den reisendes alder. Alle passasjergrupper har behov for å utnytte reisetida til ulike gjøremål. Tilgang til stabil mobildekning med tilstrekkelig kapasitet (hastighet) for ulike formål kan bidra til økt verdiskaping i samfunnet, spesielt for tjenestereiser, og gjøre tog mer attraktivt i konkurranse med andre transportmidler for alle reiseformål.

Flere etater og statlige selskaper har ansvar når det gjelder utvikling av mobilnettet langs jernbanen. Disse har behov som blant annet er knyttet til overordnede politiske mål om verdiskaping, bosetting og regionforstørring samt miljøvennlig og sikker transport. Etater og selskaper med ansvar for togdrift og samfunnssikkerhet og beredskap har i dag egne nett som ikke påvirkes av etterspørselen i de kommersielle nettene. Det vurderes om disse funksjonene i framtida kan utnytte kapasiteten i de kommersielle nettene.

En viktig gruppe sekundære interessenter er togoperatører og selskaper som er underleverandører av mobilnett til togoperatørene. Disse aktørene har blant annet behov for:

- Fornøyde kunder med gode reiseopplevelser, dvs. togpassasjerer og mobilabonnenter
- God lønnsomhet og nødvendig avkastning av sine investeringer i mobilnettet
- Økt marked(sandel)

Sekundære interessenter omfatter også grunneiere og miljøvern- og friluftslivsorganisasjoner. Førstnevnte har blant annet behov for at næringsinteresser ivaretas i planlegging, utbygging og vedlikehold, mens sistnevnte har behov for å begrense inngrep, spesielt i verneområder og i områder med sårbart landskap. Naturinngrepene i forbindelse med utbygging av mobilnettet vil være relativt beskjedne, men utbygging av basestasjoner og framføring av strømforsyning kan medføre inngrep i eller nær verneområder og viktige områder for friluftsliv.

Tabell 3-3 oppsummerer interessentanalysen.

Tabell 3.3. Interessenter oppsummert (Jernbanedirektoratet, 2019)).

Interessenter	Reiseformål/rolle	Behov for
Primære:		
Togpassasjerer	Tjenestereiser, arbeidsreiser, fritidsreiser	Bedre utnyttelse av reisetid
Næringsliv	Tjeneste- og arbeidsreiser	Økt verdiskaping
Sekundære:		
Bane NOR	Eier infrastruktur, inkl. eget nett GSM-R til togframføring	God opplevelse for de reisende for å øke andel togreiser, mobildekning for togframføring
DSB	Eier Nødnett	Nødnett med god dekning over hele landet og nær 100 prosent oppetid.
Norske tog AS	Utleier av togmateriell	God mobildekning i togene
Togoperatører	Produserer persontogtjenester	God tilgang til mobiltjenester til passasjerene, mobildekning for overvåkings-systemer (IoT).
Teleoperatører som eier nettverk	Infrastruktur mobilnett, teletjenester (Telenor, Telia, ICE)	Bedriftsøkonomisk lønnsomhet, fornøyde kunder, økt marked(sandel)
Nkom	Regulerer og har tilsyn med teleoperatørene	Konkurransen i ekomsektoren
Nødetatene	Operativt ansvar for sikkerhet og beredskap	Stabil mobildekning overalt

Fylkeskommunene	Ansvar for regional utvikling	Effektiv og miljøvennlig transport, utvide felles bo- og arbeidsmarked (regionforstørring)
Miljøvern- og friluftslivsinteresser	Ivaretar miljøvern og friluftsliv	Bevare viktige natur- områder og landskap

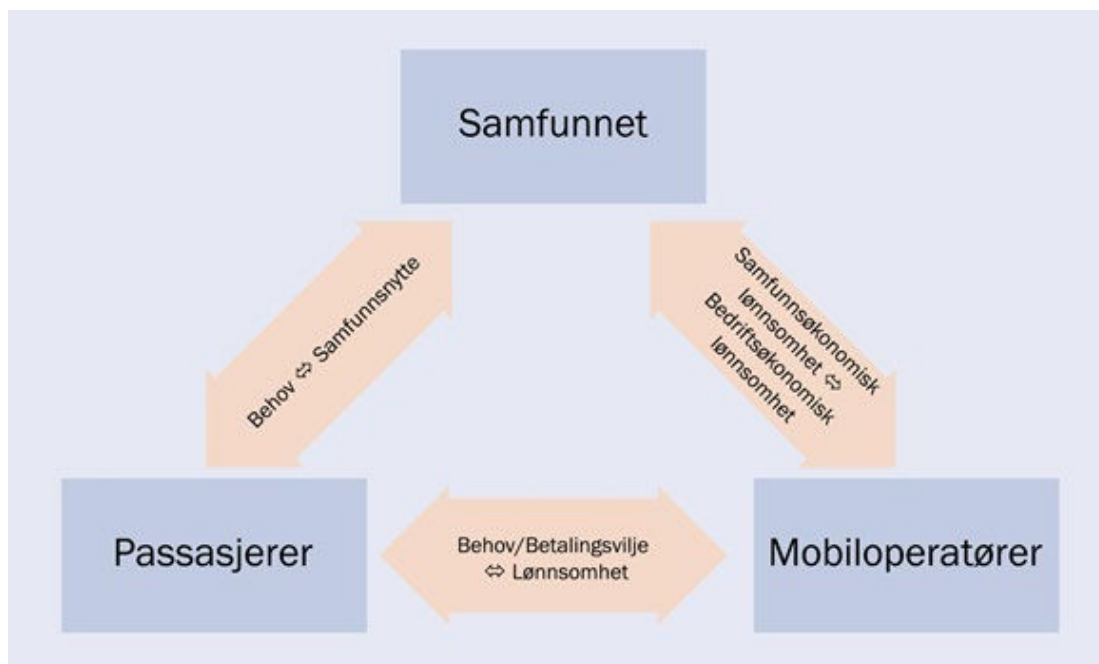
Passasjerer og andre brukere av mobilnettet langs jernbanen har i utgangspunktet sammenfallende behov for dekning og kapasitet. På strekninger med dårlig mobilkapasitet kan det imidlertid oppstå konflikt mellom ulike brukere. Et fåtall passasjerer som benytter strømmetjenester og online spill, vil kunne beslaglegge så mye kapasitet at ingen passasjerer får dekket sitt behov med ønsket kvalitet. Styring av tjenesteleveranse, eksempelvis å stoppe tilgang til video strømmetjenester og online spill, er ikke aktuelt blant annet fordi det bryter kravet mobiloperatørene må innfri til nettnøytralitet og likebehandling av innholdsleverandører.

Behov knyttet til togdrift, samfunnssikkerhet og beredskap krever god dekning med 100 prosent stabilitet, men med relativt lav kapasitet. I dag er disse behovene dekket med egne nett adskilt fra de kommersielle nettene. Hvis neste generasjon GSM-R (FRMCS) og Nødnett i fremtiden velger å benytte de kommersielle mobilnettene, må disse behovene kunne prioriteres foran andre brukere i avviks- og nødssituasjoner. Den kommende 5G løsningen vil kunne fordele kapasitet mellom brukere med ulik prioritering. Nødetatenes kapasitetsbehov forventes å øke betydelig blant annet fordi de har behov for å ta i bruk videostreaming i sitt arbeid.

I tillegg til ulike brukeres relativt sammenfallende behov for dekning og kapasitet, har myndigheter og selskaper i tillegg *behov knyttet til økonomi og konkurranse*. Disse behovene kan i større grad være i konflikt med hverandre og med passasjerenes behov for mobildekning med ønsket kvalitet til lavest mulig pris. Dette er illustrert i figur 3-2 nedenfor:

- Bedre dekning i et område kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt uten at det er bedriftsøkonomisk interessant for mobiloperatørene å bygge nødvendig infrastruktur.
- Passasjerene er misfornøyd med dagens mobildekning. Samtidig skyldes manglende dekning at mobiloperatørene ikke vurderer investering i områder med dårlig dekning som bedriftsøkonomisk fordelaktig.
- Det kan være en konflikt mellom brukernes behov for mobildekning, og hva det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å bygge ut.

Figur 3-2. Mulige interessekonflikter



3.4 Oppsummering og prosjektutløsende behov

Normative behov er først og fremst knyttet til nasjonale mål for transport- og ekopolitikken. Hovedmålene for transportsektoren skaper behov for å bedre framkommelighet for personer og gods, redusere transportulykker samt redusere klimagassutslipp og andre negative miljøkonsekvenser. Nasjonale mål for ekomtjenester medfører behov for sikre og robuste mobilnett og regulering som fremmer innovasjon og bærekraftig konkurranse.

Etterspørselsbaserte behov – vurderingen antyder at et mobilnett med kapasitet rundt 2 Mbps leverer kvalitet som gjør at de fleste nettjenester (inkludert video og spill) fungerer godt.

De behovene som ble avdekket i *interessentanalysen*, kan deles inn i tre hovedtyper som det kan være hensiktsmessig å skille fra hverandre:

- Passasjerenes behov for mobildekning, herunder næringslivets behov for effektiv utnyttelse av tid på tjenestereiser
- Etater og statlige selskapers behov for mobildekning for å ivareta sitt ansvar for å følge opp nasjonale transportmål, miljømål og behov relatert til togdrift og samfunnsikkerhet og beredskap
- Aktører (myndigheter og selskaper) har behov knyttet til bedriftsøkonomi, samfunnsøkonomi og konkurranseforhold som ikke nødvendigvis er sammenfallende.

Alle passasjerer har *behov for god og forutsigbar mobildekning* langs jernbanenettet. Vys kundetilfredshetsundersøkelser indikerer at tilfredsheten er synkende over tid. Dette synes å bekrefte et økende gap mellom forventninger om tilgang til tjenester over mobilnettet og de reisendes faktiske muligheter. Næringslivets behov for effektiv bruk av reisetid på tjenestereiser krever i de fleste tilfeller bare middels kapasitet, mens strømming av video og online spill har behov for tilnærmet kontinuerlig høy kapasitet.

Private mobilselskaper har behov for rammebetingelser og markedsforhold som legger til rette for bedriftsøkonomisk lønnsom drift. Samfunnet har behov for at samfunnsøkonomisk lønnsomme investeringer gjennomføres. Videre ønsker samfunnet en privat sektor med konkurranse som forhindrer at aktører kan utøve uønsket monopolmakt.

Bedre mobildekning kan legge til rette for mer effektiv bruk av reisetid for de som i utgangspunktet reiser med tog. Dette gir nytte i form av økt verdiskaping for næringslivet (på tjenestereiser) og reduserer tidskostnader for arbeidsreiser. Begge deler kan legge til rette for ønsket utvidelse av sammenhengende arbeids- og boligregioner.

I neste omgang kan bedre mobildekning som reduserer tidskostnadene, styrke togets konkurransekraft og gi flere togpassasjerer. Dette er i tråd med målet om økt andel miljøvennlig transport. Bilreiser som erstattes med togreiser, betyr dessuten lavere ulykkeskostnader i transportsystemet. Denne KVUen fokuserer primært på den førstnevnte, direkte effekten av bedre mobildekning for togpassasjerer, men vurderer i et kvalitativt perspektiv hvilken påvirkning tiltak har på andre effekter.

Basert på behovsanalysen legges følgende prosjektutløsende behov til grunn for konseptvalgutredningen:

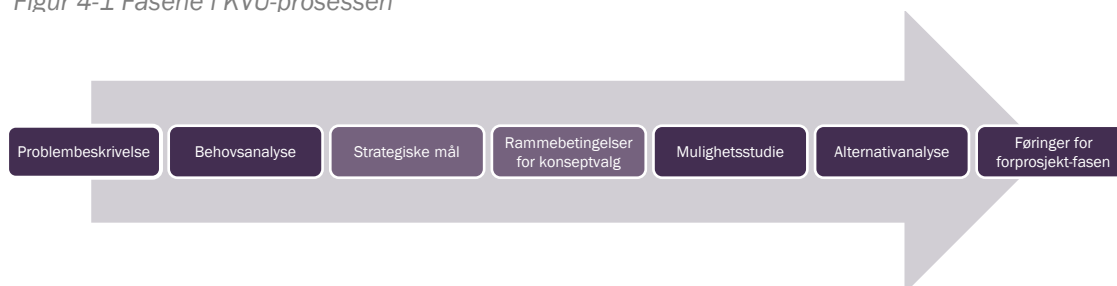
Det er behov for bedre mobildekning om bord i tog for å legge til rette for effektiv bruk av reisetid

Utvikling av mål og kriterier for evaluering av konsepter må forholde seg til flere behov og hensyn enn det prosjektutløsende behovet. Andre behov vil for eksempel være behovet for samfunnsøkonomisk lønnsomhet og samfunnssikkerhet, ønsket om konkurranse i mobilmarkedet og hensynet til mobilselskapenes behov for bedriftsøkonomisk lønnsomhet.

4 Strategiske mål og rammebetingelser

Med utgangspunkt i problemforståelsen og de behovene som er avdekket defineres hvilke mål prosjektet skal nå. Det fastsettes både et overordnet samfunns mål og tilhørende effektmål. Videre defineres det også et sett med rammebetingelser som konseptene må innfri. Mer informasjon finnes i delrapport om Mål og rammebetingelser (Delrapport 3 - Mål og rammebetingelser, 2020).

Figur 4-1 Fasene i KVVU-prosessen



4.1 Samfunns mål

Ut fra problembeskrivelsen og behovsanalysen formuleres et samfunns mål som beskriver den utviklingen som prosjektet skal bidra til. Samfunns målet er tett knyttet opp til det tidligere definerte prosjektutløsende behovet:

Det er behov for bedre mobildekning om bord i tog for å legge til rette for effektiv bruk av reisetid

Følgende samfunns mål legges til grunn for utvikling og evaluering av aktuelle konsept:

Økt verdiskaping gjennom bedre utnyttelse av reisetid og økt andel miljøvennlige reiser

Med *økt verdiskaping* menes i denne sammenheng først og fremst bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester på togreiser, blant annet mulighet for å arbeide effektivt. I dag er stabil mobildekning med tilstrekkelig kapasitet langt på vei en forutsetning for å kunne nyttiggjøre seg digitale tjenester. God kvalitet på digitale tjenester gjør det mulig å utnytte reisetiden mer effektivt eller korte ned på den opplevde reisetiden (reduere reisetidsulempen) for alle typer reisende.

For arbeidsrelaterte reiser vil god kvalitet på digitale tjenester gjøre det mulig å jobbe effektivt på toget. For mange arbeidsoppgaver kan tiden på en togreise brukes med nesten samme effektivitet som på arbeidsplassen. Dette er verdifullt på alle typer reiser, men kanskje særlig på reiser som er så lange at det er vanskelig å basere seg på offline jobbing. Bedre mobildekning kan bety at mindre arbeidstid går tapt på arbeids-/tjenestereiser med tog.

Bruk av mobilnettet på ikke-arbeidsrelaterte reiser har også betydning for verdiskaping. Alle reisende som kan benytte tiden på toget til praktiske gjøremål (nettbank, innkjøp, koordinering etc.), frigjør tid til andre viktige oppgaver eller aktiviteter når de ikke reiser. Dette har verdi for den enkelte reisende, og for samfunnet. Videre vil alle tjenester som bidrar til å redusere den reisendes opplevde reisetid, for eksempel underholdningstjenester, ha verdi ved at den reisende opplever reisetidsbelastningen som mindre. Fritidsreisende som benytter online innholdstjenester mens de sitter på toget, oppnår ikke bare en nytte knyttet til egen verdsetting av tid. De bidrar også til verdiskaping hos disse innholdsleverandørene, slik som strømmetjenester og reklamebransjen.

Bedre mobildekning kan dermed bidra til økt produktivitet i samfunnet på mange ulike måter. Når den opplevde reisetiden med tog kortes ned sammenliknet med konkurrerende transportformer, styrkes togets konkurransekraft og andelen miljøvennlige reiser forventes å øke. Hvis bedre mobildekning bidrar til at tjenestereiser flyttes fra bil og fly til tog, vil dette ytterligere øke muligheten for at reisetid benyttes effektivt. Dette kommer i tillegg til den reduserte tidsulempen for alle de som i utgangspunktet reiser med toget.

Mulighet for å arbeide effektivt på reiser avhenger av flere forhold. Tog har større potensial enn fly og bil når det gjelder å legge til rette for å utnytte reisetida til produktivt arbeid:

- Reiselengde og varighet av de ulike etappene fra dør til dør. Selv om selve flytiden er kort sammenlignet med tilsvarende togreise (som går fra sentrum til sentrum), vil en flyreise være stykket opp i mange etapper med stadige avbrudd og betydelig dødtid til tidlig oppmøte, sikkerhetssjekk, boarding før flyavgang, bagasjehenting og transport til og fra flyplass.
- Komfort og tilrettelegging for effektiv jobbing avhenger blant annet av plassen om bord. Tog har bedre plass til de reisende enn i bil og fly, og mulighetene for å lage gode arbeidsplasser er vesentlig bedre.
- Fører av bil har ingen mulighet for å arbeide, men bil-/busspassasjerer har noe mulighet avhengig av plass.

I tillegg til direkte nytte i form av reduserte tidskostnader for ulike reiseformål kan bedre mobildekning bidra til utvidelse av funksjonelle arbeids- og boligmarkeder rundt større byer, såkalt regionforstørring. Økt agglomerasjon³⁴ antas å bidra til verdiskaping fordi reduserte tidskostnader for reiser gir mulighet for samarbeid og konkurranse i et større geografisk område. Større regioner betyr blant annet større samsvar (bedre matching) mellom bedriftenes behov for kompetanse og tilgjengelig kompetanse innenfor akseptabel pendlingsavstand.

Opplevd reisetidsbesparelse gjennom bedre mobilitet og økt kvalitet på digitale tjenester gir toget bedre mulighet til å utnytte sine konkurransefortrinn. På lange reiser har passasjerene en høyere verdsetting av sin egen tid enn på kortere reiser. En opplevd reisetidsbesparelse målt i minutter vil således være mer verdt for den enkelte reisende på en lang reise enn på en kort reise. På den annen side er ofte volumene av reisende større på strekninger med en høy andel korte reiser – gjerne på pendlerstrekningene inn mot de store byene. Dersom bedre mobildekning kan redusere opplevd reisetid med 10 minutter på en 30 minutter lang reise, vil en slik utbygging gi mer nytte for samfunnet på for eksempel strekningen Drammen-Oslo der det går 15-20 relativt fulle tog i timen, enn på en fjerntogstrekning der det kanskje bare går ett tog i timen.

Samfunnsmålets del om *miljøvennlige reiser* er knyttet til ønsket overgang fra bil- og flyreiser til reiser med tog. Med dagens teknologi gir togreiser vesentlig lavere miljøbelastning enn bil og fly når det gjelder klimagassutslipp, lokale utslipp og støy, jfr. behovsanalysen. For en reise Oslo – Trondheim er utslipp av klimagasser for en togpassasjer en seksdel av utslippet fra bil forutsatt at kapasiteten er fullt utnyttet for begge transportmidler. Utslipp fra tilsvarende reise med fly er over 18 ganger høyere enn med tog (Vy, 2019). Uovertruffen lav rullemotstand mellom hjul og skinne samt høyeffektive elektromotorer forklarer energieffektiviteten i tog som framkomstmiddel.

Inn mot og i de største byområdene vil tog (og annen skinnegående transport) dessuten være mest arealeffektivt for betjening av store transportstrømmer.

4.2 Effektmål

Effektmålene skal beskrive hvilke prosjektspesifikke virkninger som søkes oppnådd for ulike interessenter. Dersom det er flere effektmål, bør de være innbyrdes konsistente, og det skal prioriteres mellom dem. Eventuelle målkonflikter bør synliggjøres.

³⁴ Agglomerasjon (fortetting) av økonomisk aktivitet og urbanisering er ifølge Produktivitetskommissjonen nær knyttet til produktivitet (Produktivitetskommissjonen, 2015). Betydningen av tetthet, eller agglomerasjon, er ifølge Produktivitetskommissjonen:

«at tetthet og mangfold tilrettelegger for at folk samhandler og lærer av hverandre. Det stimulerer til innovasjon, spredning av kunnskap og tilegnelse av ferdigheter. Dessuten gir storbyen stordriftsfordeler i form av større markeder, flere leverandører og større tjeneste- og infrastrukturtilbud.»

For hver av de to delene av samfunnsmålet er det formulert ett effektmål med tilhørende indikator, jfr tabell 4.1.

Tabell 4.1. Samfunnsmål, effektmål og metode for vurdering av måloppnåelse

Samfunnsmål	Effektmål	Vurderingsmetode KVV
Økt verdiskaping	Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt	Endring i mobildekning langs jernbanen beregnet med modell utviklet for konsept-valgutredningen
Miljøvennlig transport	Økt andel togreiser	Kvalitativ vurdering ut fra etterspørselastisitet for togreiser

Som påpekt ovenfor kan bedre mobildekning også gi indirekte virkninger når det gjelder mål om regionforstørring og økt verdiskaping på grunn av økt agglomerasjon (økonomisk tetthet). Bedre mobildekning kan bidra til økt omfang av pendling med tog og legge til rette for økt samarbeid mellom virksomheter i utvidede bolig- og arbeidsmarkedsregioner.

Konseptenes virkninger for mobildekning for togpassasjerer er beregnet ved hjelp av en modell utviklet i konseptvalgutredningen. Modellen kopler investeringer i mobilnettet med endret kvalitet i mobildekning langs jernbanenettet.

Effektmålet om miljøvennlig transport er knyttet til økt andel togreiser. Måloppnåelse for de ulike konseptene vurderes kvalitativt ut fra kunnskap om sammenheng mellom tilbudsforbedringer og økt etterspørsel etter togreiser (etterspørselastisiteter).

Reduserte utslipp av klimagasser er et viktig mål i transportpolitikken. Måloppnåelse for effektmål om transportmiddelfordeling vil samsvare godt med utvikling i forhold til klimamålet. Reduserte utslipp av klimagasser sammenlignet med et referansealternativ er avhengig av økt andel togreiser (flytting av reiser fra bil og fly til tog).

Etter at hele eller deler av valgt konsept er gjennomført vil det være mulig å måle faktiske endringer, men i mange tilfeller kan det være vanskelig å identifisere en direkte årsakssammenheng mellom observert endring og forbedret mobildekning. Forbedring i mobildekning kan måles direkte ved registreringer langs jernbanenettet (ROGER 1000) og mer indirekte i undersøkelser av kundetilfredshet. Faktisk utvikling i togreiser vil på den annen side avhenge av en rekke faktorer som for eksempel endring i reisetid med ulike transportmidler, køproblemer på vegene og omfang av bompenger og annen trafikantbetaling.

4.3 Rammebetingelser

Rammebetingelser er betingelser som skal eller bør oppfylles av alle konsepter. I statens prosjektmodell skilles det mellom:

- Rammebetingelser som utledes av samfunns- og effektmålene
- Rammebetingelser som relateres til andre ikke-prosjektspesifikke mål og prinsipielle spørsmål

Formulering av rammebetingelser bør begrenses til forhold som er spesielt relevante for undersøkelsen av mulighetsrommet og vurdering av virkninger av konseptene. Rammebetingelsene må ikke settes slik at de avgrensner mulighetsrommet unødige.

I denne konseptvalgutredningen er det ikke formulert rammebetingelser med utgangspunkt i effektmålene.

Gjennomføring av et valgt konsept er avhengig av at minst én av mobiloperatørene finner det interessant å levere mobildekning på alle de strekningene der KVVUen anbefaler styrket mobildekning. På denne

bakgrunn er det formulert en rammebetingelse som skal ivareta behovet for at nettoperatorene må medvirke til gjennomføring av tiltaket:

- Konseptene må sørge for bedriftsøkonomisk attraktivitet for minst én av mobiloperatørene langs hver strekning der det anbefales styrket mobildekning

Det er også formulert en rammebetingelse for å sikre sammenhengende kvalitet på strekninger der det investeres i infrastruktur for bedre mobildekning:

- Ved utbygging av mobilnettet på en jernbanestrekning skal det minimum bygges middels god dekning (iht. TØI definisjon (Flügel, et al., 2020) på hele strekningen mellom to nabostasjoner

Konsepter for bedre mobildekning skal ikke være til hinder for nye aktører i mobilmarkedet.

Konkurranseshensyn er blant annet ivaretatt i EUs regelverk for statsstøtte. På denne bakgrunn er det formulert en egen rammebetingelse om konkurranse:

- Konseptene må være i tråd med EUs regelverk for statsstøtte.

De tre rammebetingelsene over betraktes som absolutte og må oppfylles av alle konsepter som inngår i alternativanalysen.

Utviklingen av mobilnettet og nettbaserte tjenester pågår i et høyt tempo. Nye tjenester og passasjerenes økte forventninger til nett-tilknytning vil isolert sett bety økt etterspørsel etter kapasitet langs jernbanenettet. Samtidig kan teknologiutviklingen kompensere kapasitetsbehovet knyttet til ulike aktiviteter på nettet.

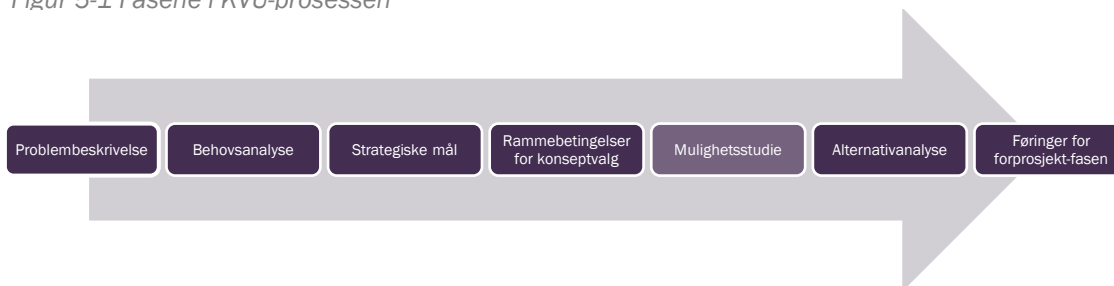
Ved vurdering av konsepter er det ut fra ovennevnte viktig å se på eventuelle forskjeller når det gjelder fleksibilitet:

- Konseptene bør være fremtidsrettede og kunne utvikles i takt med nye digitale tjenester.

5 Mulighetsrom

Mulighetsstudien skal identifisere muligheter som kan løse samfunnsmålet og de effektmålene, som er definert for konseptvalgutredningen, innenfor de definerte rammebetingelsene. Mulighetsstudien skal gå bredt ut for å identifisere et mulighetsrom der flere konseptuelt ulike tilnærminger belyses. Gjennom en silingsprosess peker mulighetsstudien til slutt på de løsningene som skal vurderes videre i neste fase, som er alternativanalysen.

Figur 5-1 Fasene i KVVU-prosessen



For mer detaljer om mulighetsrommet, se Mulighetsstudien (Delrapport 4 - Mulighetsstudie, 2020).

5.1 Metode

De innledende fasene i konseptvalgutredningen har belyst problemet og behovene. Ut fra dette arbeidet har Samferdselsdepartementet godkjent et samfunnsmål som utredningen skal løse:

Økt verdiskaping gjennom bedre utnyttelse av reisetid og økt andel miljøvennlige reiser

Basert på samfunnsmålet er det utledet et sett med effektmål og rammebetingelser.

Ifølge statens prosjektmodell skal mulighetsstudien utforske mulighetsrommet som defineres av problem, behov, mål og rammebetingelser (Finansdepartementet, 2019). Mulighetsstudien skal identifisere alle relevante løsninger som alene eller i kombinasjon kan løse problemet og oppfylle samfunnsmål og effektmål innenfor rammebetingelsene. Alle aktuelle tiltak og virkemidler skal undersøkes på tvers av berørte statlige virksomheter. I dette tilfellet må tiltak også omfatte private virksomheters virkemidler. Dette drøftes særskilt i hovedrapportens kapittel 9.

Mulighetsstudien avsluttes med en grovsiling der de identifiserte konseptene vurderes ut fra rammebetingelser og måloppnåelse. Det dokumenteres hvorfor noen løsninger siles bort på et tidlig stadium – før alternativanalysen.

For å identifisere mulige løsninger er det lagt vekt på en åpen og kreativ prosess der mange interessenter og fagmiljøer er trukket inn. Våren 2019 ble det gjennomført et verksted med eksterne interessenter (Jernbanedirektoratet, 2019). Videre har det vært idémyldring i Jernbanedirektoratets prosjektgruppe høsten 2019.

Søk etter konsepter har foregått i fire trinn der forventet investeringsramme øker for hvert trinn:

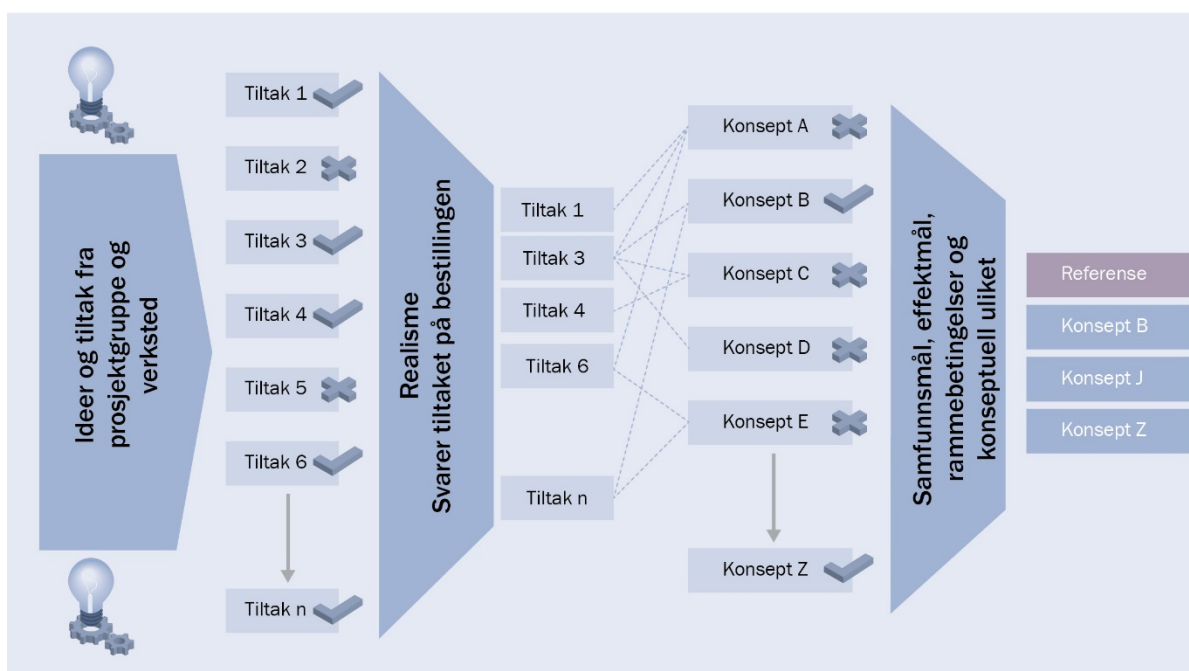
1. Tiltak som påvirker etterspørsel
2. Tiltak som gir mer effektiv utnyttelse av eksisterende infrastruktur
3. Forbedringer av eksisterende infrastruktur (mindre investeringer)
4. Nyinvesteringer og større ombygginger av infrastruktur

I mange konseptvalgutredninger går man i mulighetsstudien rett på utvikling av fullstendige konsepter på hvert av de fire trinnene. I denne konseptvalgutredningen har det vært hensiktsmessig å starte med en innledende gjennomgang av et stort antall tiltak og virkemidler som kan bidra til bedre mobildekning, men som hver for seg ikke kan betraktes som egne, fullstendige konsepter. Bakgrunnen for denne tilnærmingen er blant annet at det er et stort antall enkelttiltak som kan bidra til bedre måloppnåelse, og at det i

mobilnettet langs jernbanen i dag er mange aktører som er i posisjon til å kunne bidra med deler av løsningen. I de fleste konsepter må flere aktører bidra med sine tiltak for å etablere mobildekning med ønsket kvalitet.

Figur 5-2 nedenfor viser framgangsmåten i mulighetsstudien som startet med gjennomgang av et stort antall tiltak i verkstedet med interessentene og etterfølgende idémyldring i Jernbanedirektoratets prosjektgruppe. Innspill til tiltak ble vurdert ut fra realisme og hvordan de passet med departementets bestilling om å utrede løsninger for bedre mobildekning langs jernbanenettet. Sistnevnte betyr blant annet at det er mindre relevant å vurdere løsninger som reduserer etterspørselen etter dekning og kapasitet. Det ble tolket som en forutsetning for oppdraget at konseptene skal gi mobildekning som gjør det mulig for passasjerene å utnytte tilgjengelige nettjenester etter hvert som disse tilbys.

Figur 5-2. Steg i mulighetsstudie



Etter vurdering og siling av tiltak ble gjenværende tiltak brukt som byggeklosser for konseptutvikling.

Det ble utviklet til sammen 15 konsepter som ble vurdert å ligge innenfor det tekniske mulighetsrommet. Konseptene ble deretter silt ut fra:

- Absolutte og mer retningsgivende rammebetingelser
- Antatt grad av måloppnåelse

Konsepter som ikke oppfyller absolutte rammebetingelser, skal siles bort og ikke tas med videre til alternativanalysen. Det kan dessuten være aktuelt å sile bort konsepter som må antas å ha dårlig måloppnåelse. Hvis to konsepter vurderes som relativt like når det gjelder måloppnåelse, kan det dyreste siles bort. Konsepter som er varianter av et annet konsept siles også bort.

De vurderte konseptene omfatter bare ulike løsninger for teknisk infrastruktur for bedre mobildekning. Ifølge Samferdselsdepartementets bestilling skal KVUen «i tillegg vurdere i hvilken grad ulike konsepter er fleksible for ulike finansieringsmodeller eller om de vil legge føringer for ansvars- og kostnadsdeling mellom staten og kommersielle aktører». Mulighetsstudien ser ikke på forhold knyttet til finansiering og fordeling av ansvar og kostnader. Løsninger knyttet til finansiering, eierskap og konkurranse behandles imidlertid i kapittel 9 Føringer for forprosjekt. Konseptanalysen vil vurdere konseptenes fleksibilitet for ulike løsninger for finansiering, ansvars- og kostnadsdeling.

5.2 Kreativ gjennomgang av tiltak

Den kreative fasen med generering av et stort antall konsept for å utforske hele mulighetsrommet har vært gjennomført i to hovedaktiviteter. Et verksted med eksterne deltakere og en intern idemyldring i prosjektgruppen. Verkstedet ble avholdt 27.03.2019, med 23 deltakere. Disse representerte ulike interessenter, blant annet alle tre mobiloperatører, Bane NOR, togoperatører, DSB og Nkom. Det foreligger egen rapport fra dette verkstedet (Jernbanedirektoratet, 2019).

Firetrinnsmetodikken ble brukt både i verkstedet og i prosjektgruppens interne idemyldring. Tiltak rettet mot å redusere etterspørselen etter mobildekning langs jernbanen ble i liten grad vurdert som aktuelle. Oppdragsbrevet fra samferdselsdepartementet instruerer eksplisitt at utredningen «KVU – Bedre nettdekning langs jernbanen» skal fokusere på tiltak som kan forbedre mobildekningen langs jernbanesporet. Behovsanalysen reflekterer også at en fremtidsrettet løsning må bygge på at togene får en online internettforbindelse med god kapasitet. Dette var tilbakemeldingen fra verkstedet også: Å redusere etterspørselen etter mobildekning er feil tilnærming til problemet. Togoperatørene står selvfølgelig fritt til å implementere tiltak for egen regning dersom de ønsker, for eksempel lokale offline underholdningstjenester på toget som passasjerene kan få tilgang til via wifi.

Det ble identifisert få tiltak som kunne gi mer effektiv utnyttelse av eksisterende infrastruktur som kunne bidra til å svare ut oppdraget fra Samferdselsdepartementet, utover at det ligger et potensiale i fremtidig utnyttelse av 5G-teknologi og de nylig tildelte frekvensene i 700 MHz-båndet.

Eksisterende infrastruktur kan bidra til måloppnåelse dersom den forbedres eller oppgraderes. Dette gjelder særlig Bane NORs nett av GSM-R basestasjoner og andre basestasjoner langs jernbanelinjen. Ved å oppgradere disse slik at de kan tilby tilstrekkelig plass, strøm og transmisjonskapasitet kan de kommersielle mobiloperatørene bruke disse til å tilby kommersielle mobiltjenester langs deler av jernbanen. Oppgraderingsbehovet ved GSM-R basestasjonene kan imidlertid være så omfattende at det muligens er å anse som større ombygging.

De mest virkningsfulle tiltakene er nyinvesteringer og større ombygginger (steg 4). Innspillene fra verkstedet gir tydelige signaler om at det bør installeres forsterkeranlegg i tunneler, som sørger for at mobilsignaler blir godt distribuert. Videre at det bør etableres et tettere nett av basestasjoner, slik at alle frekvensressurser, også høye frekvenser (≥ 1800 MHz) kan benyttes for å styrke mobilkapasiteten langs jernbanen. Samtidig ble det også foreslått at tiltakene må tilpasses passasjervolumene, slik at investeringen står i forhold til nytten samfunnet får tilbake.

Noen av tiltakene som ble foreslått i steg 4 var interessante, men ble likevel ikke vurdert som aktuelle. Bruk av satellitter, både geostasjonære og lavbane, vurderes ikke å gi god måloppnåelse på nåværende tidspunkt. Det kan likevel være aktuelt i fremtiden, spesielt bruk av lavbanesatellitter. Spornære (Track Side) løsninger kan fungere i noen situasjoner, men det svarer ikke ut bestillingen fra departementet om mobildekning langs sporet. Det er også usikkert på om slik løsninger gir bedre måloppnåelse, all den tid det vil møte mange av de samme problemstillingene som mobildekning, med tanke på blant annet strømforsyning, fibertilgang og frekvensrekkevidde. Utbyggingsomfanget av spornære løsninger vil også være betydelig større enn en utvidelse/forsterkning av et allerede eksisterende mobilnett fordi et nytt spornært nett må bygges opp fra en ikke eksisterende løsning til et nytt nett langs hele jernbanenettet. Siden en slik løsning ikke gir mulighet for mobiltelefonanrop, så blir heller ikke en slik løsning å regne som fullverdig, og behov for mobilnett vil fortsatt være til stede.

Basert på vurdering av realisme og hvordan de passet med departementets bestilling om å utrede løsninger for bedre mobildekning langs jernbanenettet ble følgende tiltak/ideer brukt videre i konseptutviklingen.

1. Felles repeateranlegg i tunneler over 150-300 meter
2. Frittlandsdekning som tar i bruk alle frekvenser mellom 700 – 2600 MHz. Dette innebærer et betydelig antall nye siter, og en betydelig oppgradering av eksisterende siter.
3. Langs noen strekninger der passasjergrunnlaget er begrenset kan det vurderes frittlandsdekning basert på lave frekvenser. Det medfører mindre behov for nye siter, men fortsatt behov for oppgradering av eksisterende siter
4. Utbyggingen bør koordineres slik at tunneler og frittland på en strekning bygges ut samtidig.
5. Siter må dimensjoneres og legges til rette slik at de kan benyttes av mange aktører, herunder alle tre mobiloperatører

5.3 Konseptutvikling

Med utgangspunkt i Plan for bedre nettdekning, innspillene fra kreativ gjennomgang av tiltak, møter med Bane NOR, togoperatørene, informasjon fra Norske tog, mobiloperatørene og informasjonsinnhenting fra eksterne kilder har utredningen identifisert et teknisk mulighetsrom. Utbygging av mobildekning i tunneler og frittland har forskjellige tekniske løsninger som behandles hver for seg. Kravene til kapasitet i mobilnettet avhenger av antall passasjerer. Ulik kvalitet på mobilkapasiteten gir ulik nytte for passasjerene.

Vurdering av mulighetsrommet baserer seg på at Norske Tog³⁵ nå arbeider med installasjon av firebånds mobilforsterkere i togene. Disse vil primært håndtere frekvensbåndene 800, 900, 1800 og 2100 MHz. Mobilforsterkerne installeres med en såkalt 2x2 MIMO antenneløsning (se mer om MIMO i kapittel 5.3.3)

5.3.1 Nytte og kapasitet i mobilnettet

Transportøkonomisk institutt har definert tre nivåer for kvaliteten på mobildekningen: Dårlig, Middels og God. *Dårlig dekning innebærer at det mangler kontinuitet i dekningen (varierer mellom ingen og God) og at det mange steder ikke er dekning.* Dette fører til at samtaler blir brutt og andre tjenester bare fungerer periodevis. *Middels god dekning gjør det mulig å bruke basistjenester slik som nedlasting av nettsider, epost, sosiale medier, nedlasting av filer, samt strømming av lyd.* Nedlasting av filer fungerer, men det går tregt med filer av noe størrelse. Med *god dekning* oppnås en noe mer akseptabel responstid for lastning av filer, og gir i tillegg god mulighet for å strømme video og onlinespill. Sistnevnte har imidlertid i mange tilfeller strenge krav til responstid, alt avhengig av spillens design, og kan også med 2 Mbps oppleves lite tilfredsstillende.

Tabell 5.1. Kvalitetsopplevelse av netjtjenester ved ulik dekningskapasitet. Kilde: TØI

Bruk av dekning	Dårlig	Middels	God
Samtale	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Nettsurfing	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Filnedlasting	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning, men nedlasting av store filer går sakte	Uavbrutt dekning
Strømming av lyd	Periodevis dekning	Noe buffring	Uavbrutt dekning
Strømming av video	Periodevis dekning	Hyppig buffring	Uavbrutt dekning
Gaming	Periodevis dekning	Hyppig buffring	Uavbrutt dekning

Den samfunnsøkonomiske nytten er forskjellig for de tre nivåene. Dette er nærmere beskrevet i den samfunnsøkonomiske analysen (Delrapport 7 - Samfunnsøkonomisk analyse, 2020)

5.3.2 Passasjerbehov og passasjervolumer

Behovsanalysen beskrev hvordan det er behovet til de passasjerene som bruker mobilnettet aktivt og samtidig som må være dimensjonerende for kapasiteten som bygges ut langs jernbanen. Med utgangspunkt i Plan for bedre nettdekning (2018) og i samråd med alle tre mobiloperatører er det besluttet

³⁵ Norske tog har ultimo 2019 gjennomført en konkurranseutlysning i det internasjonale markedet for leveranse av nye mobilforsterkere til sine kjøretøy. Det er Site Service som ble vinner av konkurransen. De leverer mobilforsterkerløsning med Commscope som leverandør av 4 båndes mobilforsterkere, samt tilhørende utstyr.

å legge til grunn en antakelse om at 80% av passasjerene har terminal koblet til mobilnettet, og at til enhver tid så er 1/3 av disse terminalene aktive på mobilnettet. På et tog med 300 passasjerer forutsettes følgelig at 80 terminaler (26,7% av passasjerantallet) til enhver tid er aktive på mobilnettet. Videre legger denne utredningen til grunn – også i samråd med alle tre mobiloperatører – at et mobilnett som tilbyr en kapasitet på 5 Mbps per aktiv mobilterminal i toget vil levere God mobildekning. Middels kapasitet forutsettes oppnådd med 1,25 Mbps per aktiv mobilterminal. Når det iverksettes utbygging bør det gjøres en oppdatert vurdering av behov og kapasitet på det aktuelle tidspunktet, og om disse konkrete kapasitetsmålene bør revideres.

Vy har gitt utredningen tilgang til antall passasjerer som benytter jernbanen per år. Antall passasjerer per år benyttes til å beregne nytten av bedre mobildekning per strekning (se den samfunnsøkonomiske analysen for mer informasjon (Delrapport 7 - Samfunnsøkonomisk analyse, 2020).

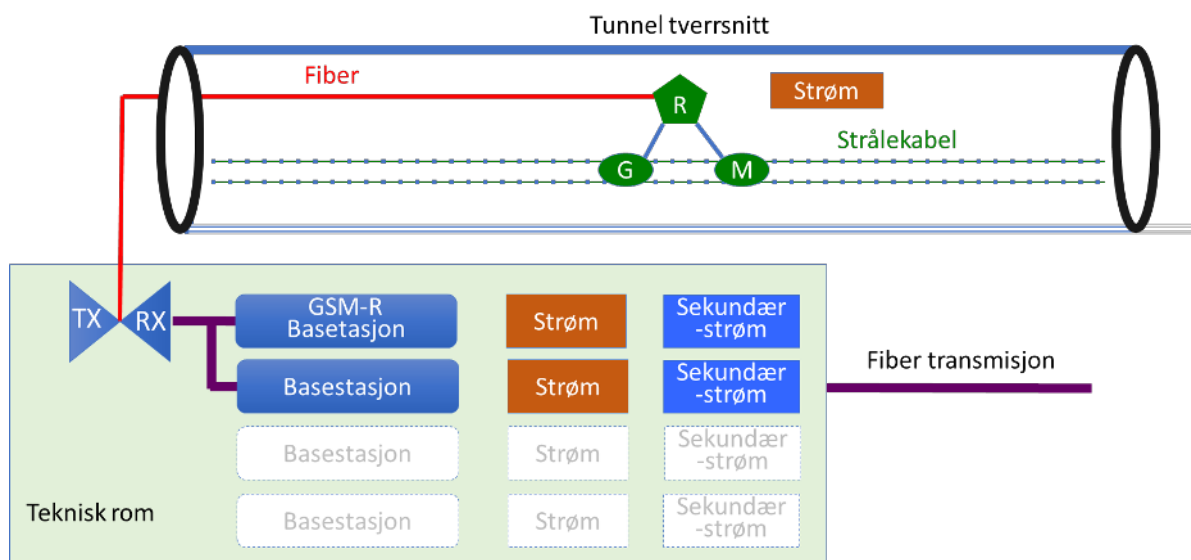
Jernbanedirektoratet har laget en modell, KapMon, som anslår maksimalbelastning for passasjerer på en strekning i rushtid. Dette definerer utredningen som den dimensjonerende passasjermengden på hver enkelt strekning. Den dimensjonerende mengden passasjerer benyttes til å anslå hvilken kapasitet mobildekningen må ha langs ulike deler av jernbanenettet. Hvis det dimensjonerende passasjertallet for en strekning er 300 passasjerer, og behov for kapasitet per samtdidig, aktiv terminal er 5 Mbps, så må mobilnettet langs strekningen ha en kapasitet på 400 Mbps.

KapMon omfatter ikke alle strekninger, bare lokaltog og InterCity. For strekninger som ikke omfattes av KapMon, er dimensjonerende passasjertall anslått manuelt. Typisk er det da lagt til grunn at dimensjonerende passasjertall er det totale antall sitteplasser i toget som kjøres, og disse anslagene er godkjent av Vy. På pendlerstrekningene vil det si at mobildekningen dimensjoneres for normalt morgenrush. For fjerntogstrekningene dimensjoneres det for normalt travle utfartsdager som fredager og søndager, men ikke for de travleste reisedagene rundt høytidene.

5.3.3 Tunneler

Det bør bygges ut mobildekning i tunneler lenger enn 150 meter. Mobildekning i tunnel bygges ved hjelp av såkalte forsterkeranlegg. Repeateranlegget benytter strålekabler som festes i tak og vegger inne i tunnelene og fungerer som forsterker av mobilsignaler til/fra toget. Strålekablene som er koblet til en repeater er igjen koblet til en basestasjon via en fiberkabel. Signalstyrken i strålekabelen avtar dess lengre kabelen er, og det trengs derfor en mobilforsterker gjennomsnittlig hver 500 meter i tunnelen. Særskiilt grunnet strålekablene er arbeidsomfanget med montasje omfattende og følgelig kostnaden med å bygge ut dekning i tunnel betydelig høyere per meter jernbane enn ute i frittland.

Figur 5-3. Mobildekning med repeateranlegg i tunnel. Overordnet prisnippskisse.



De repeateranleggene som er installert i tog tunneler per i dag, eies av Bane NOR. Strålekabelen kan kobles til flere repeaterer i tillegg til GSM-R repeateren. I mange tunneler har TETRA³⁶ en egen repeater. De kommersielle operatørene deler én repeater. I/ved tunnelen har alle aktører sitt utstyr installert i et teknisk rom, der de kobler sitt svitsjenett til repeateranlegget. I fremtiden antas det at Nødnettet vil benytte det kommersielle nettet (KVUNødnett), slik at det ikke lenger blir behov for en egen repeater for TETRA. Videre finnes det repeaterløsning som kan håndtere både GSM-R og kommersielle nett, slik at det bare blir nødvendig med én repeater på hvert repeaterpunkt. Det anbefales at en slik løsning utredes som del av neste prosjektfase. Dette kan gi både en mulig kostnadsbesparelse og en økt tjenestekvalitet for de kommersielle brukerne av repeateranlegget.

Antall strålekabler som monteres parallelt i tunnelen er avgjørende for kapasiteten til anlegget. Et anlegg basert på én strålekabel kalles Single Input, Single Output (SISO). Det kan også bygges anlegg med to kabler i parallell, 2x2 Multiple input, multiple output (2x2 MIMO) eller fire kabler (4x4 MIMO). Kapasitet og kostnad for 4x4 MIMO er om lag det dobbelte av 2x2 MIMO, som igjen er om lag det dobbelte av SISO.

Kapasiteten avhenger også av mengden frekvenser som benyttes i anlegget. For hver 1 Mhz båndbredde som tilbys i repeateranlegget så kan det i teorien leveres en kapasitet på 3,6 Mbps dersom det er en SISO løsning installert. Kapasiteten øker til 7,2 Mbps i en 2x2 MIMO løsning, og dobles til 14,4 Mbps i en 4x4 MIMO-løsning³⁷. I praksis oppnås langt lavere kapasitet per Mhz, ettersom toget forflytter seg i stor hastighet, befinner seg nært basestasjoner for så å forflytte seg langt unna basestasjoner og terminalene må gjøre hyppige skift fra en basestasjon til den neste langs sporet. I samråd med de tre mobiloperatørene er det derfor lagt til grunn om lag en halvering av kapasiteten per MHz:

- SISO: 1,75 Mbps per MHz
- 2x2 MIMO: 3,5 Mbps per MHz
- 4x4 MIMO: 7 Mbps per MHz

De tre kommersielle mobiloperatørene vil til sammen kunne allokere ca. 200 MHz i hver tunnel, basert på bruk av de fire tilgjengelige frekvensbåndene. Mobiloperatørene velger selv hvor stor båndbredde de vil gjøre tilgjengelig. Det er billigere å øke kapasiteten gjennom økt båndbredde fremfor å oppgradere et SISO-anlegg til et MIMO-anlegg. Et tog med 300 passasjerer og et samlet behov på 400 Mbps kan ikke få dekket sitt behov for mobilkapasitet av et SISO-anlegg med 200 MHz tilgjengelig båndbredde ($200 \times 1,75 = 350$ Mbps). I så fall må det installeres et større anlegg (2x2 MIMO), og gjøres tilgjengelig minimum 115 MHz båndbredde ($115 \times 3,5 = 402,5$ Mbps). I praksis må det dimensjoneres slik at det finnes slakk i frekvensressursene til mobiloperatørene. I samråd med de tre mobiloperatørene er det lagt til grunn at bare 90% av de tilgjengelige frekvensene inkluderes i kapasitetsdimensjoneringen. Dersom ikke 90% av frekvensene gir tilstrekkelig kapasitet, estimeres det derved med kostnader for et større repeateranlegg.

Det er uklart om et tog med 2x2 MIMO installert ombord kan nyttiggjøre seg kapasiteten i en 4x4 MIMO-tunnelløsning. Det er sendt henvendelse til Simula for å utrede dette, men det foreligger hittil ikke en konklusjon. Hvis det ikke er teknisk mulig vil nytten av å installere 4x4 MIMO kunne være begrenset inntil det i fremtiden eventuelt foreligger løsninger som ivaretar utnyttelsesmulighet. Argumentet for likevel å installere 4x4 MIMO kan være at signalene i tunnelen er så nær toget at en del mobilterminaler vil kunne utnytte kapasiteten direkte via innstråling gjennom togets vinduer, uten å gå via mobilforsterkeren i toget. Sannsynligheten for dette er antakelig ikke stor på grunn av signaldempningen som vinduenes metallfilm gir. Metallfilmens hensikt er å hindre temperaturøkning inne i tog på grunn av solinnstrålingen.

Oppsummert så bygges mobildekning i tunneler med repeateranlegg. Dette er svært kostnadskrevenne. Anleggene bygges ut i henhold til det dimensjonerende antall passasjerer på strekningen ved å velge SISO eller et MIMO-anlegg. Mobiloperatørene kobler seg til repeateranlegget og allokere selv den mengden båndbredde de mener er nødvendig for å oppnå tilstrekkelig kapasitet til sine abonnenter i anlegget.

³⁶ TETRA er mobilnettet (Nødnett) som nødnettene benytter i dag.

³⁷ Oppgitt av mobiloperatørene.

5.3.4 Frittland

Dekning i frittland bygges ut ved hjelp av basestasjoner, som er koblet til mobiloperatørens kjernenett. Mobilterminalene har mobildekning når de er innenfor dekningsområdet til en basestasjon for sin mobiloperatør.

På basestasjonene har hver mobiloperatør aktivt utstyr i form av radioer og antenner. Antennene monteres på tak, vegger eller på en frittstående mast. Radio innplasseres i et teknisk rom, en hytte eller tilsvarende. Antennefeste/mast og teknisk rom/hytte inngår i infrastrukturen på en basestasjonslokasjon, som flere aktører kan dele. I denne infrastrukturen inngår også fibertilkobling, strømtilkobling, reservestrømanlegg og eventuelt også kjøleanlegg, adgangskontroll etc.

En basestasjonslokasjon har som regel plass til flere mobiloperatører, og hver operatør kan benytte både høye og lave frekvenser alt avhengig av operatørens øvrige kapasitetsbehov og derved nettverksdesign (grid). Lave frekvenser har lengre rekkevidde enn høye frekvenser. Høye frekvenser har høyere kapasitet enn lave. GSM-R benytter lave frekvenser og basestasjonene for GSM-R er lokalisert med en avstand tilpasset dette. Hvis det på disse lokasjonene ble tatt i bruk høye frekvenser, ville den korte rekkevidden til disse frekvensen ført til at det ble et gap i høyfrekvensdekningen midt imellom de to GSM-R basestasjonene. For å få kontinuerlig dekning med høye frekvenser langs hele jernbanenettet må det bygges flere nye basestasjoner, mellom de eksisterende lokasjonene.

Mobilnettet bruker 2x2 MIMO på frittlandsdekning. Den teoretiske kapasiteten målt i Mbps kan dermed beregnes ved å multiplisere tilgjengelig båndbredde med 7,2, jf. kapittel 5.3.3. De kommersielle mobiloperatørene disponerer til sammen ca. 65 MHz (paret³⁸) lave frekvenser og ca. 135 MHz (paret) i 1800/2100 båndene. I tillegg har NKOM lisensiert frekvenstillatelser på til sammen 120 MHz i 2600-båndet og 30 MHz (paret) i 700-båndet, men disse frekvensene forsterkes ikke av mobilforsterkerne som er besluttet installert i togene på grunn av disse mobilforsterkernes fysiske begrensning. På strekninger med et høyt antall dimensjonerende passasjerer på togene er det ikke mulig å oppnå tilstrekkelig kapasitet i mobilnettet ved bare å benytte de lave frekvensene.

Oppsummert så er det normalt de private mobiloperatørene som bygger ut kommersiell frittlandsdekning. De etablerer basestasjoner, der de ofte i form av leieavtaler deler infrastruktur som master, hytter, strøm- og fibertilførsel med hverandre – og andre aktører. Det er ikke mulig å oppnå god mobildekning på strekninger med mange passasjerer bare ved å bruke lave frekvenser. God mobildekning må baseres på en kombinasjon av lave og høye frekvenser, og det må bygges mange nye basestasjoner for å oppnå tilstrekkelig dekning med de høye frekvensene. På de aller mest trafikkerte lokaltogstrekningene rundt Oslo vil ikke mobilnettet klare å levere 5 Mbps per aktiv passasjer i rushtiden, selv ved bruk av alle frekvenser i de fire aktuelle frekvensbåndene. I disse tilfellene bør det vurderes om mobilforsterkerne kan bruke en annen miks av frekvenser slik at kapasiteten i nettet kan økes.

Oppsummert så er det normalt de private mobiloperatørene som bygger ut kommersiell frittlandsdekning. De etablerer basestasjoner, der de ofte i form av leieavtaler deler infrastruktur som master, hytter, strøm- og fibertilførsel med hverandre – og andre aktører. Det er ikke mulig å oppnå god mobildekning på strekninger med mange passasjerer bare ved å bruke lave frekvenser. God mobildekning må baseres på en kombinasjon av lave og høye frekvenser, og det må bygges mange nye basestasjoner for å oppnå tilstrekkelig dekning med de høye frekvensene

5.3.5 Koordinert utbygging

Passasjerene har behov for en stabil og kontinuerlig mobildekning. De forventer å kunne gjennomføre en samtale uten å oppleve brudd på grunn av manglende dekning. Strømming av musikk og lydfiler bør ikke oppleves hakket. Basis for å unngå ustabilitet er kontinuerlig dekning. Det legges derfor til grunn som et absolutt minstekrav til mobildekning. Mobildekningen må være kontinuerlig og uavbrutt mellom to stasjoner for at passasjerene skal oppleve mobildekningen som Middels eller God på denne strekningen.

³⁸ 65 Mhz for nedlasting og 65 MHz for opplasting

På strekninger der toget kjører både i tunnel og i frittland må det følgelig være god mobildekning både i tunnel og frittland. Dette fordrer en koordinert utbygging der både tunneldekning og frittlandsdekning bygges ut samtidig for å oppnå ønsket effekt av tiltak.

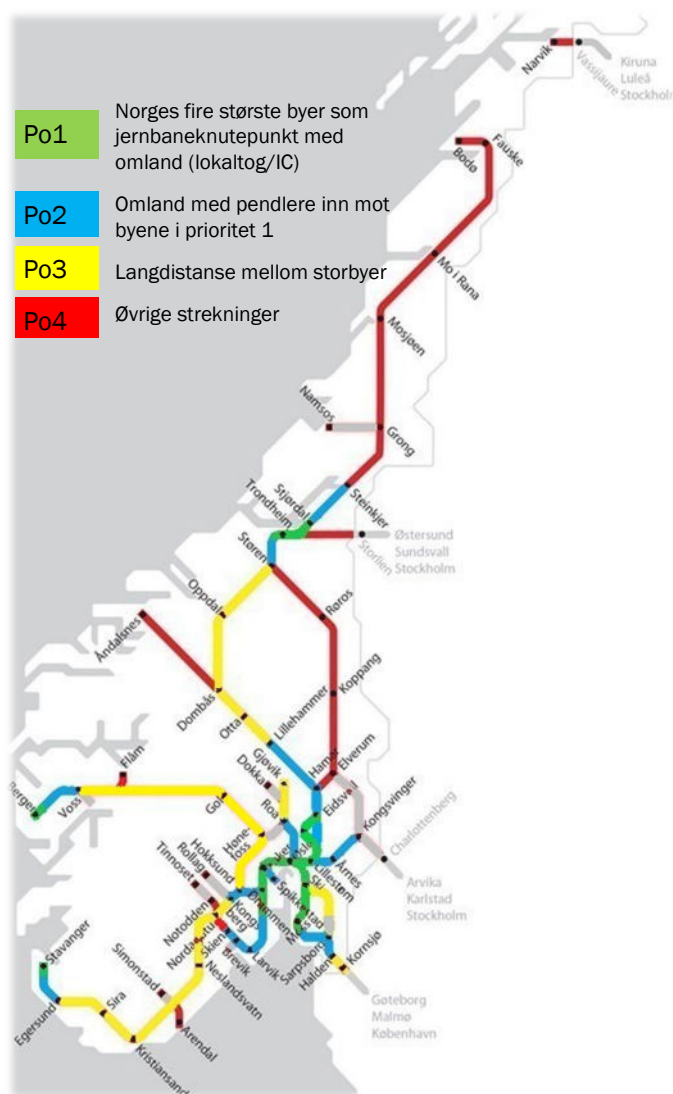
5.4 Innhold i konseptene

Oppdraget for denne utredningen er å anbefale løsning for bedre mobildekning langs jernbanenettet. Et konsept må følgelig definere en helhetlig løsning for mobildekning langs jernbanenettet. Løsningen må beskrive

- Ambisjonsnivå (Dårlig, Medium eller God) som skal legges til grunn for dimensjonering av mobildekningen i tunneler.
- Ambisjonsnivå (Dårlig, Medium eller God) som skal legges til grunn for dimensjonering av mobildekningen i frittland
- Hvilke strekninger og prioritetsområder det skal bygges ut dekning

Det legges til grunn de samme prioritetsområdene, bestående av de samme prioritetsstrekningene som ble introdusert i Plan for bedre nettdekning fra 2018, med ett unntak. Prioritetsstrekningen Kongsberg-Egersund er delt i Kongsberg-Kristiansand og Kristiansand-Egersund. Årsaken er primært for å kunne ta hensyn til at Telia har forpliktet seg til å bygge ut frittlandsdekning på strekningen fra og med Egersund til og med Kristiansand innen ultimo 2025.

Figur 5-4. Plan for bedre nettdekning fra 2018.



5.5 Konsepter

5.5.1 Konsept TECH00 – Referanse

Referansesituasjonen defineres som dagens situasjon og den forventede utviklingen i fravær av nye tiltak. Referansesituasjonen tar inn over seg alle faktorer i transportsystemet, som togtilbudet, tilbudet for alternative transportformer, arealbruk mm.

Det er utviklet et referansetogtilbud som skal ligge til grunn for alle analyser til NTP 2022 – 2033. Det er fra tidligere Styringsgruppen for NTP 2022 – 2033 vedtatt at det er infrastrukturtiltak som har oppstartsbevilgning over statsbudsjettet i 2018 eller 2019 som skal inkluderes i referansealternativet.

Viktige forutsetninger som legges til grunn:

Tabell 5.2. Forutsetninger i referansesituasjonen.

	Forutsetning	Virkning
1	Telia vil ha bygget ut God frittlandsdekning langs de strekningene som ligger i forpliktelsen fra 700 MHz-auksjonen 2019, innen 31.12.2025	Det blir God dekning på IC-strekningene Oslo-Halden, Oslo-Lillehammer, Oslo-Skien, samt Stavanger-Kristiansand og Melhus-Steinkjer. Kun i frittland, ikke tunneler.
2	Mobiloperatørene vil fortsette å bygge ut 4G/5G nettverk i Norge.	Avhenger av endringene som gjøres av den enkelte mobiloperatør. Kan få både positive og negative konsekvenser for togpassasjerer
3	Mobiloperatørene stenger 2G/3G nettene sine og allokere de ledige frekvensene til 4G/5G	Kan gi noen kapasitetsøkninger i områder det allerede er dekning – kun i frittland.
4	Nye tunneler bygges med mobildekning	Enkelte strekninger får bedre mobildekning i tunnelene (gjelder særlig Oslo-Ski, Blix-tunnelen og Bergen-Arna, Ulrikstunnelen)

Summen av disse forutsetningene ventes å gi en økning i dekningen langs jernbanen sammenliknet med dagens situasjon. Det er den forventede situasjonen inkludert virkningene av forutsetningene som utgjør referansekonseptet.

Alle konsepter bygger på referansekonseptet pluss de tiltakene som inngår i hvert enkelt konsept.

5.5.2 Konsept TECH01 – Middels dekning – kun Prioritetsområde 1 og 2

Konseptet innebærer at det bygges ut Middels dekning både i tunneler og frittland. Det bygges imidlertid bare dekning i Prioritetsområdene 1 og 2 – altså i og rundt de store byene.

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO, som allerede er i bruk i noen tunneler i dag, ventes å være tilstrekkelig for middels dekning i de fleste tunneler.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av lave frekvenser. På de mest trafikkerte strekningene kan det være nødvendig å bygge flere basestasjoner for å oppnå tilstrekkelig dekning med høye frekvenser.

Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

5.5.3 Konsept TECH02 – Middels dekning alle strekninger

Konseptet innebærer at det bygges ut Middels dekning både i tunneler og frittland. Det bygges dekning i alle Prioritetsområdene (1, 2, 3 og 4).

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO, som allerede er i bruk i noen tunneler i dag, ventes å være tilstrekkelig for middels dekning i de fleste tunneler.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av lave frekvenser. På de mest trafikkerte strekningene kan det være nødvendig å bygge flere basestasjoner for å oppnå tilstrekkelig dekning med høye frekvenser. Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

På strekningene med lave dimensjonerende passasjertall vil utbyggingen kunne gi God dekning, selv om det bare benyttes lave frekvenser.

5.5.4 Konsept TECH03 – God dekning Prioritetsområde 1 og 2, Middels dekning prioritetsområde 3 og 4

Konseptet innebærer at det bygges ut God dekning både i tunneler og frittland i Prioritetsområde 1 og 2. Det vil si at det blir God dekning i og rundt byene Trondheim, Bergen, Stavanger og Oslo - inkludert ytre InterCity, Oslo-Kongsberg og Oslo-Kongsvinger.

Konseptet innebærer at det bygges ut Middels dekning både i tunneler og frittland i Prioritetsområde 3 og 4. Det vil si at det blir Middels dekning på fjerntogstrekningene og på øvrige strekninger.

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO ventes å være tilstrekkelig i de fleste tunneler i Prioritetsområde 3 og 4. I Prioritetsområde 1 og 2 forventes noen MIMO-baserte løsninger å være påkrevd.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av lave frekvenser i Prioritetsområde 3 og 4.

I Prioritetsområde 1 og 2 vil det være nødvendig å ta i bruk høye frekvenser for å oppnå tilstrekkelig kapasitet i nettet. I Prioritetsområde 1 og 2 har mobiloperatørene allerede relativt bra frittlandsdekning, samt at Telias forpliktelse omfatter store deler av disse strekningene.

Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

På strekningene med lave dimensjonerende passasjertall vil utbyggingen kunne gi God dekning, selv om det bare benyttes lave frekvenser.

5.5.5 Konsept TECH04 – God dekning alle strekninger

Konseptet innebærer at det bygges ut God dekning både i tunneler og frittland. Det bygges dekning i alle Prioritetsområdene (1, 2, 3 og 4).

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO ventes å være tilstrekkelig i mange tunneler, men det ventes også at mange tunneler må bygges ut med en MIMO-basert løsning.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av både lave og høye frekvenser. Det innebærer et behov for mange nye basestasjoner, spesielt i Prioritetsområde 3 og 4.

Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

På strekningene med lave dimensjonerende passasjertall vil utbyggingen kunne gi God dekning, selv om det bare benyttes lave frekvenser.

5.5.6 Konsept TECH05 – God dekning kun i tunneler i Prioritetsområde 1 og 2, Middels dekning i Prioritetsområde 3 og 4.

Konseptet innebærer at det bygges ut God dekning kun i tunneler i Prioritetsområde 1 og 2. Frittlandsdekningen forutsettes bygget ut av mobiloperatørene på eget initiativ.

Konseptet innebærer at det bygges ut Middels dekning både i tunneler og frittland i Prioritetsområde 3 og 4. Det vil si at det blir Middels dekning på fjerntogstrekningene og på øvrige strekninger.

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO ventes å være tilstrekkelig i de fleste tunneler i Prioritetsområde 3 og 4. I Prioritetsområde 1 og 2 forventes noen MIMO-baserte løsninger å være påkrevd.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av lave frekvenser i Prioritetsområde 3 og 4.

I Prioritetsområde 1 og 2 har mobiloperatørene allerede relativt bra frittlandsdekning de fleste steder, samt at Telias forpliktelse omfatter store deler av disse strekningene.

Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

På strekningene med lave dimensjonerende passasjertall vil utbyggingen kunne gi God dekning, selv om det bare benyttes lave frekvenser.

5.5.7 Konsept TECH06 – God dekning i alle tunneler, God dekning i frittland i Prioritetsområde 3 og 4

Konseptet innebærer at det bygges ut God dekning kun i tunneler i Prioritetsområde 1 og 2. Frittlandsdekningen forutsettes bygget ut av mobiloperatørene på eget initiativ.

Konseptet innebærer at det bygges ut God dekning både i tunneler og i frittland i Prioritetsområde 3 og 4. Det vil si at det blir God dekning på fjerntogstrekningene og på øvrige strekninger.

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO ventes å være tilstrekkelig i de fleste tunneler i Prioritetsområde 3 og 4. I Prioritetsområde 1 og 2 forventes noen MIMO-baserte løsninger å være påkrevd.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av både lave og høye frekvenser i Prioritetsområde 3 og 4. Det innebærer et behov for mange nye basestasjoner i disse prioritetsområdene.

I Prioritetsområde 1 og 2 har mobiloperatørene allerede relativt bra frittlandsdekning de fleste steder, samt at Telias forpliktelse omfatter store deler av disse strekningene.

Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

På strekningene med lave dimensjonerende passasjertall vil utbyggingen kunne gi God dekning, selv om det bare benyttes lave frekvenser.

5.5.8 Konsept TECH07 – Middels dekning i alle tunneler, Middels dekning i frittland i Prioritetsområde 3 og 4.

Konseptet innebærer at det bygges ut Middels dekning kun i tunneler i Prioritetsområde 1 og 2. Frittlandsdekningen forutsettes bygget ut av mobiloperatørene på eget initiativ.

Konseptet innebærer at det bygges ut Middels dekning både i tunneler og frittland i Prioritetsområde 3 og 4. Det vil si at det blir Middels dekning på fjerntogstrekningene og på øvrige strekninger.

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO ventes å være tilstrekkelig i de fleste tunneler i Prioritetsområde 3 og 4. I Prioritetsområde 1 og 2 forventes noen MIMO-baserte løsninger å være påkrevd.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av både lave frekvenser i Prioritetsområde 3 og 4.

I Prioritetsområde 1 og 2 har mobiloperatørene allerede relativt bra frittlandsdekning de fleste steder, samt at Telias forpliktelse omfatter store deler av disse strekningene.

Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

På strekningene med lave dimensjonerende passasjertall vil utbyggingen kunne gi God dekning, selv om det bare benyttes lave frekvenser.

5.5.9 Konsept TECH09 – God dekning i Prioritetsområde 1 og 2, Middels dekning i Prioritetsområde 3, og ingen utbygging i Prioritetsområde 4

Konseptet innebærer at det bygges ut God dekning både i tunneler og frittland i Prioritetsområde 1 og 2. Det vil si at det blir God dekning i og rundt byene Trondheim, Bergen, Stavanger og Oslo - inkludert ytre InterCity, Oslo-Kongsberg og Oslo-Kongsvinger.

Konseptet innebærer at det bygges ut Middels dekning både i tunneler og frittland i Prioritetsområde 3, slik at det blir Middels dekning på fjerntogstrekningene.

I Prioritetsområde 4, Øvrige strekninger, gjøres ingen utbygging.

Dimensjonering av løsninger i tunnel (SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO) gjøres i henhold til dimensjonerende passasjertall på alle strekninger. SISO ventes å være tilstrekkelig i de fleste tunneler i Prioritetsområde 3. I Prioritetsområde 1 og 2 forventes noen MIMO-baserte løsninger å være påkrevd.

I frittland baseres utbyggingen primært på bruk av lave frekvenser i Prioritetsområde 3.

I Prioritetsområde 1 og 2 vil det være nødvendig å ta i bruk høye frekvenser for å gi nok kapasitet i nettet. I Prioritetsområde 1 og 2 har mobiloperatørene allerede relativt bra frittlandsdekning de fleste steder, samt at Telias forpliktelse omfatter store deler av disse strekningene.

Mobiloperatørene forutsettes å allokere nødvendig båndbredde.

På strekningene med lave dimensjonerende passasjertall vil utbyggingen kunne gi God dekning, selv om det bare benyttes lave frekvenser.

5.5.10 Konsept TECH10 – Ingen, Middels eller God dekning på nabostasjonsstrekning – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone

En nabostasjonsstrekning er strekningen mellom to stasjoner som ligger rett etter hverandre på strekningen og der begge betjenes av persontog, for eksempel Skøyen-Lysaker. En prioritetsstrekning er en av strekningene som inngår i et prioritetsområde, for eksempel Voss-Hokksund. Ved hjelp av en kompleks modell beregnes kostnad og nytte ved å bygge ulik kapasitet av mobildekning for hver eneste nabostasjonsstrekning i jernbanenettet.

Konseptet benytter samfunnsnytte til å definere selve konseptet.

For hver strekning mellom to nabostasjoner beregnes kostnader, nytte og netto nytte ved å bygge God dekning, Middels dekning eller ikke gjøre noe. Konseptet bygger ut den løsningen som gir best netto nytte på hver enkelt nabostasjonsstrekning.

Konseptet vil gi lik dekning (God, Middels, Dårlig) mellom to nabostasjoner – både i frittland og tunnel. Mobildekningen på hele prioritetsstrekninger (bestående av mange nabostasjonsstrekninger) vil kunne variere hver gang toget kjører inn på neste nabostasjonsstrekning som kan ha en annen kapasitet tilpasset samfunnsnyttens.

Konseptet er med for å vise den maksimale netto nytte per budsjettkrone som er mulig å oppnå.

5.5.11 Konsept TECH11 – Middels eller God dekning på nabostasjonsstrekning – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone

Konseptet benytter beregninger og kostnader og samfunnsnytte til å definere selve konseptet.

For hver strekning mellom to nabostasjoner beregnes kostnader, nytte og netto nytte ved å bygge God dekning, Middels dekning eller ikke gjøre noe. Konseptet bygger ut den løsningen som gir best netto nytte på hver enkelt nabostasjonsstrekning, men det skal minimum bygges Middels dekning.

Konseptet vil gi lik dekning (God, Middels) mellom to nabostasjoner. Mobildekningen på hele prioritetsstrekningen (bestående av mange nabostasjonsstrekninger) vil variere hver gang toget kjører inn på neste nabostasjonsstrekning.

Konseptet er med for å vise den maksimale netto nytte per budsjettkrone som er mulig å oppnå dersom det bygges God eller Middels dekning i alle Prioritetsområder.

5.5.12 Oppsummert konseptalternativ

En oppsummering viser ambisjonen for mobildekning som ligger i hvert enkelt konsept, spesifisert for tunnel og frittland. Merk at resultatet på noen strekninger kan avvike fra ambisjonen. Lave passasjertall kan føre til at kapasiteten per passasjer blir God, selv om man bygger ut en bare en Middels løsning. Motsatt kan det være strekninger med så mange samtidige passasjerer i dekningsområdet, at det er teknisk umulig å oppnå God kapasitet.

Tabell 5.3. Konseptalternativer og ambisjonsnivå for mobildekning

	Prioritetsområde 1		Prioritetsområde 2		Prioritetsområde 3		Prioritetsområde 4	
	Frittland	Tunnel	Frittland	Tunnel	Frittland	Tunnel	Frittland	Tunnel
TECH00	-	-	-	-	-	-	-	-
TECH01	M	M	M	M	-	-	-	-
TECH02	M	M	M	M	M	M	M	M
TECH03	G	G	G	G	M	M	M	M
TECH04	G	G	G	G	G	G	G	G
TECH05	-	G	-	G	M	M	M	M
TECH06	-	G	-	G	G	G	G	G
TECH07	-	M	-	M	M	M	M	M
TECH09	G	G	G	G	M	M	-	-
TECH10	V-	V-	V-	V-	V-	V-	V-	V-
TECH11	V+	V+	V+	V+	V+	V+	V+	V+
Tegnforklaring								
-	Ingen tiltak							
I	Ingen dekning							
M	Middels dekning							
G	God dekning							
V-	Variabel dekning (-/M/G) - basert på samfunnsøkonomisk nytte							
V+	Variabel dekning (M/G) - basert på samfunnsøkonomisk nytte							

Det er noen hull i konseptnummereringen fordi noen konseptforslag underveis ble vurdert til ikke å være fullverdige konsepter, og derfor tatt ut før siling.

5.6 Siling av konsepter

5.6.1 Silingskriterier

I silingen vurderes konseptene ut fra:

- Samsvar med absolutte og mer retningsgivende rammebetingelser
- Antatt grad av måloppnåelse

Konseptvalgutredningen har formulert fire rammebetingelser for søk etter konsept for bedre mobildekning:

1. Konseptene må sørge for bedriftsøkonomisk attraktivitet for minst én av mobiloperatørene langs hver strekning der det anbefales styrket mobildekning
2. Ved utbygging av mobilnettet på en jernbanestrekning skal det minimum bygges middels god dekning (i henhold til TØI definisjon) på hele strekninger mellom to nabostasjoner
3. Konseptene må være i tråd med EUs regelverk for statsstøtte
4. Konseptene bør være fremtidsrettede og kunne utvikles i takt med relevante digitale tjenester

Rammebetingelse 1 og 3 vurderes å være av ikke-teknisk karakter og vil derfor bli behandlet nærmere i hovedrapportens kapittel 9 om føringer for forprosjektet. Der omtales blant annet strategier for hvordan myndighetene kan legge til rette for bedriftsøkonomisk lønnsomhet på strekninger der det er samfunnsøkonomisk lønnsomt med bedre mobildekning. Kapittel 9 omtaler også tilnærminger som sikrer likebehandling av aktører, og etterlevelse av EUs regelverk for statsstøtte.

Rammebetingelse 2 stiller krav til kontinuerlig dekning av Middels kvalitet eller bedre dersom det besluttes å bygge ut mobildekning mellom to nabostasjoner. Rammebetingelsen innebærer at det må bygges ut dekning både i tunneler og frittland dersom det skal bygges dekning. Uten dette utløses ikke nyttevirkninger i henhold til definisjonen.

Rammebetingelse 4 stiller krav om at konseptet som velges skal være fremtidsrettet og fleksibelt for utviklingen i digitale tjenester. En stor del av kostnaden til utbygging vil være knyttet til infrastruktur slik som repeater og tekniske rom i/ved tunneler og basestasjonslokasjoner til frittlandsdekning (teknisk rom/hytte, mast/antennefeste, strøm, fiberkabel, adkomst, mv.). Denne infrastrukturen vil ha verdi også for nye generasjoner av mobilnett som 5G etc. Avstand mellom basestasjonene styres av egenskapene til frekvensene som benyttes, og disse egenskapene endres ikke ved innføring av ny teknologi. Fremtidens etterspurte behov blant mobilbrukerne ventes å stige, men samtidig ventes nye generasjoner mobilteknologi og datateknologiens komprimeringsalgoritmer å kunne kompensere for økningen i brukernes kapasitetsbehov.

Med ovennevnte begrunnelse er det bare rammebetingelse 2 som blir anvendt ved siling av konsept for teknologisk løsning.

I tillegg til eventuell siling av konsept som ikke tilfredsstillt rammebetingelse 2 vurderes det om noen konsept bør siles bort før alternativanalysen fordi de må antas å gi lav oppnåelse av effektmålene. Videre er det vurdert om noen konsept kan siles bort fordi de med stor sannsynlighet er dyrere enn et annet konsept med tilnærmet lik måloppnåelse.

5.6.2 Siling av konsepter

Tabellen nedenfor gjennomgår de foreslåtte konseptene og vurderer hvilke konsepter som bringes videre til neste fase – Konseptanalysen.

Tabell 5.4. Siling av konsepter

Konsept#	Beskrivelse	Vurdering
TECH00	Referanse	Referanse må være med
TECH01	Middels dekning – kun Prioritetsområde 1 og 2	Lav måloppnåelse når det gjelder mer effektiv bruk av reisetid. Bare Middels dekning på P1 og P2 og ingen forbedring

Konsept#	Beskrivelse	Vurdering
		på fjerntogstrekninger (P3) og øvrige strekninger (P4)
TECH02	Middels dekning alle strekninger	Middels kvalitet på mobildekningen i hele jernbanenettet. Gir mulighet for noe mer effektiv bruk av reisetid i alle prioritetsområder.
TECH03	God dekning Prioritetsområde 1 og 2, Middels dekning prioritetsområde 3 og 4	Mulig kombinasjon av TECH02 og TECH04 som eventuelt kan vurderes i forprosjekt.
TECH04	God dekning alle strekninger	God kvalitet på mobildekningen i hele jernbanenettet. Gir mulighet for effektiv bruk av reisetid i alle prioritetsområder
TECH05	God dekning kun i tunneler i Prioritetsområde 1 og 2, Middels dekning i Prioritetsområde 3 og 4	Bryter med rammebetingelse 2 om utbygging både i tunnel og frittland. Konseptet vil gi manglende frittlandsdekning i P1 og P2, blant annet på Oslo-Kongsvinger.
TECH06	God dekning i alle tunneler, God dekning i frittland i Prioritetsområde 3 og 4	Bryter med rammebetingelse 2 om utbygging både i tunnel og frittland. Konseptet vil gi manglende frittlandsdekning i P1 og P2, blant annet på Oslo-Kongsvinger.
TECH07	Middels dekning i alle tunneler, Middels dekning i frittland i Prioritetsområde 3 og 4.	Bryter med rammebetingelse 2 om utbygging både i tunnel og frittland. Konseptet vil gi manglende frittlandsdekning i P1 og P2, blant annet på Oslo-Kongsvinger.
TECH09	God dekning i Prioritetsområde 1 og 2, Middels dekning i Prioritetsområde 3, og ingen utbygging i Prioritetsområde 4	Konseptet søker å tilpasse kostnader til forventet nytte. Siles bort fordi TECH10 vil anbefale ambisjon bedre tilpasset passasjergrunnlag og dermed mer kostnadseffektiv måloppnåelse.
TECH10	Ingen, Middels eller God dekning på strekning mellom to nabostasjoner – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone	Kan gi veldig varierende mulighet for mer effektiv bruk av reisetid. Bringes videre for å se virkningene av prioritering basert utelukkende på samfunnsøkonomisk netto nytte per budsjettkrone
TECH11	Middels eller God dekning på strekning mellom to nabostasjoner – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone	Vil gi mulighet for mer effektiv bruk av reisetid.

To av konseptene, TECH02 og TECH04 vil særlig bidra til å belyse virkningene av ulikt ambisjonsnivå (Middels/God) for kapasiteten som bygges ut. De to konseptene representerer også de to strategiene som ble vurdert i Plan for bedre nettdækning, henholdsvis Dekningsstrategi og Kapasitetsstrategien.

Konseptene TECH10 og TECH11 belyser i større grad hvilke strekninger det er tilrådelig å bruke samfunnets ressurser på å bygge ut mobildekning. En modell utviklet for prosjektet (se kapittel 6.2) beregner spesifikk nytte og kostnad på hver enkelt strekning for optimalt tilpasset utbygging. Med utgangspunkt i passasjervolumer og nytte som balanseres mot utbyggingskostnader, avdekkes det om det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å bygge dekning på hver strekning mellom nabostasjoner. Konseptene hensyntar ikke behovet for konsistent og kontinuerlig³⁹ mobildekning på prioritetsstrekninger.

5.7 Oppsummering av mulighetsrom

Mulighetsstudien har gjennomført en kreativ prosess som genererte idéer til tiltak som kunne bidra til å nå målene for prosjektet. Noen av idéene ble avvist. Noen idéer ble tatt med videre til drøfting om føringer for forprosjektfasen. Mange idéer ble bruk som innspill til konsepter.

Med utgangspunkt i Plan for bedre nettdekning, innspillene fra kreativ fase, møter med Bane NOR, togoperatørene, informasjon fra Norske tog, mobiloperatørene og informasjonsinnhenting fra eksterne kilder identifiserte utredningen et teknisk mulighetsrom for å møte det prosjektutløsende behovet og nå målene for prosjektet. Det tekniske mulighetsrommet legger blant annet til grunn at det installeres firebånds mobilforsterkere i alle tog.

Den tekniske løsningen dimensjoneres i henhold til antall passasjerer per tog i rushtid og helgeutfart. 5 Mbps per samtidig, aktiv mobilterminal legges til grunn for God kapasitet i mobilnettet, 1,25 Mbps legges til grunn for Middels kapasitet.

Det skilles mellom tekniske løsninger for tunnel og frittland. For at utbygging skal gi nytte for samfunnet må det bygges kontinuerlig dekning over en hel strekning, både i tunnel og frittland.

I tunnel kan kapasiteten dimensjoneres for riktig passasjerantall ved å montere enten en SISO, 2x2 MIMO eller 4x4 MIMO løsning, samt allokere det nødvendige antall frekvenser for å sikre tilstrekkelig kapasitet. Kostnad og kapasitet ved 4x4 MIMO er om lag det dobbelte av 2x2 MIMO, som igjen er om lag det dobbelte av SISO.

Frittlandsdekning oppnås gjennom strategisk plasserte basestasjoner og anvendelse av lave og/eller høye frekvenser. Der det er nødvendig med bruk av høye frekvenser for å sikre tilstrekkelig kapasitet, må det også påregnes utbygging av flere basestasjoner enn det som gir dekning langs jernbanen i referansesituasjonen.

I tillegg til referansekonseptet er 10 ulike konsepter vurdert. Konseptene skiller seg fra hverandre ved at de har ulikt ambisjonsnivå når det gjelder dekning og kapasitet (Middels eller god), ulike anbefalinger for ulike Prioritetsområdene 1, 2, 3 og 4, og ulike anbefalinger for tunneler og frittlandsdekning. I tillegg er det en gruppe av konsepter der optimalt ambisjonsnivå for hver strekning beregnes basert på kost-/nytte, som brukes til å belyse hvilke strekninger det finnes forutsetninger for samfunnsøkonomisk lønnsom utbygging.

Konseptene har blitt vurdert ut fra om de innfrir rammebetingelsene og forventet måloppnåelse. Silingen har lagt vekt på om konseptene oppfyller rammebetingelsen som sier at der det bygges, skal det bygges helhetlig og minst middels dekning på en hel nabostasjonsstrekning. Videre er det vurdert i hvilken grad konseptene fører til oppnåelse av målet om mer effektiv utnyttelse av reisetid.

Fire konsepter er anbefalt videre for konseptanalyse, i tillegg til referansekonseptet:

³⁹ TECH10 vil kunne føre til at mobildekningen på nabostasjonsstrekninger der det ikke er samfunnsnyttig forblir Dårlig.

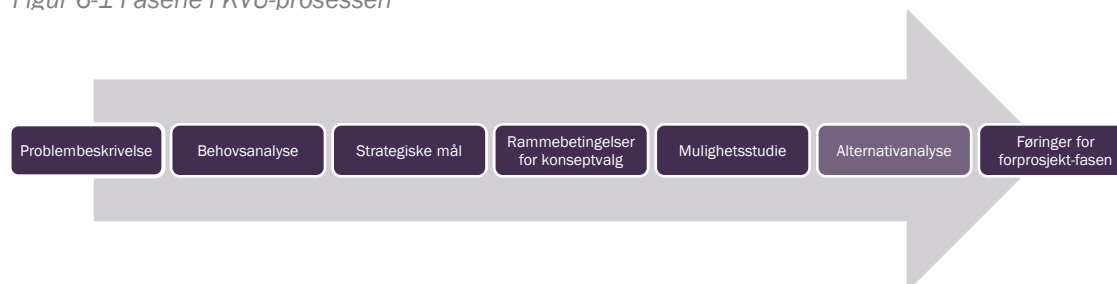
Figur 5-5. Konsepter til konseptanalysen

Konsept	Konseptbeskrivelse
TECH00	Referansealternativ
TECH02	Middels dekning alle strekninger
TECH04	God dekning alle strekninger
TECH10	Ingen/Dårlig, Middels eller God dekning per nabostasjonsstrekning – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone
TECH11	Middels eller God dekning per nabostasjonsstrekning – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone

6 Alternativanalyse

Mulighetsstudien har gjort en grov siling av de konseptene som oppfyller rammebetingelsene og med potensiale for god måloppnåelse. I alternativanalysen analyseres konseptene mer inngående, og munne ut i en anbefaling for utredningen.

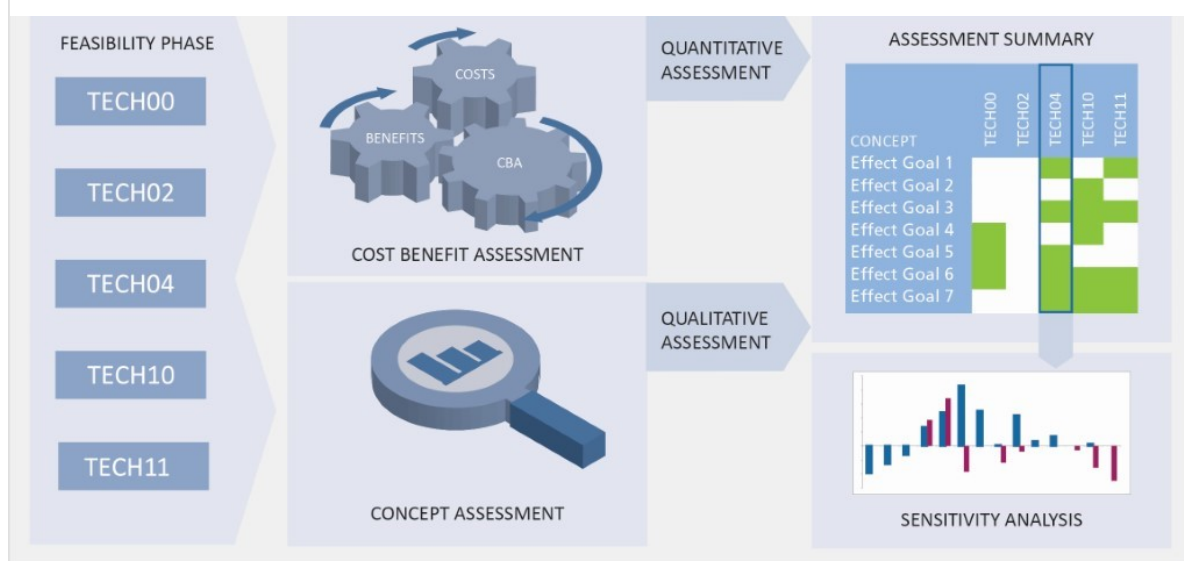
Figur 6-1 Fasene i KVV-prosessen



6.1 Metode

Alternativanalysen skal rangere de konseptene som gjenstår etter silingen i mulighetsstudien. Videre skal det gis en anbefaling om en eller flere av konseptene bør gjennomføres. Konseptene fra mulighetsstudien bør detaljeres så langt det er nødvendig, slik at analysen kan ta stilling til i hvilken grad de oppnår fastsatte mål og rammebetingelser, og slik at det kan gjennomføres en samfunnsøkonomisk analyse med både prissatte og ikke-prissatte virkninger.

Figur 6-2. Alternativanalyse med Prissatte og ikke-prissatte virkninger.



Alternativanalysen baseres både på kvantitative og kvalitative analyser. Effektmålet om bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt analyseres kvantitativt. Effektmålet om økt andel togreiser analyseres kvalitativt. Videre inngår netto nytte per budsjettkrone i den kvantitative analysen. Konseptenes egnethet for ulike forretningsmodeller og kontraktstrategier analyseres kvalitativt. Det gjøres en samlet vurdering av kvantitative og kvalitative resultater. Deretter gjennomføres en sensitivitetsanalyse på parametere, variabler og forutsetninger i modellen, oppsummert i kapittel 6.6. De kvantitative kostnadsanslagene benyttes i en usikkerhetsanalyse som er oppsummert i kapittel 6.7. Mer utdypende informasjon om alternativanalysen finnes i denne konseptvalgutredningens delrapport 5 (Delrapport 5 - Concept Analysis & Sensitivity analysis, 2020).

6.2 Modell

Det foreligger ingen offentlig tilgjengelige og dokumenterte modeller som er egnet for analyse av mobildekning langs jernbanen. Utredningen har derfor utviklet en egen modell til alternativanalysen. Modellen er utviklet av BWCS Ltd, og dokumentert i et eget dokument (Cost Benefit Model Description, 2020).

Hensikten med å utvikle modellen har vært

- Utvikle en robust modell som kunne anvendes i analysen av ulike tekniske konsepter
- Bruke passasjertall til å beregne behovet for mobilkapasitet på enhver strekning i nettet.
- Bruke dekningsmålinger til å identifisere strekninger der mobildekningen bør styrkes
- Beregne investerings og driftskostnader for ulike tekniske konsepter
- Inkludere samfunnsøkonomisk nytte av å bedre mobildekningen
- Kunne gjennomføre kost-/nyttevurderinger ned på strekningsnivå, for aggregering til prioritetsstrekkningsnivå
- Kunne gjennomføre sensitivitetsanalyser på viktige variabler og parametere

Modellen har hentet input fra en lang rekke kilder slik som

- Jernbanenettet med stasjoner, tunneler og strekninger i åpent lende fra Bane NOR
- Passasjertall per strekning per år fra Vy
- Høyeste forventede passasjertall per tog per strekning fra Jernbanedirektoratet og Vy
- Dekningsmålinger utført av Bane NOR sin målevogn
- Kostnader ved å bygge mobildekning i tunnel fra Bane NOR
- Kostnader ved å bygge mobildekning i frittland fra mobiloperatørene
- Beregnet nytte av forbedret mobildekning fra Jernbanedirektoratet og Multiconsult.

Modellen anvender strekningen mellom to nabostasjoner betjent av persontog som byggekloss. Alle kostnader og nyttevirksomheter beregnes per nabostasjonsstrekning.

- Behovet for mobildekning på en strekning baseres på det maksimale antallet passasjerer som ventes å være på et tog som passerer strekningen, samt hvilket ambisjonsnivå (Dårlig, Middels, God) som skal bygges ut.
- Mobildekningen i referansealternativet baseres på målinger utført av Bane NORs målevogn.
- Gapet mellom behov og dekning identifiserer behovet for investeringer i kapasitet i tunnel og frittland.
- Kostnadene til investering og drift beregnes basert på enhetskostnader fra Bane NOR (tunneler) og mobiloperatørene (frittland).
- Nyttens beregnes ved å summere tidskostnaden til alle reisende som bruker strekningen med ulike togprodukter. Tidskostnaden blir multiplisert med en faktor beregnet av TØI. Faktoren representerer betalingsviljen målt i reisetid de reisende har for å få bedre mobildekning på reisen.. Forenklet kan man si at betalingsviljen målt i reisetid representerer en opplevelse av spart reisetid som følge av at de reisende kan utnytte reisetiden mer effektivt.

Med utgangspunkt i dette kan modellen beregne kost-/nytte av å øke kvaliteten i mobildekningen per nabostasjonsstrekningen. Disse verdiene kan aggregeres til prioritetsstrekninger, prioritetsgrupper og samlede tall for hele jernbanenettet.

Kost-/Nytte beregnes på en noe forenklet måte sammenliknet med SAGA. Formålet med modellen er å sammenlikne konseptene innbyrdes, og avvik fra SAGA er derfor ikke et problem. Det benyttes en analyseperiode på 10 år og nåverdiberegninger basert på 4% diskonteringsrente. Den korte analyseperioden er valgt fordi mye av materiellet har en levetid på 5-15 år. Deler av investeringene slik som infrastruktur på basestasjoner, strøm og fiber vil har en betydelig lengre levetid. Dette er ikke tatt hensyn til modellen, slik at den reelle nytten vil være høyere enn hva som er beregnet i modellen. Beregningene er likevel tilstrekkelige for å kunne sammenlikne alternativene. I den samfunnsøkonomiske analysen (Delrapport 7 - Samfunnsøkonomisk analyse, 2020) benyttes SAGA som forutsatt for å beregne samfunnsøkonomiske virkninger, se omtale i kapittel 7. Her drøftes også restverdi knyttet til utbyggingen

6.3 Evalueringskriterier

Konseptene blir vurdert på to kvantitative og to kvalitative kriterier. De kvantitative kriteriene er

- Effektmålet om mulighet til å utnytte digitale tjenester
- Netto nytte per budsjettkrone.

TØI har lagt frem faktorer til bruk i av verdsetting av bedre mobildekning langs jernbanen. Faktoren er i praksis en reduksjon i den opplevde reisetiden. Dette er begrunnet i at den reisende vil oppleve reisetidsulempen ved en reise som større dersom det er dårlig mobildekningen på strekningen enn hvis det er god dekning. Bedre mobildekningen gir den reisende en opplevd spart reisetid, selv om den faktiske reisetiden er den samme. Ved hjelp av faktoren og detaljerte passasjertall er det beregnet nytte per år for alle reisende med persontog. Denne nytten brukes som kvantifisert mål på hvorvidt de reisende får økt mulighet til å utnytte digitale tjenester på reisen (mer effektiv bruk av reisetid).

Kostnadene som benyttes i vurderingen er basisestimat av investeringskostnad fra KVVU-modellen, justert til forventet kostnad (P50) per konsept fra usikkerhetsanalysen, jf Tabell 6.18, pluss neddiskonterte⁴⁰ driftskostnader for 10 års drift og vedlikehold.

Tabell 6.1. Kostnader for alternativanalysen (kostnader i mill. norske kr.)

	TECH_02 Middels	TECH_04 God	TECH_10 Netto nytte Ingen-Middels- God	TECH_11 Netto nytte Middels-God
Investeringskostnader	1 791	3 078	1 669	2 203
Forventet tillegg	-72 (-4%)	215 (7%)	-83 (-5%)	22 (1%)
Forventet investeringskostnad (P50)	1 719	3 293	1 586	2 225
Driftskostnader 10 år	425	672	388	519
Total prosjektkostnad (P50)	2 145	3 965	1 974	2 744
Andel tunnelkostnad	65%	68%	63%	61%

Ved hjelp av kostnader til investering og drift for den styrkede mobillkapasiteten kan det beregnes en netto nytte per budsjettkrone for hvert konsept.

Målet om økt andel togreiser er analysert kvalitativt basert på reisetidselastisiteter. I en rapport fra 2016 (Oslo Economics, 2016) beregnes elastisiteten for ombordtid for togreiser å ligge mellom -0,26 og -0,69. Det vil si at når ombordtiden (reisetiden med tog) øker, så faller etterspørselen fra passasjerene. Tilsvarende, dersom reisetiden går ned, ventes etterspørselen etter togreiser å stige. Spennet i elastisitetsfaktorene indikerer at det er variasjon og usikkerhet i hvor sterk etterspørselsveksten vil bli, men det er påvist en positiv sammenheng. Det er ikke sikkert sammenhengen er like sterk når det er snakk om opplevd reisetidsreduksjon. Derfor ønsker ikke utredningen å gjøre kvantitative beregninger. Det legges imidlertid til grunn at en reduksjon i opplevd reisetid vil gi økt etterspørsel etter togreiser. Videre at veksten i etterspørselen er sterkere dess større reduksjon i opplevd reisetid.

⁴⁰ Det er bruk en diskonteringsfaktor på 4%

Samferdselsdepartementet ber om at konseptenes fleksibilitet for ulike forretningsmodeller, finansieringsmodeller og kontraktstrategier vurderes. Disse temaene drøftes nærmere i kapittel 9. Alternativanalysen begrenser seg til å vurdere fleksibiliteten til konseptene.

6.4 Analyse av konseptene

De fem konseptene som inngår i alternativanalysen er TECH00 (Referanse), TECH02, TECH04, TECH10 og TECH11.

Tabell 6.2. Konsepter i alternativanalysen

Konsept#	Beskrivelse
TECH00	Referanse
TECH02	Middels dekning alle strekninger
TECH04	God dekning alle strekninger
TECH10	Ingen/Dårlig, Middels eller God dekning på strekning mellom to nabostasjoner – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone
TECH11	Middels eller God dekning på strekning mellom to nabostasjoner – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone

Konseptene beskrives mer i detalj og vurderes i henhold til evalueringskriteriene i de påfølgende delkapitler.

6.4.1 TECH00 – Referanse

TECH00 er referansealternativet for analysen, og representerer den fremtidige situasjonen dersom det ikke besluttes å investere i bedre mobildekning langs jernbanen. Referansealternativet bygger på dagens situasjon, men inkluderer også kjente fremtidsplaner frem til 2025 og i analyseperioden. Noen av viktigste endringene som legges til grunn er:

1. Telia har oppfylt sine dekningsforpliktelser innen 31.12.2025, slik at det er God frittlandsdekning på InterCity-strekningene Oslo-Skien, Oslo-Halden og Oslo-Lillehammer, samt Kristiansand-Stavanger, Melhus-Steinkjer og Flåmsbana.
2. Mobiloperatørene vil fortsette å forbedre sine 4G nett. Implikasjonen for jernbanen er ikke usikker.
3. Mobiloperatørene vil prioritere mer frekvensressurser til 4G, ettersom de stenger ned 2G og 3G. Dette vil kunne gi bedre kapasitet langs jernbanen der det allerede er dekning.
4. Nye tunneler antas å bli bygget med repeateranlegg tilpasset passasjervolumene.

Basert på målinger av dagens situasjon og forventede virkninger fra forutsetningen over, antas følgende status for mobilnettet langs jernbanen.

Tabell 6.3. Mobilkapasitet langs jernbanenettet. Dagens situasjon og 2025.

Mobilkapasitet	Andel av jernbanenettet		Endring
	målt 2018/2019	Beregnet 2025	
Dårlig	43%	27%	-16%
Middels	42%	30%	-12%
God	15%	43%	28%

Beregningene er gjort med følgende forutsetninger, i tillegg til de fire antakelsene over.

1. Norske Tog installerer firebånds mobilforsterkere i alle tog som dekker frekvensbåndene 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz og 2100 MHz.
2. Kun frekvenser 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz og 2100 MHz benyttes, i tråd med funksjonaliteten til mobilforsterkerne i togene
3. God dekning defineres som en kontinuerlig mobilkapasitet på ≥ 5 Mbps per samtidig, aktiv terminal, uten gap i dekning på 200⁴¹ meter eller mer mellom to nabostasjoner.
4. Middels dekning defineres som en kontinuerlig mobilkapasitet på $\geq 1,25$ Mbps per samtidig, aktiv terminal, uten gap i dekning på 200 meter eller mer mellom to nabostasjoner.
5. Dårlig dekning defineres som en mobilkapasitet på $< 1,25$ Mbps per samtidig, aktiv terminal på hele eller deler av strekningen mellom to nabostasjoner. Brudd i dekning på over 200 meter fører også til at hele den aktuelle strekningen mellom to nabostasjoner defineres som Dårlig, uavhengig av dekning for øvrig.

Vurdering

Med utgangspunkt i konseptbeskrivelsen og de nevnte forutsetninger gjøres følgende vurdering av konsept TECH00.

Tabell 6.4. Vurdering av konsept TECH00

Vurderingskriterie	Vurdering	TECH00
Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt	Til tross for at Telia bygger ut God dekning langs en del strekninger gir ikke konseptet tilstrekkelig god nok mulighet til å utnytte digitale tjenester på togreiser. Det vil være strekninger der det ikke finnes dekning, i særdeleshet i tunneler. Frittlandsdekningen vil avhenge av at mobiloperatørene vil gjøre ulønnsomme investeringer, noe de allerede har signalisert at ikke er aktuelt. Det oppstår ingen nytte knyttet til opplevd spart reisetid utover de tiltakene som ligger til grunn for referanse.	0
Samlet investeringskostnad for prosjektet (MNOK)	Det offentlige gjør ingen ytterligere investeringer i mobildekning langs jernbanen, utover forutsetningen for referansealternativet.	0
Nytte/kost-faktor⁴²	Det er ingen nytte eller kostnader i konseptet.	0
Økt andel togreiser	Konseptet bidrar ikke til å redusere opplevd reisetid eller andre forbedringer som kan stimulere til økt andel togreiser, utover de tiltakene som ligger til grunn for referansealternativet.	0
Fleksibilitet for ulike forretningsmodeller,	Ettersom det ikke gjennomføres noen investering er det ikke relevant å vurdere dette kriteriet.	0

⁴¹ I kapittel 5 Mulighetsrom brukes 150 meter som nedre grense for hvilke tunneler som skal bygges ut med forsterkeranlegg. Data fra Bane NORs målevogn måler hver 100. meter. Modellen legger til grunn at to eller flere påfølgende målepunkter med for dårlig dekning representerer et dekningshull. Av praktiske hensyn defineres derfor et dekningsgap som 200 meter (2 målepunkter).

⁴² Nytte/kost-faktor beregnes som netto nytte dividert på samlet kostnad for prosjektet. Netto nytte beregnes ved å ta brutto nytte minus kostnad for prosjektet.

finansieringsmodeller og kontraktstrategier		
---	--	--

6.4.2 TECH02 – Middels dekning alle strekninger

Konseptet TECH02 innebærer utbygging av mobildekning og -kapasitet med ambisjon om minimum Middels dekning på alle persontogstrekninger. Konseptet tar utgangspunkt i referansesituasjonen i TECH00 og søker å oppgradere dekningen til Middels, der den er Dårlig. Utbyggingen omfatter både tunneler og frittland.

Middels dekning defineres som minimum 1,25 Mbps tilgjengelig kapasitet per aktiv terminal på hele strekningen, uten brudd i dekningen som overstiger 200 meter. Dette legges til grunn i modellen som beregner investerings- og driftskostnader. Utbyggingen gjøres på alle strekninger, uavhengig av eventuell samfunnsnytte. Tabell 6-5 viser ambisjon for tjenestekvalitet som kan forventes med Middels dekning.

Tabell 6.5. Kvalitet på digitale tjenester. TECH02

Bruk av dekning	Dårlig	Middels	God
Samtale	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Nettsurfing	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Filnedlasting	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning, men nedlasting av store filer går sakte	Uavbrutt dekning
Strømming av lyd	Periodevis dekning	Noe buffring	Uavbrutt dekning
Strømming av video	Periodevis dekning	Hyppig buffring	Uavbrutt dekning
Gaming	Periodevis dekning	Hyppig buffring	Uavbrutt dekning

De beregnede kostnadene er knyttet til å heve kvaliteten på mobildekningen fra Dårlig til Middels på alle nabostasjonsstrekninger der dette er nødvendig. Den totale prosjektkostnaden (P50) inkluderer forventet tillegg fra Usikkerhetsanalysen (Delrapport 6 - Usikkerhetsanalyse, 2020) for TECH02 og er på 2,1 mrd NOK.

Der kvaliteten på mobildekningen allerede er Middels eller God beregnes ingen kostnader. På noen strekninger med begrenset passasjervolum vil utbyggingen kunne løfte mobildekningen direkte fra Dårlig til God.

Nytte er beregnet per nabostasjonsstrekning med utgangspunkt i den kvalitetsøkningen som oppnås, enten fra Dårlig til Middels eller fra Dårlig til God. Konseptet gir en samlet nytte for de reisende på 9,0 mrd NOK.

Tabell 6.6. Vurdering av konsept. TECH02

Vurderingskriterie	Vurdering	TECH02
Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt	Konseptet gir noe bedre mulighet enn i referanse for bruk av digitale tjenester, herunder arbeide litt mer effektivt på tog	9,0 mrd NOK
Samlet kostnad for prosjektet	Prosjektkostnaden er den nest laveste av utbyggingskonseptene.	2,1 mrd NOK
Nytte/kost-faktor	Konseptet gir positiv netto nytte. Nytte/kost-faktoren er imidlertid den nest laveste av utbyggingskonseptene.	3,2
Økt andel togreiser	Konseptet vil i noen grad stimulere til økt andel togreiser	+
Fleksibilitet for ulike forretningsmodeller, finansieringsmodeller og kontraktstrategier	Ettersom alle kostnader og nytte er beregnet per nabostasjonstrekning er konseptet fleksibelt for ulike sammenstillinger. Konseptet bygger på samme teknologi som de andre konseptene.	+++

6.4.3 TECH04 – God dekning alle strekninger

Konseptet TECH04 innebærer utbygging av mobildekning og -kapasitet med ambisjon om minimum God dekning på alle persontogstrekninger. Konseptet tar utgangspunkt i referansesituasjonen i TECH00 og søker å oppgradere dekningen til God, der den er Dårlig eller Middels. Utbyggingen omfatter både tunneler og frittland.

God dekning defineres som minimum 5 Mbps tilgjengelig kapasitet per aktiv terminal på hele strekningen, uten brudd i dekningen som overstiger 200 meter. Dette legges til grunn i modellen som beregner investerings- og driftskostnader. Utbyggingen gjøres på alle strekninger, uavhengig av eventuell samfunnsnytte. Tabell 6-7 viser ambisjon for tjenestekvalitet som kan forventes med God dekning.

Tabell 6.7. Kvalitet på digitale tjenester. TECH04

Bruk av dekning	Dårlig	Middels	God
Samtale	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Nettsurfing	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Filnedlasting	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning, men nedlasting av store filer går sakte	Uavbrutt dekning
Strømming av lyd	Periodevis dekning	Noe buffring	Uavbrutt dekning
Strømming av video	Periodevis dekning	Hypig buffring	Uavbrutt dekning
Gaming	Periodevis dekning	Hypig buffring	Uavbrutt dekning

De beregnede kostnadene er knyttet til å heve kvaliteten på mobildekningen fra Dårlig eller Middels til God på alle nabostasjonsstrekninger der dette er nødvendig. Den totale prosjektkostnaden (P50) inkluderer forventet tillegg fra Usikkerhetsanalysen (Metier OEC, 2020) for TECH04 og er på 4,0 mrd NOK.

Der kvaliteten på mobildekningen allerede er God beregnes ingen kostnader. På noen strekninger med høyt passasjervolum (over ca 700) vil tekniske begrensninger føre til at mobildekningen ikke når helt opp til terskelen på 5 Mbps for de fulleste togene. Kapasiteten klassifiseres derfor som Middels, men blir betydelig bedre enn TECH02

Nytte er beregnet per nabostasjonsstrekning med utgangspunkt i den kvalitetsøkningen som oppnås, enten fra Dårlig til God eller fra Middels til God. Konseptet gir en samlet nytte for de reisende på 14,5 mrd NOK.

Tabell 6.8. Vurdering av konsept. TECH04

Vurderingskriterie	Vurdering	TECH04
Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt	Konseptet gir best mulighet for bruk av digitale tjenester med uavbrutt dekning langs hele jernbanenettet.	14,5 mrd NOK
Samlet kostnad for prosjektet	Prosjektkostnaden er den høyeste av utbyggingskonseptene.	4,0 mrd NOK
Nytte/kost-faktor	Konseptet gir positiv netto nytte. Nytte/kost-faktoren er den nest laveste av utbyggingskonseptene.	2,6
Økt andel togreiser	Konseptet vil stimulere til økt andel togreiser. De reisende vil kunne planlegge med god tilgang til digitale tjenester uansett hvor de reiser med toget.	++++
Fleksibilitet for ulike forretningsmodeller, finansieringsmodeller og kontraktstrategier	Ettersom alle kostnader og nytte er beregnet per nabostasjonsstrekning er konseptet fleksibelt for ulike sammenstillinger. Konseptet bygger på samme teknologi som de andre konseptene.	+++

6.4.4 TECH10 – Ingen, Middels eller God dekning på strekning mellom to nabostasjoner – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone

Konseptet TECH10 bygger mobildekning og -kapasitet i henhold til hva som gir best netto nytte. For hver nabostasjonsstrekning sammenlikner modellen resultatene fra TECH00, TECH02 og TECH04 og velger den beste basert på nytte/kost-faktor.. Der Middels eller God dekning gir positiv netto nytte velger konseptet den ambisjonen som gir høyest nytte/kost-faktor. Der netto nytte blir negativ velger konseptet å la mobildekningen forbli som i referanse, selv om den skulle være Dårlig.

Resultatet er en utbygging som kan bli fragmentert, ettersom det på en prioritetsstrekning, for eksempel Voss-Hokksund, vil bli noen strekninger med God dekning, noen med Middels og noen uten dekning. Om lag 2/3 av de 328 nabostasjonsstrekningene får God dekning. i TECH10, mens 27 strekninger (nær 10%) fortsatt får Dårlig dekning. Konseptet er mer utsatt for endringer i metode for nytteberegninger. Dersom verdsettelsesmetode for nytte gjøres mer konservativ vil TECH10 endres slik at flere nabostasjonsstrekninger får Dårlig eller Middels dekning.

Tabell 6.9. Kvalitet på digitale tjenester. TECH10

Bruk av dekning	Dårlig	Middels	God
Samtale	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Nettsurfing	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Filnedlasting	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning, men nedlasting av store filer går sakte	Uavbrutt dekning
Strømming av lyd	Periodevis dekning	Noe buffring	Uavbrutt dekning
Strømming av video	Periodevis dekning	Hypig buffring	Uavbrutt dekning
Gaming	Periodevis dekning	Hypig buffring	Uavbrutt dekning

De beregnede kostnadene er knyttet til å heve kvaliteten på mobildekningen fra Dårlig eller Middels til Middels eller God på alle nabostasjonsstrekninger der dette gir netto nytte. Der kvaliteten på mobildekningen allerede er God beregnes ingen kostnader. Totalprosjektkostnaden (P50) inkluderer forventet tillegg fra Usikkerhetsanalysen (Metier OEC, 2020) for TECH10 og er på 1,7 mrd NOK.

Nytte er beregnet per nabostasjonsstrekning med utgangspunkt i den kvalitetsøkningen som oppnås, enten fra Dårlig eller Middels til Middels eller God. Konseptet gir en samlet nytte for de reisende på 12,2 mrd NOK.

Tabell 6.10. Vurdering av konsept. TECH10

Vurderingskriterie	Vurdering	TECH10
Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt	Konseptet gir mulighet for bruk av digitale tjenester de fleste strekninger, jf. Tabell 6-12. Noen steder vil det ikke være dekning, eller dekningen vil variere.	12,2 mrd NOK
Samlet kostnad for prosjektet	Prosjektkostnaden er den laveste av utbyggingskonseptene.	1,7 mrd NOK
Nytte/kost-faktor	Konseptet gir positiv netto nytte. Nytte/kost-faktoren er den høyeste av utbyggingskonseptene.	5,2
Økt andel togreiser	Konseptet vil stimulere til noe økt andel togreiser. 2/3 av strekningene vil det være God dekning. De reisende vil oppleve av mobildekningen varierer mye underveis på reisen og de vil kanskje ha behov for å sjekke dekning før de reiser med toget siden noen strekninger vil ha Dårlig dekning.	++
Fleksibilitet for ulike forretningsmodeller, finansieringsmodeller og kontraktstrategier	Ettersom alle kostnader og nytte er beregnet per nabostasjonsstrekning er konseptet fleksibelt for ulike sammenstillinger. Konseptet bygger på samme teknologi som de andre konseptene.	+++

6.4.5 TECH11 – Middels eller God dekning på strekning mellom to nabostasjoner – avhengig av beste netto nytte per budsjettkrone

Konseptet TECH11 bygger mobildekning og -kapasitet i henhold basert på Nytte/kost-faktoren. For hver nabostasjonsstrekning velger konseptet God eller Middels basert på hva som gir best netto nytte, uavhengig av om netto nytte er positiv. For hver nabostasjonsstrekning sammenlikner modellen resultatene fra TECH02 og TECH04 og velger den beste basert på NNB. De samme kriterier for God, Middels og Dårlig legges til grunn.

Resultatet er en utbygging som gir mobildekning langs hele jernbanenettet, men der kapasiteten kan variere mellom Middels og God. Om lag 70% av nabostasjonsstrekningene får God dekning. Ingen strekninger får Dårlig dekning. Konseptet er mer utsatt for endringer i metode for nytteberegninger. Dersom verdsettelsesmetode for nytte gjøres mer konservativ vil TECH11 endres slik at flere nabostasjonsstrekninger får Middels dekning.

Tabell 6.11. Kvalitet på digitale tjenester. TECH11

Bruk av dekning	Dårlig	Middels	God
Samtale	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Nettsurfing	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Filnedlasting	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning, men nedlasting av store filer går sakte	Uavbrutt dekning
Strømming av lyd	Periodevis dekning	Noe buffring	Uavbrutt dekning
Strømming av video	Periodevis dekning	Hyppig buffring	Uavbrutt dekning
Gaming	Periodevis dekning	Hyppig buffring	Uavbrutt dekning

De beregnede kostnadene er knyttet til å heve kvaliteten på mobildekningen fra Dårlig eller Middels til Middels eller God. Der kvaliteten på mobildekningen allerede er God beregnes ingen kostnader. Der det ikke gir netto nytte å øke kapasiteten fra Middels til God anbefales ingen investering. Totalprosjektkostnadene inkluderer forventet tillegg fra Usikkerhetsanalysen (Metier OEC, 2020) for TECH11 og er på 2,7 mrd. NOK.

Nytte er beregnet per nabostasjonsstrekning med utgangspunkt i den kvalitetsøkningen som oppnås, enten fra Dårlig eller Middels til Middels eller God. Konseptet gir en samlet nytte for de reisende på 12,5 mrd. NOK.

Tabell 6.12. Vurdering av konsept. TECH11

Vurderingskriterie	Vurdering	TECH11
Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt	Konseptet gir mulighet for bruk av digitale tjenester på de fleste strekninger, jf Tabell 6.14. Noen strekninger vil dekningen vil variere mellom God og Middels	12,5 mrd NOK
Samlet kostnad for prosjektet	Prosjektkostnaden er den nest høyeste av utbyggingskonseptene.	2,7 mrd NOK
Nytte/kost-faktor	Konseptet gir positiv netto nytte. Nytte/kost-faktoren er den nest høyeste av utbyggingskonseptene.	3,6
Økt andel togreiser	Konseptet vil stimulere til økt andel togreiser. De reisende vil oppleve at mobildekningen varierer underveis på reisen og kanskje ha behov for å sjekke dekning før de reiser med toget. Alle strekninger vil ha Middels eller God dekning.	+++
Fleksibilitet for ulike forretningsmodeller, finansieringsmodeller og kontraktstrategier	Ettersom alle kostnader og nytte er beregnet per nabostasjonstrekning er konseptet fleksibelt for ulike sammenstillinger. Konseptet bygger på samme teknologi som de andre konseptene.	+++

6.5 Oppsummering

En oppsummering av konseptvurderingene er gjengitt i Tabell 6-14. Tabellen viser hvordan hvert konsept vurderes for hvert av kriteriene. Konseptet som rangeres som best for hvert kriterie er markert med grønt.

Tabell 6.13. Vurdering av konsepter. Beste konsept markert med grønt

Vurderingskriterie	TECH00	TECH02	TECH04	TECH10	TECH11
Bedre mulighet for å utnytte digitale tjenester, blant annet å kunne arbeide mer effektivt (brutto nytte)	0	9,0 mrd. NOK	14,5 mrd. NOK	12,2 mrd. NOK	12,5 mrd. NOK
Total prosjektkostnad (P50 i 2020 kr)	0	2,1 mrd. NOK	4,0 mrd. NOK	2,0 mrd. NOK	2,7 mrd. NOK
Nytte/kost-faktor ⁴³	0	3,2	2,7	5,2	3,6
Økt andel togreiser	0	+	++++	++	+++
Fleksibilitet for ulike forretnings-modeller, finansieringsmodeller og kontraktstrategier	0	+++	+++	+++	+++
Samlet rangering	5	4	1	3	2

TECH10 er det billigste alternativet og gir også best nytte/kost-faktor. Konseptet oppnår imidlertid ikke like høy brutto nytte som TECH04. Reisende vil oppleve kapasiteten i mobilnettet utilfredsstillende, med store variasjoner og avbrudd underveis på reisen. Dette skyldes først og fremst at konsept TECH10 leverer et mobilnett langs jernbanen der det fortsatt vil være dekningshull mange steder. På de strekningene som bygges ut med Middels dekning, bygges mobildekning basert på lave frekvenser og minimumsløsninger i tunnel som i liten grad er robust for fremtidig vekst i behovet. Konseptet vurderes ikke å lavere vekst i andel togreiser enn både TECH04 og TECH11.

TECH11 oppnår høyere brutto nytte enn TECH10, men økt prosjektkostnad, gjør at nytte/kost-faktoren er lavere for TECH11 enn for TECH10. TECH11 ventes imidlertid å gi en større økning i andel togreiser enn TECH10, ettersom TECH11 leverer et mobilnett uten dekningshull langs hele jernbanenettet. Passasjerer vil imidlertid fortsatt kunne oppleve varierende kapasitet (Middels/God) på sin reise. Strekninger dimensjonert med Middels dekning blir basert på lave frekvenser og minimumsløsninger i tunnel som i liten grad er robust for fremtidig vekst i behovet.

Oppsummeringen viser at TECH02 er det nest billigste konseptet. Konseptet bygger på å utnytte lave frekvenser så langt det lar seg gjøre, slik at behovet for nye basestasjoner begrenses. Det velges også løsninger i tunneler med ambisjon om å levere Middels kapasitet (1,25 Mbps per aktiv terminal). Med en ambisjon om Middels dekning ventes det at passasjerene vil oppleve kapasiteten som utilfredsstillende. På trafikksvake strekninger, med få reisende i togene vil TECH02 gjennomsnittlig kunne gi God kapasitet i mobilnettet.

TECH04 oppnår høyest (brutto) nytte. Det er også det dyreste konseptet og har lavest nytte/kost-faktor. TECH04 ventes å gi best samlet måloppnåelse. Det er konseptet som i størst grad gir mobildekningen langs jernbanen med tilstrekkelig god kapasitet. Det etableres et nett av basestasjoner som ligger tett nok til å

⁴³ Netto nytte dividert på samlet kostnad for prosjektet. Netto nytte beregnes ved å ta brutto nytte minus kostnad for prosjektet.

utnytte kapasitetspotensialet til høye frekvenser langs sporet og det installeres repeateranlegg i tunneler som kan møte fremtidige behov. TECH04 anbefales derfor som konsept, og legges til grunn som basiscase i de påfølgende sensitivetsanalysene.

6.5.1 Strekninger

Konseptene gir ulik mobildekning langs jernbanen avhengig av ambisjonsnivået som forsøkes bygget ut. TECH02 søker å bygge Middels god mobildekning langs jernbanenettet. TECH04 søker å bygge God dekning. Som forventet vil TECH02 investeringene gi God dekningskvalitet der passasjervolumene per tog er lave mens for de mest trafikkerte strekningene oppnås ikke God dekning i rushtiden selv med TECH04-investeringer.

Som redegjort for i kapittel 5.3.3 så har mobiloperatørene en begrenset mengde frekvenser som kan benyttes i mobilnettet langs jernbanen. Innenfor de fire båndene som mobilforsterkerne i togene vil håndtere (800, 900, 1800 og 2100) så har mobiloperatørene til sammen 200 MHz tilgjengelig. Dette fører til at det er en grense for hvor mange Mbps som kan leveres til et tog. Om man legger til grunn en 2x2 MIMO-løsning slik det stort sett er i åpent lende og 3,5 Mbps/MHz (jf kapittel 5.3.3) er 700 Mbps det maksimale som kan leveres til toget. Det vil si at maksimalt 140 mobilterminaler kan være aktive samtidig og forvente en hastighet på 5 Mbps⁴⁴. Med utgangspunkt i forventet andel tilkoblede og aktive terminaler så innebærer dette at når antall passasjerer på et tog overstiger om lag 550⁴⁵ passasjerer, blir det teknisk utfordrende å levere God kapasitet slik den er definert (5 Mbps per samtidig, aktiv terminal).

I modellen oppnås følgelig ikke God dekning på en del av de mest trafikkerte strekningene, og strekningen klassifiseres som Middels. I praksis vil imidlertid en strekning som er bygget ut med God kapasitet som ambisjon, ventes å levere en høyere hastighet til de reisende enn dersom nettet er bygget med ambisjon om Middels kapasitet. For eksempel på nabostasjonsstrekninger som er tilnærmet bare tunnel⁴⁶, så oppnås ikke alltid God dekning, selv om det legges til grunn 4x4 MIMO i kapasitetsberegningene. Strekningen blir dermed klassifisert som Middels. Imidlertid vil kapasiteten i et 4x4 MIMO anlegg være mye romsligere og fremtidsrettet i en tungt trafikkert tunnel, enn en 2x2 MIMO-løsning. Klassifiseringen gjøres dessuten i henhold til forventet passasjerantall i rush. Utenfor rush, når det er færre reisende på toget, vil kapasiteten per passasjer være bedre. Samtidig ligger det også usikkerhet i om hvorvidt 2x2 MIMO mobilforsterkerne i togene klarer å utnytte 4x4 MIMO-dekningen i tunnelen (jf. Kapittel 5.3.3).

Et avbøtende tiltak vil være å benytte en miks av andre frekvensbånd langs de mest trafikkerte strekningene og i mobilforsterkerne på togene som trafikkerer strekningen. For eksempel kunne 800 eller 900 båndet blitt erstattet med 2600 båndet. I fremtiden kan det også tenkes at det vil bli tilgjengelig mobilforsterkere for tog med kapasitet for flere frekvensbånd.

Selv om det er mulig å installere 4x4 MIMO i tunneler, er det imidlertid 2x2 MIMO som normalt brukes utendørs. På nabostasjonsstrekninger som ikke er rene tunnelstrekninger legges det derfor til grunn kapasitet tilsvarende 2x2 MIMO. Annen/mer egent teknologi vil kunne benyttes om det vises seg mer hensiktsmessig i senere prosjektfase.

Tabell 6.14 gir et bilde av deknings situasjonen per prioritetsstrekning for Prioritetsområde 1 og 2. Dekningen angitt per prioritetsstrekning tilsvarer den dårligste dekning på nabostasjonsstrekninger langs prioritetsstrekningen. Tallene i parentes viser antall nabostasjonsstrekninger med henholdsvis Dårlig, Middels og God dekning på prioritetsstrekningen.

⁴⁴ 700 Mbps / 5 Mbps = 140

⁴⁵ Om lag ¼ (26,7%) av passasjerene har en aktiv online terminal. 140 aktive terminaler * 4 = 560 passasjerer, jf kapittel 5.3.2.

⁴⁶ For eksempel Oslo S – Lillestrøm via Romeriksporten, Oslo S - Nationaltheatret, Nationaltheatret - Skøyen, Lysaker - Sandvika, Sandvika - Asker og Asker - Lier

Tabell 6.14. Ambisjon og forventet minimum kvalitet på mobildekningen (antall nabostasjonstrekkninger med Dårlig, Middels og God dekning i parentes) – Prioritet 1 og 2

Pri	Prioritetsstrekning	TECH02	TECH04 (Dårlig - Middels - God)	TECH10	TECH11
1	Oslo-S – Lillestrøm (Romeriksporten)*	Middels (0-1-0)	Middels (0-1-0)	Middels (0-1-0)	Middels (0-1-0)
1	Oslo-S – Ski*	Middels (0-8-5)	Middels (0-5-8)	Middels (0-5-8)	Middels (0-5-8)
1	Oslo-S – Drammen (Askerbanen)*	Middels (0-3-5)	Middels (0-2-6)	Middels (0-3-5)	Middels (0-3-5)
1	Stavanger – Sandnes	God (0-0-5)	God (0-0-5)	God (0-0-5)	God (0-0-5)
1	Bergen – Arna*	Middels (0-1-0)	Middels (0-1-0)	Middels (0-1-0)	Middels (0-1-0)
1	Lillestrøm – Eidsvoll (Gardermobanen)	Middels (0-2-6)	God (0-0-8)	God (0-0-8)	God (0-0-8)
1	Ski – Moss	Middels (0-3-2)	God (0-0-5)	Middels (0-3-2)	Middels (0-3-2)
1	Melhus – Stjørdal	Middels (0-1-14)	God (0-0-15)	Middels (0-1-14)	Middels (0-1-14)
1	Lysaker – Asker (Drammenbanen)	God (0-0-10)	God (0-0-10)	God (0-0-10)	God (0-0-10)
1	Oslo-S - Lillestrøm (Hovedbanen)*	Middels (0-3-9)	Middels (0-3-9)	Middels (0-3-9)	Middels (0-3-9)
1	Drammen - Tønsberg	Middels (0-4-0)	God (0-0-4)	Middels (0-4-0)	Middels (0-4-0)
1	Jessheim - Dal	God (0-0-3)	God (0-0-3)	God (0-0-3)	God (0-0-3)
2	Sandnes - Egersund	Middels (0-3-10)	God (0-0-13)	God (0-0-13)	God (0-0-13)
2	Arna - Voss	Middels (0-8-0)	God (0-0-8)	Middels (0-8-0)	Middels (0-8-0)
2	Støren - Melhus	Middels (0-5-0)	God (0-0-5)	Middels (0-2-3)	Middels (0-2-3)
2	Stjørdal - Steinkjer	Middels (0-1-10)	God (0-0-11)	Middels (0-1-10)	Middels (0-1-10)
2	Moss - Halden	Middels (0-1-4)	God (0-0-5)	Middels (0-1-4)	Middels (0-1-4)
2	Lillestrøm – Kongsvinger*	Middels (0-14-0)	Middels (0-5-9)	Middels (0-14-0)	Middels (0-14-0)
2	Drammen – Kongsberg*	Middels (0-7-0)	Middels (0-2-5)	Middels (0-3-4)	Middels (0-3-4)
2	Asker - Spikkestad	Middels (0-3-2)	God (0-0-5)	God (0-0-5)	God (0-0-5)
2	Oslo – Roa*	Middels (0-12-2)	Middels (0-2-12)	Middels (0-9-5)	Middels (0-9-5)
2	Eidsvoll - Lillehammer	Middels (0-1-5)	God (0-0-6)	God (0-0-6)	God (0-0-6)
2	Tønsberg - Skien	Middels (0-1-5)	God (0-0-6)	Middels (0-1-5)	Middels (0-1-5)

*) På grunn av høyt passasjerantall i rushtid på enkelte nabostasjonsstrekninger er det ikke mulig å oppnå gjennomgående God dekning på denne Prioritetsstrekningen med de teknologiske forutsetningene som er lagt til grunn.

Prioritetsområde 1 og 2 omfatter strekningene rundt de største byene. Tabellen viser at alle konsepter eliminerer alle dekningshull langs disse strekningene. Det er ingen nabostasjonsstrekninger som får Dårlig dekning.

TECH04 gir God dekning på de fleste strekninger, langt flere enn de tre andre konseptene, men med unntak av de mest trafikkerte strekningene i rush. Merk også at det er forskjell på konseptene selv om de alle gir samme klassifisering på en Prioritetsstrekning. På strekningen Lillestrøm – Kongsvinger for eksempel, gir TECH04 God dekning på 9 av 14 nabostasjonsstrekninger, mens de tre andre konseptene gir Middels dekning på alle 14.

Som nevnt vil det ikke oppnås God dekning i rush på de mest trafikkerte strekningene, blant annet på lokaltogene Oslo S - Ski og Oslo S - Lillestrøm. Dette er strekninger som går i åpent lende i bynære områder, stort sett uten tunneler. Det forventes at disse strekningene vil nyte godt av de investeringer som mobiloperatørene uansett gjør i disse områdene, og at kapasiteten vil nærme seg God.

God dekning på strekningen Stavanger-Sandnes inngår i Telias strekningsforpliktelser og er en del av referansealternativet. Det er ingen forskjeller mellom TECH10 og TECH11 på Prioritet 1 og 2. Det skyldes at passasjergrunnlaget er stort nok til at netto nytten blir positiv på alle nabostasjonsstrekninger, og dermed velger både TECH10 og TECH11 den ambisjonen (Middels/God) som gir best netto nytte.

TECH10 og TECH11 utnytter ikke alltid investeringene som Telia har forpliktet seg til. Det kan være tunneler på en slik strekning som ikke gir positiv netto nytte, eller der Middels gir bedre netto nytte enn God. Passasjerene får dermed ikke kontinuerlig God dekning på strekningen. I slike tilfeller blir strekningen klassifisert som Dårlig eller Middels på grunn av tunnelen, selv om Telia har bygget ut God dekning utenfor tunnelen.

På Prioritet 3 og 4 strekningene er passasjertallene generelt lavere per tog. Samtidig er utbyggingskostnadene generelt høyere, fordi jernbanelinjen ligger lenger unna det eksisterende mobilnettet

og annen viktig infrastruktur slik som vei, strøm og fiber. Tabellen nedenfor viser forventet dekning på disse strekningene.

Tabell 6.15. Forventet minimum kvalitet på mobildekningen (antall nabostasjonstrekkinger med Dårlig, Middels og God dekning i parentes) – Prioritet 3 og 4

Pri	Prioritetsstrekning	TECH02	TECH04 (Dårlig - Middels - God)	TECH10	TECH11
3	Hokksund - Voss	Middels (0-25-0)	God (0-0-25)	Middels (0-13-12)	Middels (0-13-12)
3	Lillehammer - Støren	Middels (0-12-0)	God (0-0-12)	Middels (0-2-10)	Middels (0-2-10)
3	Kongsberg - Kristiansand	Middels (0-10-0)	God (0-0-10)	God (0-0-10)	God (0-0-10)
3	Kristiansand - Egersund	Middels (0-9-0)	God (0-0-9)	Middels (0-1-8)	Middels (0-1-8)
3	Halden - Kornsjø	Middels (0-1-0)	God (0-0-1)	God (0-0-1)	God (0-0-1)
3	Ski - Rakkestad	Middels (0-6-5)	God (0-0-11)	Dårlig (3-0-8)	God (0-0-11)
3	Roa - Gjøvik	Middels (0-6-2)	God (0-0-8)	God (0-0-8)	God (0-0-8)
4	Dombås - Åndalsnes	God (0-0-4)	God (0-0-4)	God (0-0-4)	God (0-0-4)
4	Stjørdal - Meråker - (Storlien)	God (0-0-5)	God (0-0-5)	God (0-0-5)	God (0-0-5)
4	Hamar - Støren (Rørosbanen)	Middels (0-1-26)	God (0-0-27)	Middels (0-1-26)	Middels (0-1-26)
4	Skien - Notodden	Middels (0-3-1)	God (0-0-4)	Dårlig (3-0-1)	Middels (0-3-1)
4	Nelaug - Arendal	Middels (0-1-6)	God (0-0-7)	God (0-0-4)	God (0-0-4)
4	Steinkjer - Bodø	Middels (0-23-0)	God (0-0-23)	Dårlig (15-0-8)	Middels (0-9-14)
4	Myrdal - Flåm	Middels (0-1-0)	God (0-0-1)	Dårlig (1-0-0)	Middels (0-1-0)
4	Narvik - Riksgrensen	Middels (0-5-0)	God (0-0-5)	Dårlig (5-0-0)	Middels (0-3-2)

Både TECH02 og TECH04 klarer å nå sin ambisjon om henholdsvis Middels og God dekning på alle prioritetsstrekningene. Som forventet oppnår noen strekkinger God kapasitet med TECH02 på grunn av lave passasjertall, slik som Dombås-Åndalsnes og Stjørdal-Meråker.

TECH10, som ikke anbefaler utbygging der nettonytten er negativ, resulterer i fem prioritetsstrekninger som får Dårlig dekning på hele eller deler av strekningen. Dette gjelder blant annet Nordlandsbanen (Steinkjer-Bodø) og Østre linje i Østfold (Ski-Rakkestad). Merk også at Flåmsbana, der Telia skal bygge God dekning i frittland, ikke får dekning i tunnelene med TECH10. En annen bane med ambisjoner om å bli en turistattraksjon, Ofotbanen, får heller ikke mobildekning med dette konseptet.

TECH11 resulterer i Middels eller God kapasitet for alle strekkinger. Om man ser på nabostasjonsstrekningene gir TECH11 betydelig dårligere dekning enn TECH04 på for eksempel Bergensbanen (Hokksund – Voss) og Nordlandsbanen (Steinkjer – Bodø)

6.6 Sensitivitetsanalyse

Modellen som er utviklet for denne utredningen er basert på en rekke kilder. Disse kildene er anvendt i tråd med anbefalinger fra ressurser med ekspertkompetanse. Videre er det gjort en rekke antakelser som er avklart med eksperter så langt det har latt seg gjøre og det har blitt gjennomført usikkerhetsanalyse av en uavhengig tredjepart. Likevel er det hensiktsmessig å gjøre en analyse for å avdekke hvor sensitiv modellens resultater er til endringer i utvalgte variabler og parametere. Dette bidrar også til å belyse risiko i prosjektet. Sensitivitetsanalysen er beskrevet nærmere i delrapport 5 (Delrapport 5 - Concept Analysis & Sensitivity analysis, 2020).

Utredningen har identifisert ti variabler og parametere for sensitivitetsanalyse:

- PPM01 – Antallet mobiloperatører som inngår i prosjektet
- PPM02 – Lengde på analyseperiode
- PPM03 – Kapasitet som definerer Middels og God dekning
- PPM04 – Levetid for nøkkelmateriell
- PPM05 – Båndbredde allokert fra mobiloperatørene
- PPM06 – Antall nye basestasjoner som må etableres
- PPM07 – Andel av basestasjonkapasitet tilgjengelig for jernbanen.
- PPM08 – Metode for beregning av nytte
- PPM09 – Mindre effektiv 4x4 MIMO-teknologi

- PPM10 – Lavere andel passasjerer med tilkoblet mobilterminal

Alle sensitivitetsanalyser er gjennomført med utgangspunkt i TECH04, og ved å variere variabel eller parameter. Resultatene viser prosentvis endring på kostnader og nytte, som følge av variasjonen.

6.6.1 Variabler og parametere med stor virkning

To variabler kan ha stor virkning på kostnader og nytte for prosjektet:

- PPM01 - Antallet mobiloperatører som skal få offentlig finansieringsstøtte
- PPM03 - Terskelverdiene for definisjonen av God og Middels dekning.

PPM01 – Antallet mobiloperatører som inngår i prosjektet

Prosjektkostnaden i basisestimatet inkluderer kostnader slik at tre mobiloperatører kan etablere mobildekning langs jernbanen. Dette omfatter først og fremst kostnader for å etablere bedre dekning i frittland, men også noen kostnader knyttet til dekning i tunneler. Det offentlige kan imidlertid velge en av følgende strategier:

1. Ikke finansiere prosjektkostnaden for private mobiloperatører
2. Finansiere prosjektkostnaden for bare én mobiloperatør
3. Finansiere prosjektkostnaden for bare to mobiloperatører

Sensitivitetsanalysen viser at prosjektkostnaden for det offentlige reduseres med 35% dersom (1) ingen kostnader for de private mobiloperatørene inkluderes i den offentlige prosjektkostnaden. For variasjon 2 og 3 er reduksjonen på henholdsvis 23% og 12%.

PPM03 - Kapasitet som definerer Middels og God dekning

Prosjektet har lagt til grunn at 5 Mbps per samtidig, aktiv terminal er tilstrekkelig for God kvalitet på mobildekningen og 1,25 Mbps for Middels dekning. Analysen tester hvor sensitive kostnader og nyttevirksomheter i prosjektet er til at de to verdiene heves med 50% og 100% Mbps.

Analysen viser at kostnadene for TECH04 øker med 13% dersom terskeldefinisjonene for God og Middels dekning heves med 50% til henholdsvis 7,5 Mbps og 1,88 Mbps. Videre faller også nytten med 19%. Det siste skyldes at kravet på 7,55 Mbps per samtidig, aktiv mobilterminal ikke er teknisk mulig å innfri, slik at strekninger som klassifiseres som God i basisscenarioet blir nedgradert til Middels, med dertil lavere nytte.

I det tilfelle at terskelverdiene økes til 10 Mbps for God og 2,5 Mbps for Middels øker kostnadene med 43% sammenliknet med basisscenariet for TECH04 og nytten reduseres med 30%.

6.6.2 Variabler med begrenset virkning

Å forlenge analyseperioden utover 10 år (PPM02) gir en positiv effekt for prosjektet. Ved å forlenge analyseperioden blir det flere år med nytte som kan neddiskonteres, og nytten overstiger de økte driftskostnadene. Dette øker tilbakebetalingen på den initiale investeringen. Ved å øke analyseperioden til henholdsvis 15 og 20 år, øker Nytte/kost med henholdsvis 37%/28% og 68%/49%.

Viktige tekniske komponenter knyttet til utbygging av mobildekning har relativt kort levetid, sammenliknet med andre samferdselsprosjekter. Strålekabler har i henhold til Bane NOR en forventet levetid på 10-20 år. Deler av aktivt utstyr i mobilnettet har ofte ikke lengre levetid enn en teknologigenerasjon (3G, 4G, 5G etc). Basisscenariet har primært lagt til grunn levetider mellom 10-15 år. Dette er en viktig årsak til den korte analyseperioden. Hvis levetiden på alt utstyr halveres i forhold til basisscenario (PPM04) vil dette øke kostnadene med 46%. Det skjer ingen endring med nytteverdien. Risikoen for dette regnes som lav, ettersom levetiden allerede er satt relativt konservativt. Dette ble bekreftet av usikkerhetsanalysen (Delrapport 6 - Usikkerhetsanalyse, 2020).

Basisscenariet legger til grunn at mobiloperatørene allokere 180 MHz båndbredde tilgjengelig etter behov, både i tunneler og frittland. Hvis mobiloperatørene velger å allokere mindre båndbredden vil det kunne føre til økt behov for investeringer, spesielt i tunnelene. Sensitivitetsanalysen (PPM05) viser at en reduksjon av allokert båndbredde med 33,3% til 120 MHz i frittland ikke påvirker kostnadene. Nytte faller imidlertid med

19%, ettersom færre strekninger når terskelverdiene for God og Middels kapasitet. I tunneler fører en tilsvarende reduksjon til en økning i kostnadene på 12%. Nyten faller med 14%. Risikoen for at mobiloperatørene ikke skal allokere nok båndbredde regnes som liten, ettersom mobiloperatørene har betalt for rettighetene til disse frekvensressursene, og ønsker å utnytte disse slik at de gir mest mulig avkastning.

Antallet nye basestasjoner i TECH04 er summen av dagens basestasjoner pluss antakelser om antall nye det er behov for. De nye basestasjonene er særlig sentrale for å kunne utnytte høye frekvensbånd. Antallet nye basestasjoner er forutsatt å være halvparten av antallet eksisterende basestasjoner på en strekning. En usikkerhetsanalyse (PPM06) viser at dersom behovet for nye basestasjoner skulle vise seg å være 25% eller 50% høyere vil kostnadene øker med henholdsvis 7% og 14%.

Mobildekningen langs jernbanen er på mange strekninger dedikert til jernbanen, mens i kapasiteten i mer tettbygde områder ofte deles med fastboende, arbeidstakere, besøkende etc. I Basisscenariet er det lagt til grunn at all kapasitet i mobilnettet langs jernbanen er tilgjengelig til togreisende. Basert på geografiske data om innbyggere og arbeidstakere er det beregnet om jernbanen på et gitt sted går igjennom et folketomt område (1) gravgrendt område (2), forstadsområde (3) eller urbant område (4). To sensitivitetsanalyser (PPM07) er gjort der andelen mobilkapasitet tilgjengelig for togreisende i områdetypene 2-4 reduseres. Analysen viser at dette i liten grad påvirker kostnadene, men at nyten reduseres med 28% dersom tilgjengelig kapasitet reduseres med 75% i urbane områder og 50% i forstadsområder. Årsaken er at det i områdetype 3 og 4 ofte vil være bygget ut så mye kapasitet som frekvensressursene tillater. Dermed må mobilbrukerne dele på den kapasiteten som er teknisk mulig å fremskaffe. Det gir noe dårligere kvalitet på digitale tjenester.

Metoden for å beregne nytte av bedre mobildekning er ny. Faktorene for å beregne nyten er basert på et begrenset datagrunnlag. Dette er nærmere beskrevet i den samfunnsøkonomiske analysen (Delrapport 7 - Samfunnsøkonomisk analyse, 2020). Det er derfor gjort en analyse (PPM08) av virkningene dersom faktorene for nytteberegning halveres. Som forventet halverer dette også nyten på samtlige strekninger. Kostnadene forblir uendret. I alle konseptene var nyttevirksomheten i basisscenariet mer enn dobbelt så stor som kostnadene så samlet sett vil hvert konsept fortsatt gi en positiv netto nytte. Det vil imidlertid være enkelte strekninger som i TECH02 eller TECH04 vil få negativ samfunnsnytte eller som i TECH10 og TECH11 vil bli bygget ut med en lavere kvalitet på mobildekningen.

Ved konvertering av båndbredde til kapasitet i mobilnettet brukes konverteringsfaktorer som oppgitt i kapittel 5.3.3. Utgangspunktet for konverteringsratene er 2x2 MIMO der 1 MHz antas å gi 3,5 Mbps i tilgjengelig kapasitet. 4x4 MIMO er generelt antatt å gi dobbelt så stor kapasitet som 2x2 MIMO, altså 7 Mbps i denne utredningen. Imidlertid innebærer dette en mild overvurdering av 4x4 MIMO-teknologien. Den riktige konverteringsfaktoren kan ligge så lavt som 6. Det er derfor gjort en sensitivitetsanalyse for å se på virkningen av å redusere konverteringsfaktoren for 4x4 MIMO fra 7 til 6 (PPM09). Sensitivitetsanalysen viser at dette ikke vil ha noen effekt hverken på kostnader eller nytte.

I beregningen av antall samtidig, aktive mobilterminaler er det gjort forutsetninger om andel passasjerer som har en mobilterminal tilkoblet mobilnettet (80%) og andel av disse som til enhver tid er aktive (1/3). Selv om disse forutsetningene er gjort i samråd med mobiloperatørene så er det empiriske grunnlaget for disse forutsetningene begrenset. Det er gjort en analyse av andelen passasjerer som har en mobilterminal tilkoblet mobilnettet, der andelen er redusert til 60% og 40%. Analysen viser at kostnadene faller med henholdsvis 19% og 31%, og nyten stiger med henholdsvis 3% og 2%.

6.7 Usikkerhetsanalyse

Metier OEC har på oppdrag fra Jernbanedirektoratet utført usikkerhetsanalyse av KVV Bedre nettdekning langs jernbanen (Delrapport 6 - Usikkerhetsanalyse, 2020). Analysenes formål har vært å gi et kvalitativt og

kvantitativt bilde av usikkerheten i konseptalternativene. For detaljer om usikkerhetsanalysen henvises det til Metiers rapport⁴⁷.

Av hensyn til frister for innspill til NTP 2022-2033 ble usikkerhetsanalyseprosessen gjennomført på et tidligere stadium i KVVU prosessen enn normalt. Prosessen fokuserte i første omgang på konseptene TECH02 og TECH04 og ble siden utvidet til å omfatte konseptene TECH10 og TECH11⁴⁸.

Kostnadsanslagene som ble lagt til grunn var basert på modellversjon 1.2, som er gjort tilgjengelig for oppdragsgiver. En viktig endring som ble gjort i forbindelse med usikkerhetsanalysen var nedjustering av basisestimatet for strømforsyningskostnad på de fire strekningene Nordlandsbanen, Rørosbanen, Bergensbanen og Sørlandsbanen.

Usikkerhetsanalysen ble gjennomført 13. og 14.februar, 2020, med deltakelse fra prosjektorganisasjonen med representanter fra Jernbanedirektoratet, Multiconsult og BWCS, fra mobiloperatørene ICE, Telenor og Telia og fra Bane NOR.

6.7.1 Metode

Metode for gjennomføring av usikkerhetsanalyse er beskrevet i Vedlegg 3 til Metier OEC's rapport. I grove trekk tar usikkerhetsanalysen utgangspunkt i basis kostnadsestimat fra prosjektet. Basiskostnadene blir brutt ned i overordnede kostnadsposter, slik som «Fiber og strøm» og «Installasjon».

For hver overordnet kostnadspost blir det gjort et anslag på usikkerheten i kostnadsestimatet. Dette gjøres ved bruk av tripplestimer, der deltakerne i analysegruppen vurderer og tildeler *optimistisk, mest sannsynlig og pessimistisk verdi*.

Videre identifiseres viktige usikkerhetsdrivere. Usikkerhetsdriverne er en gruppering av hendelser/usikkerheter i temaer som kan påvirke hele eller deler av prosjektets total kostnad. Usikkerhetsdriverne er beskrevet med forutsetningene for basiskostnaden og også for disse vurderer analysegruppen *optimistisk, mest sannsynlig og pessimistisk scenario*. Effekten av usikkerhetsdriverne kvantifiseres med trippelanslag i prosenter av en eller flere kostnadsposter.

Forventet kostnad beregnes på følgende måte.

Basiskostnad
+ Effekten av estimatusikkerheten
+ Effekten av usikkerhetsdriverne
<hr/>
= Forventet kostnad (P50)

6.7.2 Basisestimatet

Basisestimatet inneholder prosjektets kostnader fordelt i kostnadselementer. Tabell 6.17 gir en oversikt over de prosjektkostnadene som ble lagt til grunn som basiskostnader i usikkerhetsanalysen i februar. Kostnadene er basert på gjeldende anslag på tidspunktet for usikkerhetsanalysen, og avviker en del fra prosjektkostnadene som presenteres i denne KVVU-rapporten, Tabell 6.1.

⁴⁷ Teksten i dette kapittelet om usikkerhetsanalyse er basert på, og i noen grad også kopiert fra Metiers rapport.

⁴⁸ Et konsept som siden ble tatt ut av KVVU-prosessen, TECH04A ble også vurdert.

Tabell 6.16. Basiskostnad, investerings- og driftskostnader. 2020-kroner. (Kilde: Metier)

Investeringskostnader	TECH_02 Middels	TECH_04 God	TECH_10 Netto nytte Ingen-Middels- God	TECH_11 Netto nytte Middels-God
Tunnelkostnader				
K1 Passivt og aktivt utstyr	436	595	512	588
K2 Installasjon	324	443	371	438
K3 Entreprenørs dokum., admin og reiser	163	219	181	215
K4 Interne Bane NOR kostnader	26	34	27	33
K5 Fiber og strøm (Bane NOR)	83	87	73	87
K6 Kostnader til Mobiloperatørens utstyr i/ved tunneler (ICE, Telia, Telenor)	114	118	97	118
Sum Tunnelkostnader	1 146	1 495	1 261	1479
Frittlandskostnader				
K7 Infrastruktur	26	37	32	36
K8 Fiber og strøm (utbygde områder)	186	302	239	290
K9 Fiber og strøm (lite utbygde områder)	123	128	115	127
K10 Aktivt utstyr	171	246	212	242
K11 Master	66	115	97	112
K12 Montasjearbeid mobiloperatører	22	31	26	30
Sum Frittlandskostnader	593	858	722	838
Sum tunnel- og frittlandskostnader	1 739	2 354	1 983	2 317
Driftskostnader 10 år				
	Dekningsstrategi	Kapasitetsstrategi	Dekningsstrategi	Kombinasjonsalternativ
K13 Driftskostnader Tunnel (10 år)	251	308	257	306
K14 Driftskostn. Frittlandsdekning (10 år)	168	76	66	80
Sum	419	384	323	386
Totalt	2 158	2 738	2 306	2 702

6.7.3 Usikkerhetsdrivere

Usikkerhet i kostnadselementene(K1-K13) er normalt knyttet til mengde og prisusikkerhet, men kan også inkludere annen usikkerhet som gjelder spesielt for det enkelte kostnadselement. Usikkerheten til hver kostnadspost er vurdert av analysegruppen og tildelt optimistisk, mest sannsynlig og pessimistisk verdi. Tripplestimatene angir usikkerheten i basisestimatet gitt at forutsetningene for kalkylen slår til.

Usikkerheter (trusler og muligheter) innenfor noen «temaer» er gruppert i usikkerhetsdrivere. Disse kan ha konsekvens for alle eller enkelte av prosjektets kostnadselementer. Usikkerhetsdriverne er angitt med beskrivelser av forutsetningene, optimistisk, mest sannsynlig og pessimistisk scenario. Effekten av usikkerhetsdriverne kvantifiseres med trippelanslag i prosenter av kalkyleposter de virker på, og er dokumentert i vedlegg 4 til Metier OEC's rapport.

Følgende usikkerhetsdrivere er identifisert:

Tabell 6.17. Usikkerhetsdrivere.

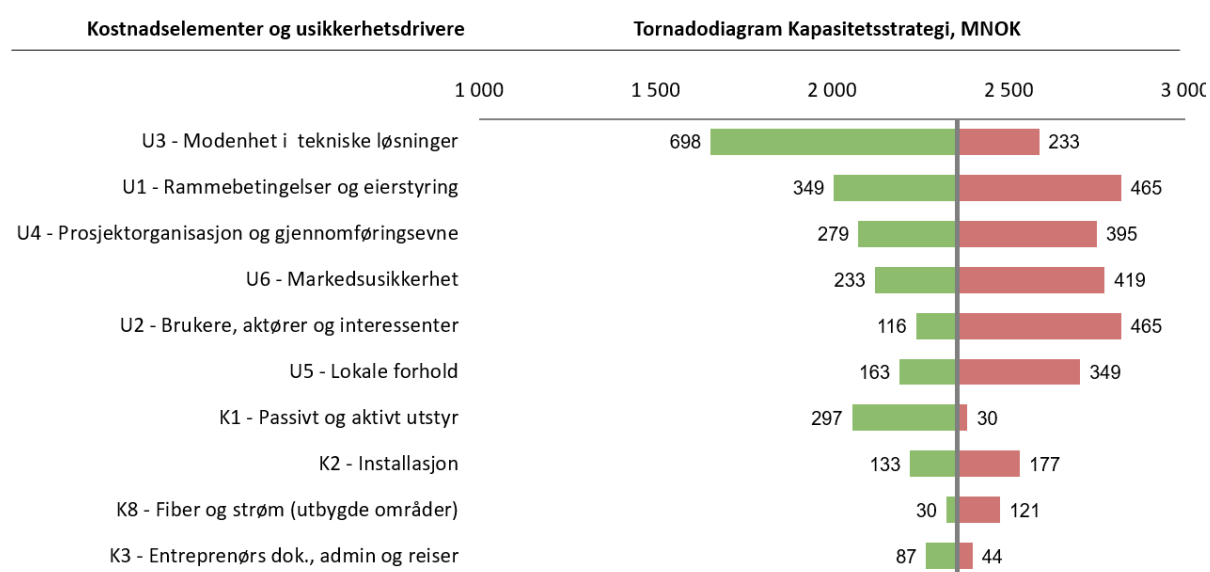
Usikkerhetsdriver	Beskrivelse
U1 Rammebetingelser og eierstyring	Driveren omhandler oppdragsstyringen av prosjektet (Jernbanedirektoratet og Samferdselsdepartementet) og ambisjoner, prioriteringer og føringer knyttet til tiltakets funksjon fra dagens beskrivelser frem til ferdig løsning. Rammebetingelser: Usikkerhet knyttet til endringer i lover, regler, forskrifter, kravspesifikasjoner og tillatelser som kan påvirke prosjektets kostnader.
U2 Brukere, aktører og interessenter	Driveren omfatter usikkerhet knyttet til krav om endringer fra brukere, interessenter og aktører. Dette kan eksempelvis være Bane NOR og Mobiloperatørene.
U3 Modenhet i plangrunnlag og løsninger	Driveren omfatter usikkerhet knyttet til prosjektunderlagets detaljeringsnivå og modenhet. Usikkerhetsdriveren kan beskrives som differansen mellom endelige løsninger og leveranser, og løsningene som i dag er beskrevet. Økonomisk mulighetsside omfatter løsningsoptimalisering, mens nedsiden omfatter kostnadsøkninger som følge av videre prosjektering, teknologisk utvikling og ny innsikt.
U4 Prosjektorganisasjon og gjennomføringsevne	Driveren omhandler usikkerhet knyttet til prosjektorganisasjonens evne til å håndtere brukere, aktører og interessenter, planlegge og styre prosjektet på en god måte med hensyn til prosjektets målsettinger og resultatmål. Driveren omhandler usikkerhet i kapasitet, bemanning, arbeidsmetodikk og kompetanse i prosjektets, underlagte etater og entreprenørenes organisasjoner, og hvordan prosjektgruppen styrer grensesnitt og endringshåndtering.
U5 Lokale forhold	Driveren omhandler usikkerhet knyttet til grensesnitt mot eksisterende løsninger som GSMR installasjoner, mobiloperatørenes basestasjoner, tekniske løsninger og infrastruktur i og utenfor tunneler, tilkomst til anleggsområdet, adkomst / logistikk ved anleggsområdet, riggforhold, trafikkforhold, bygging på ugunstig tid, faseplaner, urasjonell drift og andre begrensninger etc.
U6 Markedsusikkerhet	Driveren omfatter usikkerhet knyttet til tilgjengelig kapasitet og konjunkturer. Herunder markeds- og konkurransesituasjonen i leverandør-, råvare- og

	materiellmarkedet, entreprenørkapasitet frem til kontrahering, samt rådgivermarkedet (administrasjon, planlegging og prosjektering).
--	--

6.7.4 Resultater

Usikkerhetsanalysen identifiserer de største usikkerhetsfaktorene i prosjektet. Disse illustreres blant annet i tornadodiagrammer. Tornadodiagrammer viser oppsiderisiko (grønn) og nedsiderisiko (rød) for hvert konsept.

Figur 6-3. Tornadodiagram - TECH04. Kilde: Metier OEC



Tornadodiagrammet for TECH04 viser at de seks usikkerhetsdriverne utgjør de største risikofaktorene for prosjektkostnaden. U3 representerer en betydelig oppsiderisiko Metiers rapport peker særlig på følgende forhold:

I et optimistisk scenario vil teknologiutviklingen redusere utbyggingskostnadene (nye antenneløsninger, master, repeater, batterikapasitet etc.). Modellering på radiogrensesnittet kan kompensere på eventuell vekst i kapasitetsutnyttelse. Ny teknologi innenfor satellitter kan redusere behov/omfang av prosjektet, spesielt transmisjon. Alternativ strømforsyning som solceller, vindmøller, hydrogen etc. eller utnyttelse av banestrøm med batteri og omformer kan redusere kostnader til kabling. Tilgang til Bane NOR-fiber vil kunne redusere kostnadene til ny fiber. For dekningskonseptet vil effekten av utviklingen redusere (evt. fjerne) deler av omfanget ytterligere. Bruk av fiberoptiske anlegg utendørs som erstatning for basestasjoner (repeaterløsning) kan redusere kostnader.

U1 er den nest største usikkerhetsfaktoren. Den har en større sannsynlighet for økte kostnader. Det knytter seg særlig til forhold som styres av myndigheter og eiere, slik som koordinering mellom Mobildekning, Nødnett og neste generasjon som skal erstatte dagens GSM-R. Det pekes også på risiko for forsinkelser for eksempel drevet av vanskelige reguleringsprosesser, manglende avklaring rundt finansieringsmodeller og generelt manglende prioritering av mobildekning i fagmiljøene i jernbanesektoren.

Den tredje største usikkerhetsfaktoren er U4. Her peker usikkerhetsanalyse særlig på risikoen for at prosjektorganisasjon som etableres

- ikke får ressurser med tilstrekkelig kompetanse og kapasitet
- ikke evner å skape god samhandling
- ikke benytter etablerte gjennomføringsmodeller og erfaring som finnes hos interessentene

De øvrige usikkerhetsfaktorene representerer en usikkerhet der sannsynligheten er størst for at virkningen blir negativ. Usikkerheten knyttet til kostnadsestimatene (K1-K13) er generelt lavere enn for usikkerhetsdriverne.

Det er kun mindre variasjoner i tornadodiagrammene for de fire konseptene⁴⁹. For alle konsepter utgjør U1-U6 de seks største risikofaktorene. Forskjellene ligger primært i rangeringen mellom U2, U5 og U6, som er for alle konsept rangeres som 4-6. største risikofaktor.

Med utgangspunkt i estimatusikkerheten og usikkerhetsdriverne gir usikkerhetsanalysen anslag på forventet tillegg og den forventede kostnaden (P50) for hvert av konseptene. I tillegg anslås den øvre økonomiske rammen for prosjektet (P85).

Tabell 6.18. Resultater usikkerhetsanalyse. Alle konsepter. Kilde: Metier OEC

Kostnadsnivåer	TECH_02		TECH_04		TECH_10		TECH_11	
	MNOK	%	MNOK	%	MNOK	%	MNOK	%
Basiskostnad	1 739		2 354		1 983		2 317	
Forventet tillegg	-69	-4 %	174	7 %	-95	-5 %	30	1 %
Forventet kostnad (P50)	1 670		2 528		1 888		2 347	
Usikkerhetsavsetning	519	31 %	703	28 %	581	31 %	685	29 %
P85	2 189		3 231		2 469		3 032	
Standardavvik	495	30 %	675	27 %	560	30 %	657	28 %

Tabellen viser at det må forventes et tillegg på 7% av Basiskostnaden for TECH04. Det anbefales en usikkerhetsavsetning på 28% av forventet kostnad, noe som gir en øvre økonomisk ramme (P85) for prosjektet på 3,2 mrd NOK. Prosentatsene for forventet tillegg er benyttet for beregning av oppdatering av P50 og P85 basert på reviderte basiskostnader, Tallene skiller seg fra kostnadstallene oppgitt ellers i rapporten. Dette skyldes at flere viktige forutsetninger ble endret etter at usikkerhetsanalysen ble gjennomført. De prosentvise satsene fra usikkerhetsanalysen er anvendt på de nye kostnadstallene i beregningene som ligger til grunn for Tabell 6.1, Oppdaterte basiskostnader, P50 og P85 er angitt i Tabell 6.19

⁴⁹ Alle Tornadodiagram er i Usikkerhetsanalysen (Delrapport 6 - Usikkerhetsanalyse, 2020)

Tabell 6.19. Oppdaterte kostnader. Alle konsepter. Basert på usikkerhetstillegg fra usikkerhetsanalysens resultater

Kostnadsnivåer (2020-kroner ex. mva)	TECH_02		TECH_04		TECH_10		TECH_11	
	MNOK	%	MNOK	%	MNOK	%	MNOK	%
Basiskostnad	1 791		3 078		1 669		2 203	
Forventet tillegg	-72	-4 %	215	7 %	-83	-5 %	22	1 %
Forventet kostnad (P50)	1 719		3 293		1 586		2 225	
Usikkerhetsavsetning	555	31 %	862	28 %	612	31 %	639	29 %
P85	2 346		3940		2 186		2 842	

7 Samfunnsøkonomisk analyse

Samfunnsøkonomiske analyser gjennomføres for å vurdere om et tiltak har større nytte enn kostnad for samfunnet. Det er også et godt grunnlag til å prioritere mellom ulike tiltak når lik metode anvendes på flere prosjekter. Den bygger på felles, definerte metoder beskrevet av Finansdepartementet. For jernbanesektoren benyttes Jernbanedirektoratets verktøy SAGA, som standardiserer metoden for samfunnsøkonomiske analyser i sektoren. For mer informasjon om den samfunnsøkonomiske analysen for KVVU Nettdekning, se egen delrapport (Delrapport 7 - Samfunnsøkonomisk analyse, 2020)

Prosjektets egen modell er utviklet for å gi et godt beslutningsgrunnlag for valg mellom konsepter, der alle tall er beregnet i samme modell. Videre har den gitt god anledning til å gjøre sensitivitetsanalyser på viktige variabler og parametere for prosjektet, som ikke ville vært mulig i en standard samfunnsøkonomisk modell som SAGA. Ved å benytte SAGA analyseres imidlertid de samfunnsøkonomiske virkningene mer stringent og i henhold til føringene fra Finansdepartementet, slik at konseptene kan sammenliknes med andre prosjekter. SAGA legger i større grad vekt på hensyn til kroneår, byggeperiode, åpningsår etc. som påvirker nåverdiberegningene. Videre inkluderes viktige kostnadselementer som skattefinansieringskostnader i beregningene. Tallene som fremkommer fra SAGA vil således avvike noe fra beregningene som er fremkommet i konseptanalysen.

7.1 Samfunnsøkonomisk metode

For å vurdere virkningene av et tilbudskonsept er det benyttet OD - matriser⁵⁰ for 2018 fra VY, som beskriver antall reisende på stasjonsrelasjoner. Antall reisende er så blitt fremskrevet til 2030 ved å benytte transportsimuleringer utført i Nasjonal transportmodell, og Trenklin, som er en elastisitetsmodell. Inndata til modellen er statistikk for antall togreiser, som er levert av NSB og flytoget for 2018 og fremskrevet med SSBs prognoser for befolkning eller grunnprognosene for persontransport.

De samfunnsøkonomiske beregningene er verdsatt i tråd med gjeldende føringer fra rundskriv R-109/14 (Finansdepartementet, 2014) og retningslinjene som gjelder gjennomføring av samfunnsøkonomiske analyser til NTP 2022 – 2033 (NTP, 2018). Alle enhetssetter og forutsetninger som benyttes for å gjennomføre samfunnsøkonomiske analyser er hentet fra Jernbanedirektoratet sitt verktøy SAGA V2.4 (Jernbanedirektoratet, 2018).

Tabell 7.1. Generelle forutsetninger i samfunnsøkonomiske analyser

Faktor	Forutsetning
Kalkulasjonsrente	4 % i de første 40 år, 3 % i resten av prosjektets levetid
Diskonteringsår	2022
Analyseperiode	10 år
Prosjektets levetid	10 år
Oppstartsår	2022
Åpningsår	2026

⁵⁰ OD: Origin-Destination. En stor matrise som viser antall passasjerer mellom hver eneste mulige kombinasjon av påstigningsstasjon og avstigningsstasjon.

Første beregningsår	2030
Andre beregningsår	
Tredje beregningsår	
Transportprognoser	Trafikkvekst i henhold til transportmodellberegninger legges til grunn frem til 2030.
Kroneår	2019

Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten er sentralt bestemt for alle statlige organer som gjør samfunnsøkonomiske analyser (Finansdepartementet, 2014).

Diskonteringsår/Sammenstillingsår

For å sammenligne konsekvenser på ulike tidspunkter, omregnes de til verdi på ett felles tidspunkt, diskonteringsår/sammenligningsår. I retningslinjene for NTP 2022-2033 skal alle nytte- og kostnadsstrømmer diskonteres til sammenstillingsår 2022 (NTP, 2018).

Prosjektets levetid, analyseperiode og restverdi

I jernbanesammenheng er det praksis å ta utgangspunkt i levetiden til den kostnadmessig største anleggsdelens forventede levetid når prosjektets levetid skal bestemmes. Denne komponentens levetid legges til grunn for prosjektets levetid dersom det synes rimelig å anta at anlegget vil generere samfunnsnytte over en minst like lang horisont. Jernbaneinfrastruktur som tunneler, underbygning ol. har generelt sett lang levetid, og det er vanlig å benytte en levetid på 75 år i samfunnsøkonomiske analyser av jernbanetiltak.

I Rundskriv R-109/14 ble det bestemt at infrastrukturtiltak i samferdselssektoren har en analyseperiode på 40 år (Finansdepartementet, 2014). Analyseperiodens varighet har ikke betydning for resultatet av den samfunnsøkonomiske analysen (netto nåverdi). Analyseperioden har kun betydning for fremstillingen. Med 40 års levetid blir alle nyttekomponenter beregnet og fremstilt kun for de første 40 år. Slik skal man kunne sammenligne et veiprojekts trafikantnytte og et jernbanetiltaks trafikantnytte for de første 40 år selv om de har forskjellig levetid. Den delen av trafikantnytten og øvrige nyttekomponenter som inntreffer mellom år 40 og levetidens slutt vil summeres i en restverdi.

Denne analysen avviker fra retningslinjene, da det er benyttet en levetid og analyseperiode på 10 år. Hovedgrunnen til avviket, er at dette prosjektet prøver å analysere effekten av et teknologitiltak, til forskjell fra et tradisjonelt infrastrukturtiltak. Da teknologi har en kortere levetid enn infrastruktur, ble det benyttet en lavere levetid enn andre infrastrukturprosjekter. Analyseperioden ble også forkortet til 10 år, på grunn av at store deler av investeringen antageligvis ikke vil ha noen restverdi utover levetiden på ca. 10 – 12 år. Noe av infrastrukturen som blir bygget vil antageligvis ha en levetid utover de 10 årene det er beregnet. Dette vil for eksempel være strøm- og fiberfremføring, antennemaster, hytter/rom og festerhull for strålekabler i tunneler. Da denne restverdien ikke er tatt med i analysen, vil det medføre at noe av nytten av tiltakene går tapt, og trekker derfor tallene fra nytteberegningen i konservativ retning.

Oppstartsår og åpningsår

Oppstartsår er det første året med investeringskostnader for tiltaket, "spaden i jorda". Åpningsår er det året det er forventet at tiltaket er ferdigstilt, åpner og genererer nytte. Dette er det første året i prosjektets levetid. I de analysene som skal inngå i NTP 2022 - 2033 er det bestemt at alle analyser skal ha åpningsår 2026 eller 2034 avhengig om det er antatt at tiltakene vil åpne i planperioden eller etter planperioden. Hvis det er usikkert når tiltaket skal åpne beregnes det både med åpningsår 2026 og 2034.

Beregningsår

Første-, andre- og tredje beregningsår er de årene som er forutsatt i transportmodellkjøringen(e).

Transportprognoser

Transportvekst for persontransport følger trafikkvekst i henhold til transportmodellberegninger frem til 2030.

7.2 Konsepter

Konseptene er tidligere beskrevet i kapittel 5.5. Tabellen under sammenstiller noen nøkkeltrekk ved tilbudsendingene i de ulike alternativene.

Tabell 7.2: Sammenstilling av tilbudet i dag, i referansetilbudet og de identifiserte konseptene

Konsept	Kapasitet	Kommentarer
Referanse	Dagens(R19) situasjon	Middels til God dekning nær storbyene. Lite til ingen dekning langs distriktene. God dekning utendørs iht Telias forpliktelser.
TECH 02	Middels kapasitet	Det bygges Middels kapasitet ($\geq 1,25$ Mbps) langs hele jernbanenettet
TECH 04	God kapasitet	Det bygges God kapasitet (≥ 5 Mbps) langs hele jernbanenettet.
TECH 10	Variierende kapasitet. Overvekt av God kapasitet. Dårlig/ingen dekning på noen strekninger	Det bygges mobildekning der dette gir positiv netto nytte. Middels eller God bygges basert på beste netto nytte per nabostasjonsstrekning.
TECH 11	Variierende kapasitet. Overvekt av God kapasitet	Det bygges mobildekning uavhengig av om netto nytten er positiv. Middels eller God bygges basert på beste netto nytte per nabostasjonsstrekning.

7.3 Beregning av nytte

I 2019 ble verdsettingsstudien for persontransport gjennomført av TØI på oppdrag for NTP – virksomhetene, og i denne studien ble det også sett verdsetting av mobildekning blant passasjerer. Denne analysen bruker disse tallene fra TØI til å kvantifisere nytten av tiltakene.

7.3.1 Forutsetninger

Det er brukt følgende tidsverdier for reisende på tog under alle formål (Flügel, et al., 2020)

Tabell 7.3. Tidsverdier for reiser på tog

Reiselengde	Tidsverdier
0 – 70 km	89 kr/time
70 – 200 km	173 kr/time
200 + km	203 kr/time

Faktorer for mobildekning er også gitt i samme rapport, og er som følger:

Tabell 7.4 Faktorer for mobildekning fra TØI

Dekningsgrad	Faktorer	TØI's definisjon av dekningsgrad
Dårlig/ingen mobildekning	1,33	Hyppig avbrudd i tilgangen og strømming av lyd og bilde fungerer ikke
Middels mobildekning	1,11	Nedlastning av store filer går ganske sakte og videostrømming er hakkete
God mobildekning	0,94	Nettsurfing fungerer godt, og man kan strømme video og lyd i god oppløsning

Faktorene tolkes slik at tidsverdien, vil øke med rundt en tredjedel når mobildekningen på en gjennomsnittlig strekning med middels eller god mobildekning faller bort. En reise på en strekning med dårlig dekning vil derfor medføre en mindre effektiv bruk av tiden til de reisende, og faktorene og endringene kan tolkes som at den opplevde ombordtiden til en reisende går ned. Med andre ord, vil en reise med dårlig dekning oppleves som lengre enn en reise med god dekning. Denne reduksjonen av den opplevde ombordtiden eller økningen av effektiviteten er nytten som er beregnet for alle passasjerer på alle togstrekninger i Norge i et år.

En presis tolkning er diskutert og avklart med TØI, som beskrevet i tabellen.

Tabell 7.5. Tolkning av faktorer for mobildekning.

Bruk av dekning	Dårlig	Middels	God
Samtale	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Nettsurfing	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning	Uavbrutt dekning
Filnedlasting	Periodevis dekning	Uavbrutt dekning, men nedlastning av store filer går sakte	Uavbrutt dekning
Strømming av lyd	Periodevis dekning	Noe buffring	Uavbrutt dekning
Strømming av video	Periodevis dekning	Hyppig buffring	Uavbrutt dekning

Bruk av dekning	Dårlig	Middels	God
Gaming	Periodevis dekning	Hypig buffring	Uavbrutt dekning

Kravet til uavbrutt og kontinuerlig, dekning er sentralt både for Middels og God dekning. Kriteriet om uavbrutt dekning tolkes som minimum Middels dekning mellom hvert nabostasjonspar på en strekning. Det er derfor ikke blitt skilt mellom tunneller og daglinje i tiltak, da det ville medført avbrudd i dekningen hvis det f.eks. kun ble bygget mobildekning i daglinje.

Selve endringen fra å gå fra dårlig/ingen mobildekning til middels/god mobildekning beregnes på følgende måte:

Tabell 7.6. Prosentvis endring

Endring	Beregning	Prosentvis endring av tidsverdien
Dårlig/ingen dekning til Middels dekning	1,33 - 1,11	22%
Dårlig/ingen dekning til God dekning	1,33 - 0,94	39%
Middels dekning til God dekning	1,11 - 0,94	17%

Disse verdiene og faktorene, sammen med OD – matrisene fra Vy på stasjonsrelasjoner (i, j) er brukt til å beregne nytten med følgende formel:

$$Nytte = Antall reiser_{i,j} * Prosentvis endring * Reisetid_{i,j} * \frac{Tidsverdi}{60}$$

Denne formelen er brukt til å beregne nytten mellom hver stasjonsrelasjon i Norge fordelt på de ulike togproduktene som betjener disse relasjonene. Nyten mellom stasjonsrelasjonene fordelt på de ulike togproduktene er så blitt addert sammen til felles nabostasjonsnivå, som så igjen er blitt addert på strekningsnivå for hele jernbanenettet. Strekninger der jernbanesporene skiller seg fra hverandre, men betjener samme strekning. Som f.eks. Oslo – Ski, som vil bli betjent av både Østfoldbanen og Follobanen, er nytten skilt fra hverandre og knyttet til hver sin strekning.

7.3.2 Usikkerhet og transportanalyse

Det er usikkerheter knyttet til beregningen av faktorene for mobildekning, på grunn av et relativt lavt antall observasjoner i utvalget, og relevante underutvalg. Det er også en geografisk skeivdeling med mange observasjoner fra Østlandet der det allerede er relativt god mobildekning.

I denne analysen er det ikke gjort en egen transportanalyse, da metoden for å gjennomføre en transportanalyse for dette prosjektet ville medført å øke/minske tidsverdien for alle togreiser i Norge med opptil en tredjedel. Det ville trolig gitt store positive virkninger, på toppen av de virkningene som er beregnet for mer effektiv bruk av reisetid. Gitt usikkerheten i faktorene for mobildekning har prosjektet valgt å ikke gå videre med transportanalysen.

Av mangel på transportanalyse, er ikke effektene av overføring av reiser på grunn av bedre mobildekning, og de reduserte utslippene som følger av denne overføringen tatt med i analysen. Dette trekker derfor resultatene av den samfunnsøkonomiske analysen i konservativ retning.

7.4 Prissatte virkninger

Nytte-kostnadsanalysen er gjennomført for å verdsette alle virkninger av alternativene. For alternativene er det forutsatt ulike prosjektavhengige forutsetninger. Se tabell i vedlegg 1 til delrapport Samfunnsøkonomisk analyse (KVU - Bedre nettdækning langs jernbanen, 2020).

I nytte-kostnadsanalysen er nyttestrømmene i de 10 årene som er satt som levetid diskontert til et felles sammenligningsår. Tallene i Tabell 7.7 viser den totale nytten og kostnaden gjennom hele levetiden.

Tallene i nyttekostnadsanalysene med positiv verdi betyr en nytte for samfunnet eller den aktuelle aktøren og tall med en negativ verdi betyr en kostnad for samfunnet eller den aktuelle aktøren.

Tabell 7.7. Nytte-kostnadsanalyse

Nytekostnadsanalyse (mill. 2019 kr i 2022)	TECH 02	TECH 04	TECH 10	TECH 11
Trafikantnytte, togpassasjerer i referanse	7 333	11 794	9 876	10 178
Investering for det offentlige	-1 985	-3 669	-1 826	-2 539
Endring i skattefinansiering	-397	-734	-365	-508
Samfunnsøkonomisk netto nåverdi (NNV)	4 951	7 392	7 685	7 131
Netto nåverdi per budsjettkrone (NNB)	2,49	2,01	4,21	2,81

Investeringskostnader er neddiskonterte fra byggeår 2025-2026 og avviker derfor noe fra basiskostnadene som er presentert i Tabell 6-1. Når skattefinansiering inkluderes, blir netto nytte også avvikende fra alternativanalysen. Det er tallene fra denne samfunnsøkonomiske analysen som skal legges til grunn i anbefaling og senere prioriteringsprosesser knyttet til NTP.

Trafikanter

Nytten kommer fra trafikanter i referanse, som får en forbedret reise. Da det ikke er utført transportmodelleringer er ikke trafikantnyttene fra nyskapt og overførte reiser tatt med. Hvis overførte og nyskapt reiser hadde blitt med ville det trekket nytten i positiv retning.

Det offentlige

Utbyggingen medfører høye kostnader for det offentlige. Det er her ikke skilt mellom investerings- og driftskostnader for det offentlige og de private selskapene. De private selskapene vil også få nytte fra utbyggingen ved at flere av kundene deres nå får nettdækning når de reiser med tog. Ulike finansieringsmodeller for investerings- og driftskostnaden bør derfor vurderes. Dette vil kunne medføre at investeringskostnadene for det offentlige går ned.

Samfunnsøkonomisk netto nåverdi og netto nåverdi per budsjettkrone

Basert på de prissatte virkningene presentert over, forventes effekten av investeringen å være samfunnsøkonomisk lønnsom for alle alternativer. TECH02 har lavest samfunnsøkonomisk lønnsomhet av alle alternativene. Dette følger av lav trafikantnytte på grunn av at det er det eneste alternativet som kun tilbyr Middels kapasitet langs hele jernbanenettet. De resterende alternativene har en høy samfunnsøkonomisk netto nytte på ca. 7 milliarder. Av de fire alternativene gir TECH10 både høyest netto nåverdi og netto nåverdi per budsjettkrone.

7.5 Ikke-prissatte effekter

Enkelte effekter egner seg ikke for verdsetting i kroner. Eksempler er naturinngrep og virkninger for kulturminner. Dersom slike effekter er aktuelle og de er av en viss størrelse, skal de vurderes kvalitativt og være en del av den samlede vurderingen av tiltaket.

Mobildekning på tog vil gjøre togreiser mer attraktive, og bidra til at noe av reisene som i dag foregår på fly, buss eller bil vil overføres til tog. Dette vil føre til lavere eksterne kostnader for samfunnet i form av mindre

ulykker, lavere støy og lavere utslipp av klimagasser. Dette vil antageligvis ha et positivt bidrag til nytten av tiltaket, men er ikke prissatt i denne analysen på grunn av mangel på transportanalyse.

Mobildekning langs jernbanenettet i Norge, vil også bidra til at områder langs jernbanen får mobildekning.

Det er ikke mobildekning langs hele jernbanen i dag, på grunn av at det er bedriftsøkonomisk ulønnsomt for mobiloperatørene. Med et samfunnsøkonomisk lønnsomt tiltak vil det offentlige bidra med midler for å oppnå mobildekning langs jernbanen. Det vil bidra til mobilabonnementer blir mer attraktive, og dermed høyere inntekter til operatørene.

Mobildekning langs jernbanen vil innebære flere mobilmaster som vil kunne være sjenerende for natur og kulturlandskapet.

7.6 Konklusjon og anbefaling fra samfunnsøkonomisk analyse

Med forbedring i mobildekningen vil de reisende få en mer effektiv bruk av reisetiden, og en lavere opplevd ombordtid.

TECH02 gir både lavest samfunnsøkonomisk netto nåverdi og lavest netto nåverdi per budsjettkrone (NNB), og fremstår som lite attraktivt.

TECH10 gir høyest samfunnsøkonomisk nytte. Konseptet oppnår den høye nytten ved utelukkende å bygge dekning der det er positiv nytte, og la dekningen være som i Referanse der nettonytten for tiltak er negativ. TECH10 er dermed det eneste alternativet der reisende over flere nabostasjoner kan oppleve Dårlig dekning på deler av reisen. Denne ulempen vil sannsynligvis oppleves sterkest blant reisende på region og fjerntog som reiser over flere nabostasjonsstrekninger, og som kan oppleve at dekningen varierer mye mellom stasjoner. Selv om TECH10 gir høyest samfunnsøkonomisk nytte, er det store usikkerheter knyttet til samfunnsnyttene for dette alternativet.

TECH04 gir nest høyest samfunnsøkonomisk netto nåverdi, men lavest netto nåverdi per budsjettkrone. I dette tiltaket vil alle togreisende i Norge oppleve god dekning.

TECH11 gir litt lavere netto nåverdi enn TECH04, men har nest høyest netto nåverdi per budsjettkrone. I dette tiltaket vil det bygges mobildekning på alle nabostasjonsstrekninger, men kapasiteten på dekningen vil avhenge av om Middels eller God dekning gir best samfunnsnytter. TECH11 har ikke like store usikkerheter knyttet til nytteberegningen som konsept TECH10. TECH 11 fremstår derfor som et bedre valg enn TECH10. Samtidig påfører TECH11 mindre ulemper for passasjerer enn TECH10. Det anbefales derfor at man går videre med TECH 11.

Både TECH04 og TECH11 fremstår som gode valg, som både er samfunnsøkonomisk lønnsomme og har mindre usikkerheter knyttet til seg.

TECH11 fremstår som mer samfunnsøkonomisk lønnsomt enn TECH04, ettersom TECH11 har en høyere netto nåverdi per budsjettkrone. Fra et samfunnsøkonomisk perspektiv fremstår derfor TECH11 som det beste valget. Men det er verdt å nevne at TECH04 gir en bedre mobildekning enn TECH11. Derfor kan TECH 04 være av interesse hvis man vektlegger togets konkurranseflater opp mot andre konkurrerende transportformer som bil og fly

8 Konseptvalg og anbefalinger

Fire konsepter er analysert, og alle viser en positiv netto nytte for samfunnet, sammenliknet med referansealternativet. Alle bidrar også til å nå målet om flere togreiser, som igjen fører til mer miljøvennlige reiser og utvidete bo- og arbeidsmarkedsregioner. Det anbefales derfor utbygging av mobildekning langs jernbanen.

Konsept TECH02, der ambisjonen er å tilby Middels god dekning langs hele jernbanenettet, gir en vesentlig lavere bruttonytte (33%) enn konseptet med nest dårligste bruttonytte (TECH10). Kostnadene er i tillegg marginalt høyere enn TECH10, som er billigste konsept. Mobildekningen langs jernbanen vil bli forbedret sammenliknet med referanse. Det er imidlertid usikkert om den vil bli så god at den vil bidra til å øke andelen togreiser vesentlig. Utbygging av Middels dekning vil gi en kapasitet på 1,25 Mbps eller bedre langs jernbanen. Det kan være tilstrekkelig for dagens behov og ambisjon på de strekningene det er få passasjerer per tog, men gir lite rom for vekst dersom andel togreiser øker mer enn forventet. En eventuell fremtidig oppgradering vil innebære store investeringer i flere basestasjoner og utskifting av repeateranlegg (eller tilsvarende) i tunnelene. Konseptet for utbygging av Middels god mobildekning over hele jernbanenettet anbefales derfor ikke.

Konsept TECH10 gir nest laveste bruttonytte. Konseptet har den laveste totalprosjektkostnaden slik at konseptet har den høyeste netto nytte⁵¹ per budsjettkrone (NNB). Konseptet oppnår dette ved å velge den mest samfunnsøkonomisk lønnsomme utbyggingen av mobildekning på hver enkelt strekning mellom to nabostasjoner. Der det ikke er lønnsomt gjøres ingen utbygging. Følgelig gir tiltakene som foreslås på hver enkelt prioritetsstrekning (Uendret, Middels eller God) aldri negativ samfunnsnytte. Konseptet anbefaler God dekning på viktige pendlerstrekninger (Prioritetsområde 2) inn mot de store byene. Dette kan gi større andel togreiser enn TECH02 vil oppnå i disse områdene, og bidra til utvidete bo- og arbeidsmarkeder. Mobildekningen forblir uendret på fjerntogstrekninger med få passasjerer. Det vil si at på mange strekninger vil mobildekningen forbli Dårlig. Konseptet vil dessuten føre til tunneler uten dekning – også på strekninger der Telia skal bygge God dekning utendørs. Kontinuerlig dekning over hele nettet forutsettes å være en nødvendig for å øke kundetilfredsheten. TECH10 vil ikke løse denne forutsetningen. Derfor anbefales ikke TECH10.

Konsept TECH11 gir den nest høyeste netto nytte per budsjettkrone. Konseptet oppnår dette ved at utbyggingen tilpasses den ambisjonen som gir best netto nytte per budsjettkrone på hver enkelt strekning mellom nabostasjoner. Forskjellen fra TECH10 er at TECH11 alltid foreslår en utbygging av Middels eller God dekning, selv om dette skulle gi negativ netto nytte per budsjettkrone for noen strekninger. Det fører til at nettonytten per budsjettkrone blir litt lavere enn for TECH10, men resultatet blir en mobildekning som er mindre fragmentert, og aldri Dårlig. TECH11 gir et betydelig løft i mobildekningen langs jernbanen. 235 av 331 strekninger får God dekning. Samtidig vil en del prioritetsstrekninger som Nordlandsbanen og Bergensbanen få en dekning som varierer mellom Middels og God. TECH11 er om lag 30 prosent rimeligere enn dyreste konsept (TECH04). Ved TECH 11 forblir en del strekninger på Middels dekning. På lengre sikt kan man forvente at behovet øker til God dekning også for disse strekningene. Dermed er ikke TECH11 like fremtidsrettet som TECH04.

Konsept TECH04, der ambisjonen er å tilby God dekning langs hele jernbanenettet, gir den høyeste bruttonytten av alle konseptene. Nyttien er om lag 15 prosent høyere enn TECH11, som har den nest høyeste bruttonytten. Samtidig er kostnadene også de høyeste, nær 4 mrd. NOK. Resultatet er et mobilnett der nesten samtlige strekninger får gjennomgående God mobildekning, med unntak av noen få strekninger der antall passasjerer allerede er så høyt i rushtiden at dette teknisk sett ikke er mulig å oppnå per i dag.

TECH04 løfter kvaliteten på mobildekningen langs jernbanen. På 310 av 331 strekninger vil det bli God dekning, slik at de reisende kan benytte alle typer digitale tjenester. Både TECH04 og TECH11 forventes å

⁵¹ Netto nytte = Brutto nytte minus totalprosjektkostnad

bidra til økt andel togreiser, og utvidete bo- og arbeidsmarkedsregioner. TECH04 vil gi bedre dekningen enn TECH11 på enkelte strekninger, og oppnår litt høyere vurdering på målet om økt andel togreiser.

I forbindelse med frekvensauksjonen for 700 MHz-båndet i 2019 besluttet norske myndigheter å investere i bedre mobildekning langs enkelte jernbanestrekninger. Dette ble gjort ved å gi store prisavslag på frekvenspakken som ble vunnet av Telia, mot at mobiloperatøren påtok seg ansvar for å bygge ut 5 Mbps mobildekning langs de utvalgte strekningene. Telias ansvar begrenser seg til frittlandsdekning. Tunneler inngår ikke i Telias forpliktelse. Dersom ikke tunneler på disse strekningene også utrustes med God dekning, blir ikke mobildekningen konsistent når de er ferdig utbygd. Ved å bygge God dekning i tunnelene oppnår samfunnet den fulle nytten av de investeringene som allerede er besluttet og iverksatt for disse strekningene.

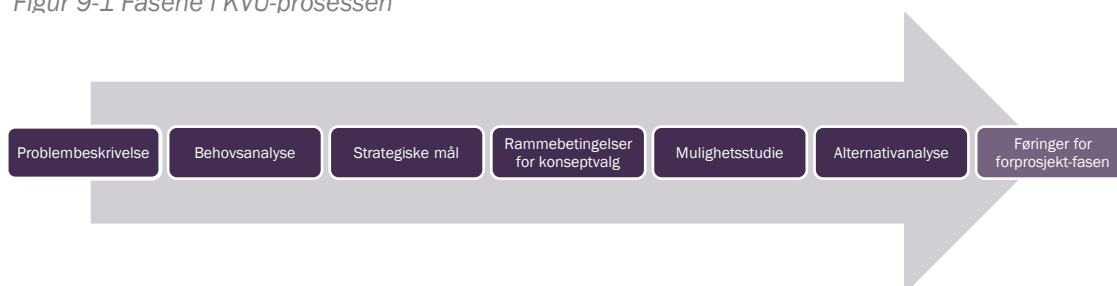
Tunneler utgjør 2/3 av totalprosjektkostnaden i konseptene. Kostnadene med både utbygging og oppgradering er høye som følge av dyrt utstyr og kostnadskrevede montering. Dersom kapasiteten i en tunnel underdimensjoneres, slik at den senere må oppgraderes blir det en høy kostnad for samfunnet. Det er derfor viktig å dimensjonere mobilkapasiteten i tunnelene for fremtidige behov. Det anbefales at alle norske jernbanetunneler bygges ut med God kapasitet, eller så tett opp til God som mulig.

Dersom samfunnsøkonomisk nytte skal vektlegges tyngst så er TECH11 bedre enn TECH04. TECH11 gir 15% lavere bruttonytte enn TECH04, men samtidig er kostnadene 30% lavere. En investering med ambisjon om å gi God dekning langs hele jernbanenettet, slik TECH04 gjør, gir den mest fremtidsrettede løsningen som lettest kan utvikles i takt med nye digitale tjenester. TECH04 gir et løft for fremtiden ved å bygge et mer finmasket nett av basestasjoner som åpner for bruk av høye frekvenser, og det bygges repeateranlegg i tunnelene som er robuste, vil tåle vekst i passasjerantallet og er godt egnet for nytt Nødnett. Dette er i tråd med den fjerde rammebetingelsen for utredningen («Konseptene bør være fremtidsrettede og kunne utvikles i takt med nye digitale tjenester»), som altså ikke er en absolutt betingelse. Basert på helhetsvurdering hvor kombinasjonen av samfunnsøkonomisk nytte og de kvalitative faktorene belyst i kapittel 6 legges til grunn anbefales det å gå videre med TECH04.

9 Føringer for forprosjekt

Utredningen er eksplisitt bedt om å vurdere forretnings- og finansieringsmodeller for en utbygging av bedre mobildekning langs jernbanen. Disse temaene drøftes i kapittel 9.3-9.5. Videre har det gjennom arbeidet med utredningen fremkommet momenter som bør tas med i videre arbeid med prosjektet. Dette gjelder særlig grensesnitt til andre prosjekter, risikoreduerende tiltak og eierskap til prosjektet og belyses i dette kapittelet.

Figur 9-1 Fasene i KVVU-prosessen



9.1 Grensesnitt mot andre prosjekter

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) er eier av nasjonens nødnett-kommunikasjon (TETRA). DSB arbeider med utredning av neste generasjon nødnett. Utredningen er bestilt av Kommunal- og moderniseringsdepartementet (KMD). Dagens avtale om drift og vedlikehold av Nødnett varer ut 2026. Dette gjør det nødvendig å vurdere hvordan behovet som Nødnett dekker i dag, skal tilfredsstilles også etter 2026. Nødnettbrukerne har et økende behov for å utveksle data i form av tekst, bilder, video, osv. For slik kommunikasjon anvender brukerne i dag de kommersielle mobilnettene, siden TETRA-teknologien i Nødnett egner seg for overføring av kun mindre datamengder. Hittil har det ikke vært teknisk mulig å benytte mobilnettene for effektiv gruppekommunikasjon med tale, slik Nødnett tilbyr, men dette er nå standardisert i 5G-teknologien og vil bli teknisk mulig i nær fremtid. Basert på dette vil neste generasjon nødnett baseres på mobiloperatørenes kommersielle nett som transmisjonsbærer. For at nødnetten skal ha tilgang til nødnett langs jernbanen må det være kommersiell mobildekning på strekningen. Derfor er det en avhengighet mellom dekningskrav i nytt nødnett bedre nettdekning langs jernbanen.

Europa forbereder neste generasjon kommunikasjonssystem (FRMCS) for togradio og ERTMS. FRMCS skal på sikt erstatte eksisterende GSM-R. Systemstandarden er fortsatt under utvikling og ventes fastlagt i 2021/22. For å ivareta interoperabilitetskravet vil EU foreskrive tidsrom for overgang fra GSM-R til FRMCS. Per i dag foreligger ingen informasjon om dette overgangsvinduet. Det er en viss mulighet for at FRMCS kan benytte kommersielt mobilnett på linje med nytt nødnett, noe som kan gi besparelser for jernbanesektoren. Det er derfor vesentlig å følge denne utviklingens muligheter inn i neste prosjektfase.

Norske tog AS har fått i oppdrag å utstyre utvalgte tog med nye mobilforsterkere. Dette prosjektet pågår. Det er nødvendig at de kommende prosjektfasene følger med på dette prosjektet og sørger for samordning med tanke på optimal utnyttelse av tilgjengelige frekvensspektre, slik at de reisende får et best mulig utbytte av mobildekningen langs jernbanen.

Bane NOR har ansvar for å gjennomføre en stor portefølje av både investerings- og fornyelsesprosjekter. Investeringsporteføljen initieres og følges opp av Jernbanedirektoratet. Bane NOR forvalter selv fornyelsesporteføljen. I begge porteføljegrupper vil det være prosjekter som involverer tiltak i tunneler. Bedre nettdekning vil kunne ha en mulighet for en forholdsvis stor oppside og risikoreduksjon ved å kartlegge grensesnitt for planlagte tunneltiltak og avklare i detalj mulighet for å samordne utbygging av mobildekning i tunneler med Bane NOR.

9.2 Risikoreducerende tiltak

Prosessleder for Usikkerhetsanalysen peker særlig på to risikoreducerende tiltak for prosjektet. For det første bør det jobbes videre med finansieringsplanen som skal sikre forutsigbar finansiering fra både offentlig og privat sektor. Hvis man ikke lykkes med dette kan det gi usikkerhet i prioritering og gjennomføring. For det andre anbefaler prosessleder en gradvis etablering av nettdækning, både tidsmessig, geografisk og kapasitetsmessig.

Metoden for å beregne nytten av bedre mobildekning er lite utprøvd og hviler på et begrenset datagrunnlag. Det anbefales at et større og mer representativt datagrunnlag blir samlet inn og at faktorene for beregning av nytte blir re-estimert.

Mobildekning langs jernbanen er et svært samfunnsnyttig prosjekt som vil gi store positive virkninger for samfunnet hvert eneste år. En av de største risikoene i dette prosjektet er at det ikke realiseres fort nok. For hvert år dette prosjektet utsettes eller forsinkes av ulike årsaker, så taper samfunnet over en milliard kroner. Det utgjør 30-40% av den totale prosjektkostnaden. En handlekraftig prosjekteier og prosjektorganisasjon som evner å holde høy fremdrift, gjøre riktige prioriteringer og sikre godt samarbeid mellom offentlig og privat sektor er avgjørende for å realisere den potensielle nytten i dette prosjektet.

9.3 Fordeling mellom offentlige og private investeringer

Denne konseptvalgutredningen skiller seg fra andre, ved at det ikke er opplagt at det offentlige skal ta alle kostnadene til investering og drift av prosjektet. I oppdragsbrevet fra Samferdselsdepartementet er dette formulert slik:

Denne KVUen og spørsmålet som tas opp skiller seg også fra ordinære statlige investeringsprosjekter i det at det ikke er opplagt at det er det offentlige som skal stå for hele tiltaket og at samhandling og ansvarsdeling med de kommersielle aktørene er relevant.

Utredningen har definert et sett med rammebetingelser for den løsningen som anbefales, gjengitt i boksen til høyre. Rammebetingelse 1 og 3 knytter seg til forhold som ikke er teknisk relatert. Ingen av konseptene i alternativanalysen ble vurdert å ha noen spesielle fortrinn eller ulemper knyttet til disse ikke-tekniske rammebetingelsene. Anbefalingene i dette kapitlet kunne vært anvendt på alle konseptene i alternativanalysen.

De to rammebetingelsene er absolutte og stiller krav om at den anbefalte løsningen ikke bryter med EØS-regelverk for ulovlig statsstøtte, og at den bygger på bedriftsøkonomiske vilkår som sikrer nødvendig involvering fra private mobiloperatører.

EØS-regelverket om statsstøtte har som hovedhensikt å sikre konkurranse og likebehandling av aktører i et marked. Mobilmarkedet er et marked der de norske myndighetene ønsker 3-4 aktører som konkurrerer om å tilby mobiltjenester til befolkning og næringsliv (Kommunal og

moderniseringsdepartementet, 2016). Per i dag er det tre aktører i markedet der Telenor er utpekt som en aktør med sterk markedsposisjon (SMP), Telia er nest største aktør med en solid markedsandel, og ICE er i en utfordrerposisjon. Det er viktig at utbygging av mobildekning langs jernbanen likebehandler de tre aktørene, og avstår fra virkemidler som kan anses som ulovlig statsstøtte til en eller flere aktører.

I verkstedet 27.03.2019 kom det forslag der det offentlige tar et aktivt eierskap til et mobilnett langs jernbanen. Nedenfor drøftes ulike alternativer for offentlig engasjement. Det anbefales en løsning basert på at en eller flere private aktører tar ansvar for utbygging og eier mobilnettet langs jernbanen – med finansieringsstøtte fra det offentlige. En deling av kostnader mellom private og det offentlige er i tråd med oppdragsbrevet fra Samferdselsdepartementet. Myndighetene har ingen myndighet til å instruere private

Rammebetingelser

Absolutte

- 1 Konseptene må være i tråd med EØS regelverk for statsstøtte
- 2 Der det bygges skal det minimum bygges middels god dekning (iht. TØIs definisjon) på hele strekninger mellom to nabostasjoner
- 3 Konseptene må sørge for bedriftsøkonomisk attraktivitet for minst én av mobiloperatørene langs hver strekning der styrket mobildekningen anbefales.

Mindre forpliktende / Konseptegenskaper

- 4 Konseptene bør være fremtidsrettede og kunne utvikles i takt med relevante digitale tjenester

aktører til å bygge mobildekning. Det er derfor kritisk at de private aktørene blir presentert for bedriftsøkonomisk interessante investeringscase

Nedenfor følger en drøfting av ulike finansieringsmodeller og en anbefalt løsning. Drøftingen gjelder mobildekning generelt, men merk at det vil være noen særskilte momenter for tunneler.

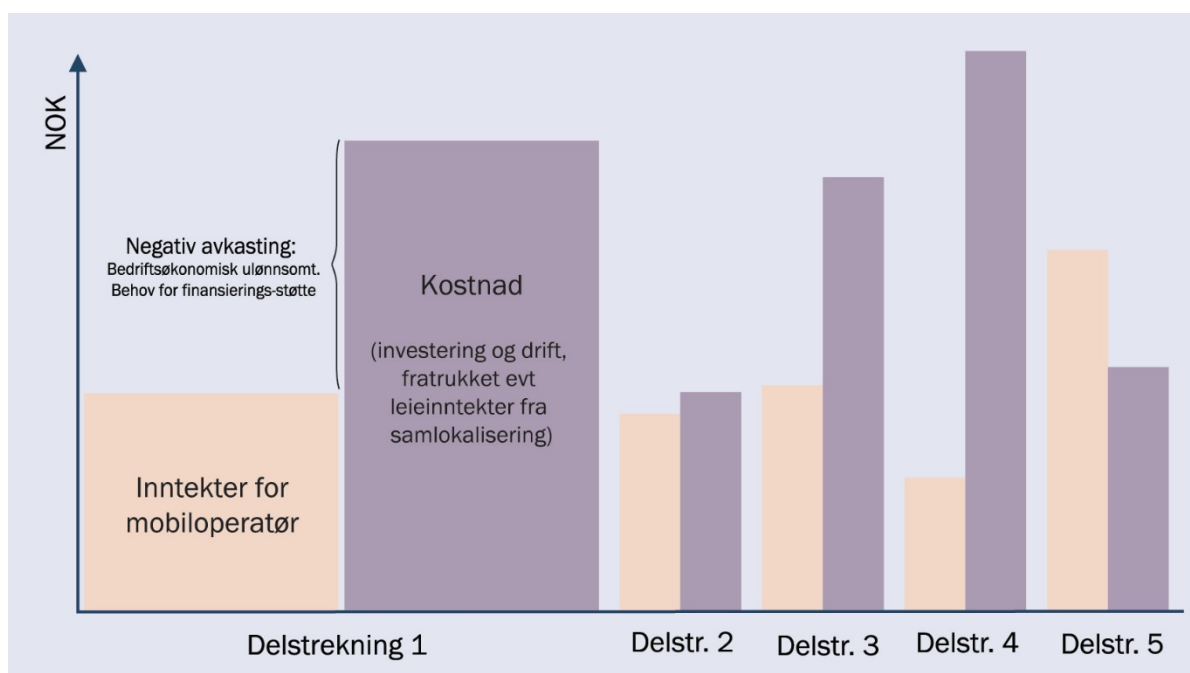
9.3.1 Bedriftsøkonomisk investeringsperspektiv

I utgangspunktet er det opp til privat sektor å bygge ut dekning i Norge. Problembeskrivelsen i kapittel 2 redegjør for hvorfor en slik utbygging ikke har skjedd langs deler av jernbanenettet. Gjenstående investeringer for å oppnå full frittlandsdekning langs hele jernbanenettet har ikke vært lønnsomme for mobiloperatørene. Mobiloperatørene ville hatt noen positive effekter av å bygge ut langs jernbanespor, slik som økte inntekter fra mobilbrukere og styrket markedsposisjon. Investeringene er likevel ikke lønnsomme på strekningene som står uten dekning, fordi de positive bedriftsøkonomiske effektene er mindre enn kostnadene. Finansieringsstøtte fra det offentlige er nødvendig for å skape bedre balanse mellom inntjening og kostnader i investeringene.

Investeringsviljen blant mobiloperatørene stimuleres heller ikke når situasjonen er slik at de fleste jernbanetunnelene heller ikke har tilstrekkelig nettdækning for de reisende. Alle tunneler har dekning for jernbanens eget togradsystem (GSM-R). Videre har de fleste tunneler med en lengde over 1000 meter nødnettdekning (TETRA). Disse er kun i begrenset grad designet for å tilby mobiloperatørene løsning som gir tilstrekkelig kapasitet. Kostnaden for å etablere dekning i jernbanetunneler per meter jernbanespor er betydelig høyere enn for frittlandsdekning. Det er særskilt montasje av strålekabler i tunnelhvelvingen som er kostnadsdrivende. Idet strålekabelanlegg og teknisk rom med tilstrekkelig strømforsyning og fibertransmisjon er på plass, legges det til rette for at alle eiere av mobilnett – både private og offentlige - kan etablere dekning for sine nett i jernbanetunneler. Tilgangen til en slik løsning avtales reguleres mellom mobilnetteeier og Bane NOR både med tanke på kostnad og tjenesteleveranse.

Både kostnader og positive effekter varierer også med geografisk plassering og togstrekning. Balansen mellom kostnader og positive effekter er trolig verre på Hardangervidda der det er få brukere og høye kostnader, enn for eksempel lenger ned i Hallingdal, hvor det blant annet er enklere tilgang til strøm. Behovet for finansieringsstøtte fra det offentlige varierer følgelig fra strekning til strekning og område til område.

Figur 9-2. Mobiloperatørenes Investeringer langs jernbanen



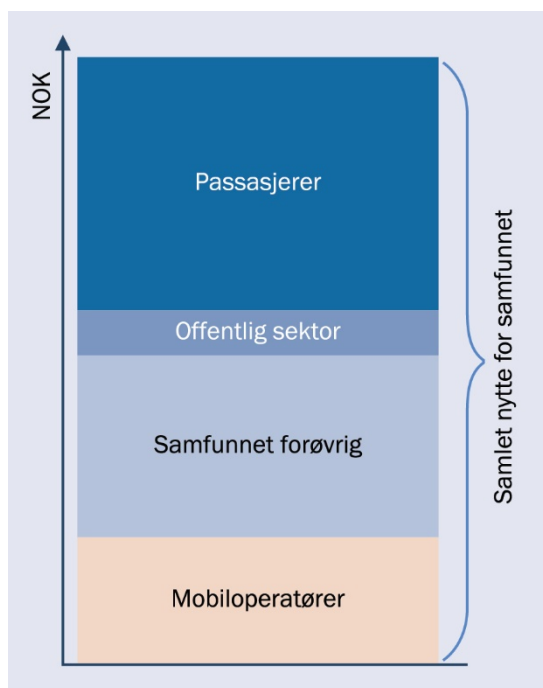
Figuren illustrerer ubalansen mellom kostnader og inntekter⁵² som forklarer hvorfor de private mobiloperatørene ikke finner det lønnsomt å etablere dekning på delstrekninger. Graden av ubalanse vil variere fra strekning til strekning. I dette tilfellet er det bare Delstrekning 5 som representerer en lønnsom investering. Delstrekning 2 kan bli en lønnsom investering med et lite finansieringsstøtte, mens det trengs større finansieringsstøtte til Delstrekning 3 og 4

9.3.2 Samfunnsøkonomisk investeringsperspektiv

Analysen av konseptene har vist at nytten for samfunnet er høyere enn kostnaden ved å bygge ut mobildekning langs jernbanesporet. Derfor anbefaler denne utredningen at det offentlige prioriterer midler til formålet.

Utredningen har først og fremst verdsatt nytten ved at de reisende med tog kan utnytte reisetiden mer effektivt. Det er også sannsynliggjort at mulighet for bedre utnyttelse av reisetiden vil øke konkurransekraften til toget, og bidra til at bilreiser og flyreiser erstattes med togreiser. Færre bil- og flyreiser kommer hele samfunnet til gode i form av reduserte CO2-utslipp. Færre bilreiser reduserer i tillegg samfunnets ulykkeskostnader. Dette kommer i tillegg til nytten av utvidete bo- og arbeidsmarkedsregioner.

Figur 9-3. Direkte nytte av bedre mobildekning langs jernbanen



Nytten av mer effektiv utnyttelse av reisetiden har både direkte og indirekte effekter, som fordeler seg på flere aktører. Den generelle produktiviteten i samfunnet økes, om enn kanskje marginalt. Økt produktivitet er positivt for alle, men kanskje særlig næringslivet. Effektiv reise med tog for pendlere utvider arbeidsmarkedsregionene, og kommer både kommuner, næringsliv og andre til gode. Det offentlige får nytte av bedre mobildekning, blant annet ved at nødetatene får god dekning langs jernbanen⁵³.

Den mest direkte effekten er for den enkelt reisende som opplever reisetiden på toget som mindre belastende når det er god dekning. For å realisere dette benytter den togreisende mer data på sitt mobilabonnement og øker sin andel togreiser. Noe av nytten som tilkommer den enkelte passasjer, overføres følgelig til mobiloperatørene og togoperatørene. Togoperatørene vil få økte inntekter. De får også økte kostnader til kjøp av datakvoter fra mobiloperatørene som de bruker til å tilby wifi til passasjerene. På lengre sikt kan nytten togoperatørene opplever ved bedre dekning langs sporene komme samfunnet til gode ved at det offentlige betaler mindre til togoperatørene for

togtjenester.

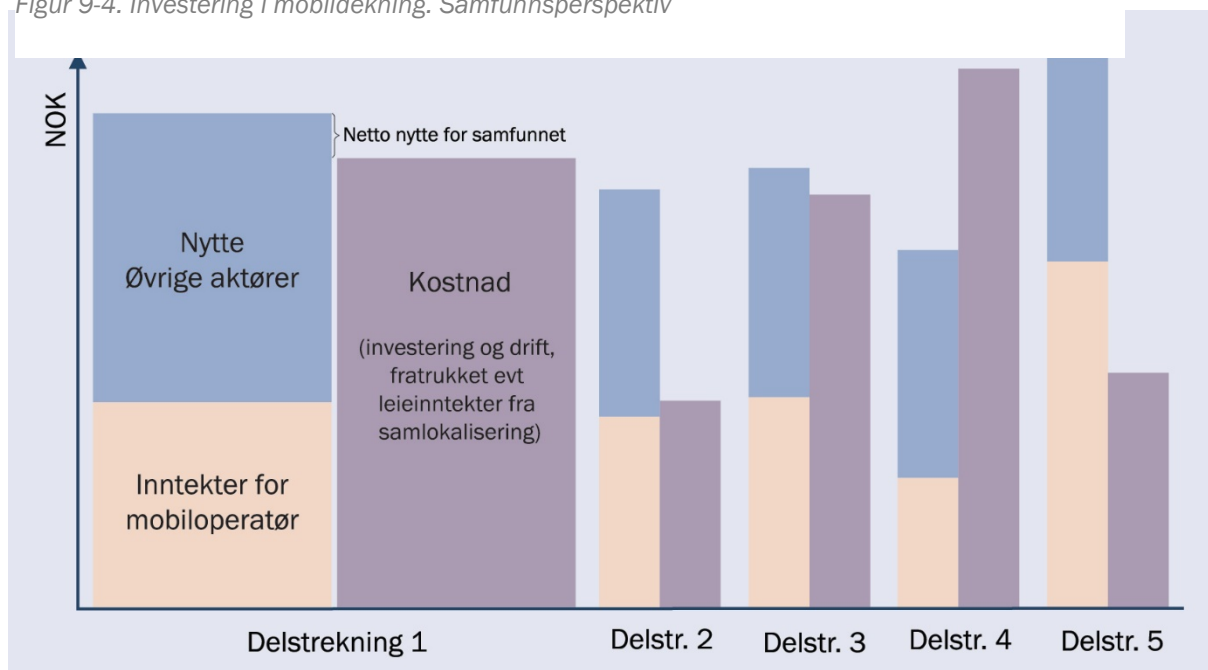
Mobiloperatørene mottar en økt inntekt fra togpassasjerer som følge av bedre mobildekning langs jernbanen. Her er det ingen mekanismer (utover det vanlige skatteregimet) som kanalisere denne nytten tilbake til samfunnet. Det skilles derfor mellom nytte som tilkommer mobiloperatørene gjennom økt salg av mobiltjenester, og nytte for øvrige aktører.

⁵² Kan omfatte mer enn inntekter, slik som positivt omdømme og økt markedsandel

⁵³ Det legges til grunn at Nødnettet vil benytte kommersielle nett i fremtiden.

Ved å inkludere den samlede nytten for samfunnet ved å bygge ut mobildekning langs jernbanen, på toppen av den nytten mobiloperatørene selv har, vil flere av investeringene kunne se annerledes ut fra et samfunnsperspektiv.

Figur 9-4. Investering i mobildekning. Samfunnspektiv



Ved å inkludere nytten for øvrige aktører i samfunnet på toppen av inntektene for mobiloperatørene vil mange investeringer ha en samlet positiv netto nytte. I slike tilfeller kan det offentlige bidra med finansiering slik at netto samfunnsnyttige investeringer blir gjennomført. I det illustrerte tilfellet i figur 9-4 er det bare Delstrekning 4 som ikke bør realiseres ut ifra et samfunnsøkonomisk perspektiv.

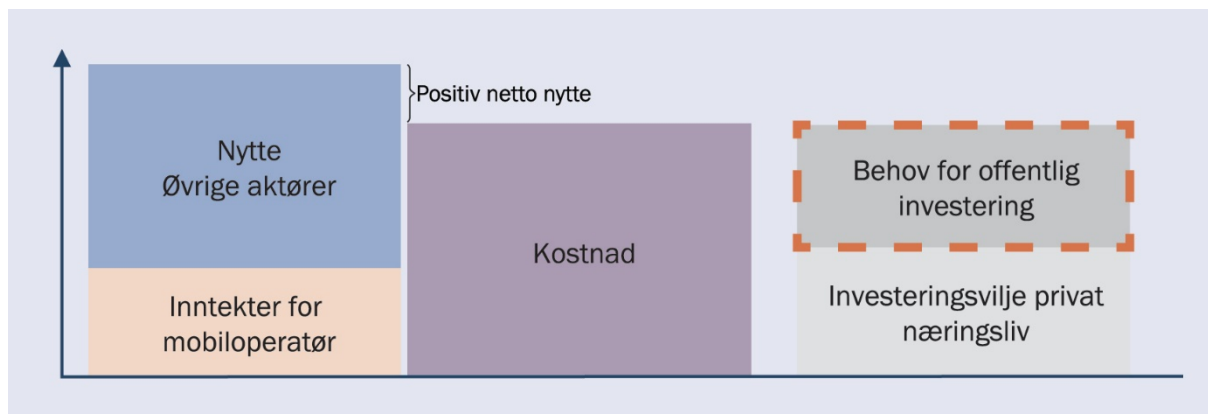
9.3.3 Offentlig finansiering

Den utløsende faktoren er at den samlede nytten for samfunnet overstiger kostnaden ved investeringen, og tiltaket har en positiv netto nytte. Samtidig er investeringen bedriftsøkonomisk ulønnsom, siden kostnadene overstiger investeringsviljen til privat næringsliv⁵⁴. Det må finansieringsstøtte på plass for å få gjennomført det samfunnsøkonomisk lønnsomme tiltaket.

Å anslå størrelsen på det offentlige finansieringsstilskuddet er krevende. For det første er det usikkerheter både på nyttesiden og kostnadssiden av prosjektet. For det andre – og mer viktig – er det en situasjon med asymmetrisk informasjon.

⁵⁴ Det legges til grunn at aktørene i privat næringsliv er rasjonelle og gjennomfører investeringer som er bedriftsøkonomisk lønnsomme.

Figur 9-5. Størrelsen på offentlig investering



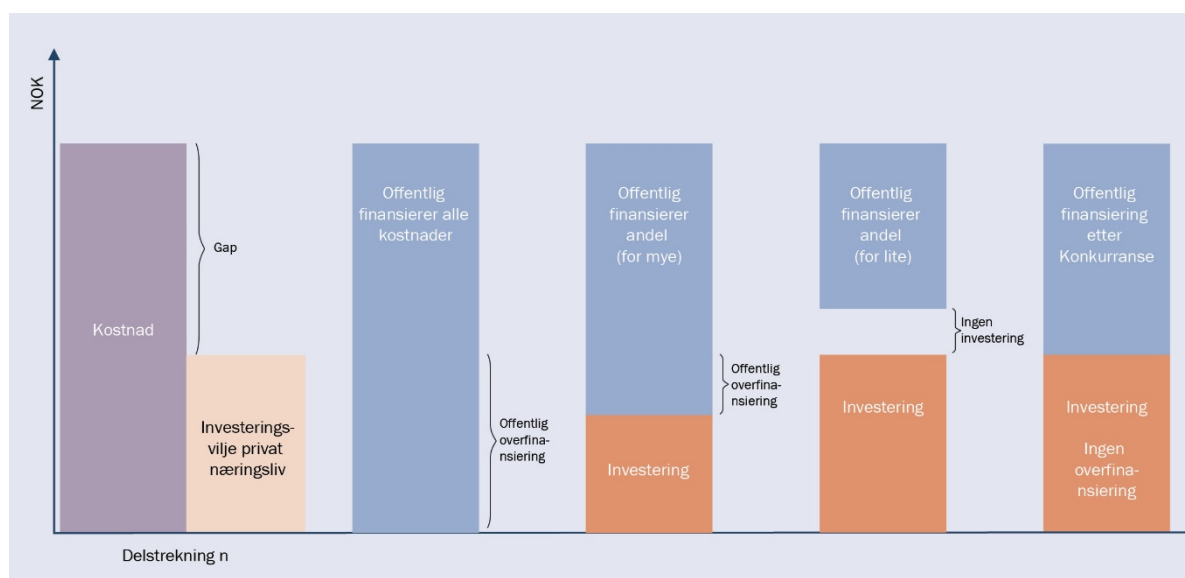
Det offentlige har ikke full kjennskap til investeringsviljen til privat næringsliv. De private aktørene er rasjonelle og vil ønske en så stor offentlig finansieringsstøtte som mulig. Hvis finansieringsstøtten er for liten, vil de ikke påta seg å gjennomføre tiltaket. Hvor mye skal det offentlige bidra med?

Tre modeller for offentlig finansiering er vurdert:

1. Det offentlige betaler alt
2. Det offentlige betaler en bestemt andel
3. Det offentlige finansierer den mobiloperatøren som i en offentlig anskaffelse (konkurranse) tilbyr seg å bygge ut dekning til lavest finansieringsbeløp

Figuren nedenfor illustrerer ulike modeller for finansiering. Delstrekning n har en kostnad som overstiger investeringsviljen til det private næringslivet. Det er behov for offentlig finansieringsstøtte for å realisere en utbygging langs delstrekningen.

Figur 9-6. Finansieringsmodeller



Hvis det offentlige bestemmer seg for dekke alle kostnader med utbyggingen, vil det høyst sannsynlig føre til at mobildekningen faktisk blir bygget. Imidlertid ville det offentlige betalt mer for dette enn hva som var nødvendig, fordi privat investeringsvilje ikke utnyttes.

Dersom det offentlige velger å finansiere en andel av de antatte kostnadene, kan det ha to utfall. Det offentlige vet ikke eksakt hvor mye finansiering som kreves for at investering i mobildekning skal realiseres. Sannsynligheten for at det offentlige skal treffe presist er svært liten. Utfallet vil være at det offentlige investerer mer enn nødvendig, eller at det ikke skjer noen investering fordi finansieringstilskuddet fra det offentlige var for lavt.

En konkurranse, i form av en offentlig anskaffelse, vil avdekke hvor mye offentlig finansiering som er nødvendig for å realisere en investering. Det vil også være den minste finansieringen som noen privat aktør er villig til å ta imot, for å bygge ut dekning.

Modell 1 og 2 møter dessuten utfordringer med statsstøttereglene. Det er begrensede muligheter for offentlig finansiering til private aktører, uten at en konkurranse ligger til grunn for tildelingen.

9.3.4 Anbefaling: Privat investering - Offentlig finansieringsstøtte

- Utredningen legger til grunn at det finnes private aktører med en viss investeringsvilje for å bygge ut mobildekning langs jernbanesporet. De høye investerings- og driftskostnadene fører imidlertid til at investeringen ikke blir lønnsom – og dermed ikke realisert.
- Ved å utnytte denne investeringsviljen kan behovet for offentlig investering begrenses. Det anbefales derfor at det offentlige anskaffer mobildekning gjennom en eller flere konkurranser der vinneren er den private aktøren som tilbyr seg å bygge mobildekning for det minste offentlige finansieringsbidraget.

9.4 Eierskap til infrastruktur

9.4.1 Samlokaliseringsregimet

En vesentlig forutsetning for å drøfte eierskap til infrastruktur som basestasjoner og repeateranlegg i mobilnettet er samlokalisering. Per i dag eksisterer en utstrakt bruk av samlokalisering på basestasjoner. Samlokalisering vil si at eieren av en basestasjon leier ut plass til andre aktører, inklusive konkurrerende virksomheter. Aktørene er prinsipielt positive til samlokalisering, fordi de totalt sett sparer kostnader for bransjen. Hver aktør slipper å etablere egne siter, i umiddelbar nærheten av en eksisterende site. Det reduserer også terskelen for nye aktører til å etablere sitt eget nett.

Nkom har pålagt Telenor (SMP⁵⁵) å tilby samlokalisering, og krever at prisene for leie skal være kostnadsorienterte⁵⁶. Telia og Bane NOR tilbyr også samlokalisering, til egne priser.

I prinsippet må en aktør som ønsker å leie seg inn på en annen aktørs basestasjon, betale en fast etableringskostnad og deretter en fast leie per måned eller pr år. Både etableringskostnad og leie er angitt i prislistene med faste satser oppgitt i NOK. Prisene avhenger av arealer og volumer på utstyret som skal innplasseres. I tillegg kommer også et anleggsbidrag til eier dersom basestasjonsinfrastrukturen må oppgraderes f.eks. med strøm, fiber, sekundærstrøm, hytte, mast eller liknende. Anleggsbidraget tilsvarer

⁵⁵ SMP: Significant Market Position

⁵⁶ Telenors vilkår for samlokalisering «Telelosji» er tilgjengelig på Telenor Infrac hjemmesider: <https://www.telenorinfra.no/produkter/telelosji/>

som regel hele kostnaden ved oppgraderingen, og betales av den nye leietakeren. Dette anleggsbidraget kan bli betydelig hvis det er mye som må oppgraderes.

9.4.2 Tunneler

Dekning i tunnel avviker noe fra frittlandsdekning. Mobildekning i tunnel kan bygges ut ved å installere repeateranlegg med en eller flere strålekabler fastmontert i taket/veggen i hele tunnelens lengde. Dette er svært kostbart. Andre tekniske løsninger kan også implementeres, dersom nye og mer effektive løsningsmetoder blir tilgjengelig i fremtiden. Anlegget kan eies av en annen aktør enn tunnelleieren. Dette er for eksempel tilfellet med repeateranleggene i T-banens tunneler i Oslo, der en mobiloperatør eier repeateranlegget. En del av denne løsningen er at Sporveien kan overta eierskapet til anlegget etter en avtalt tid. Grunnen til at mobilnettoperatør satset på en investering i det å etablere dekning i T-banens nett var kundepotensialet i det antall reisende som benytter T-banen i Oslo.

Det er flere fordeler med å samle eierskapet av tunnelen og repeateranlegget på hånden til én eier, altså Bane NOR. Arbeider på repeateranlegget krever sportilgang og må derved koordineres tett med eier av tunnelen slik at mest mulig arbeid i tunnelen kan utføres koordinert og effektivt i en sportilgangsperiode hvor tunnelen er stengt for ordinær trafikk.

Montering av repeateranlegg i de fleste tog tunnelene er kostbart. En effektiv montering av strålekabler er vesentlig og vil kreve at monteringen automatiseres, eller i det minste industrialiseres med spesialtilpassede arbeidsvogner etc. Entreprenørbransjen vil neppe satse på å bygge opp spesialtilpassede arbeidsvogner om det ikke er forutsigbarhet i satsingen på å bygge repeateranlegg i større skala. Hvis den tekniske løsningen blir basert på strålekabler og repeaterer anbefales det at Bane NOR anskaffer hensiktsmessig verktøy for utbyggingen og stiller det til rådighet for entreprenørbransjen. Imidlertid kan framskaffelse av effektiv montasjeutrustning være et konkurransefortrinn for entreprenørene i en anbudsutlysning. Forutsatt systematisk og forutsigbar satsing på bedre mobildekning langs jernbanen, så anbefales det å overlate montasjeverktøyutviklingen til entreprenørbransjen.

Ved utbygging av nettdekning i tunneler, skal Bane NOR legge til rette for at tre mobiloperatører kan koble seg til anlegget. Med dette menes at det må være et teknisk rom eller en hytte nær tunnelen der mobiloperatørene kan innplassere sitt aktive utstyr og koble seg til anlegget. Leie for plass i teknisk rom/hytte kommer i tillegg til leie av anlegget. Alternativt må Bane NOR legge til rette for at en privat aktør kan etablere teknisk rom/hytte, der mobiloperatøren(e) kan koble seg til tunnelanlegget.

Videre må det utarbeides godt organiserte utrullingsplaner som sikrer god utnyttelse av ledig tid i tunneler, og koordinert utbygging av dekning i tunneler og frittland på strekningene. Denne utredningen konkluderer med at Bane NOR har de beste forutsetningene for å kunne anskaffe repeateranlegg til tog tunnelene og sørge for at disse blir montert kostnadseffektivt.

Det anbefales at Bane NOR skal anskaffe, bygge og eie anlegg for nettdekning i norske jernbanetunneler. Videre anbefales at Bane NOR får finansiering til dette gjennom avtale med Jernbanedirektoratet. Mobiloperatører som ønsker å tilby dekning til sine kunder i jernbanetunneler, må koble seg til Bane NORs repeateranlegg og betale en årlig avtalt leie for bruk av dette. Leien bør være forutsigbar for leietaker uavhengig av antall leietakere. Videre bør leien settes slik at det også gir bedriftsøkonomiske insentiver til leie seg inn – innenfor rammen EUs regelverk for statsstøtte. Jernbanedirektoratets bestilling av dekning i tunneler til Bane NOR forutsettes å være tids- og strekningsmessig koordinert med utbygging av frittlandsdekningen.

9.4.3 Frittlandsdekning

Dekning langs sporet utenfor tunnelene, frittlandsdekning, avhenger av et nettverk av basestasjoner. På disse innplasserer mobiloperatører det aktive utstyret (radio, antenner mm) som trengs for å etablere en basestasjon i nettet sitt. Toget må være innenfor dekningsområdet av minst en basestasjon for å ha mobildekning. Avstanden mellom basestasjonene avhenger av hvilke frekvenser som brukes. Bruker man

lave frekvenser (700⁵⁷-900 MHz), kan det være større avstand mellom sitene. Brukes høye frekvenser (1800+ MHz) må avstanden være kortere – om lag det halve. Lave frekvenser tilbyr begrenset kapasitet, og på mange togstrekninger vil det ikke være tilstrekkelig for å tilby god mobildekning for passasjerene. På disse togstrekningene må det planlegges med bruk av høye frekvenser, og følgelig med tettere avstand mellom basestasjonene.

Bane NOR, ICE, Telenor og Telia har et stort nett av basestasjoner. De tre kommersielle mobiloperatørene har imidlertid tyngden av sine basestasjoner nær befolkningsrike områder og i begrenset grad langs jernbanen. Bane NOR har plassert sine basestasjoner for GSM-R der de gir god dekning langs jernbanen. GSM-R benytter lave frekvenser og har begrenset kapasitetsbehov. Følgelig ligger Bane NOR sine basestasjoner med avstand tilpasset lave frekvenser, og mange av basestasjonene har begrenset plass i mast, begrenset plass i teknisk rom/hytte, begrenset strømforsyning og mangel på transmisjonsmulighet via fiberkabel⁵⁸.

Det anbefalte konseptet skal gi god dekning og må basere seg på bruk av både lave og høye frekvenser. Det er beregnet kostnader til å oppgradere alle relevante basestasjoner som eies av Bane NOR. Relevante basestasjoner som eies av mobiloperatørene er beregnet å trenge noe mindre oppgraderinger. I tillegg er det lagt til grunn at det må etableres ca 90 helt nye basestasjoner⁵⁹. Det er følgelig relevant å vurdere hvem som bør eie de nye basestasjonene, og om Bane NOR er beste eier på deres eksisterende siter. Utredningen har ikke gjennomført nettplanlegging for nøyaktig angivelse av basestasjonsplasseringer og -antall. Forprosjektet må sette av tid til nettplanlegging for hver enkelt strekning for å øke presisjonen på planlegging og kostnadsanslag.

Eksisterende basestasjoner

En rekke eksisterende basestasjoner vil være relevante å bruke når dekning skal bygges ut langs jernbanen. Disse eies både av mobiloperatørene, andre private aktører og det offentlige. Blant de offentlige er Bane NOR den klart største aktøren i denne sammenhengen.

Det kan være mange forhold som gjør at eksisterende eier, i kraft av sin kjennskap til basestasjonen, er den beste eieren. Bane NOR kan for eksempel ha særskilte avtaler med grunneiere, som ikke uten videre lar seg overføres til andre parter, eller basestasjonen er plassert på et område der adgang kontrolleres/eies av Bane NOR etc. Omvendt er det også slik at mobiloperatørene har effektive ferdsestillatelser til sine basestasjoner som Bane NOR ikke har tilgang til. Slike individuelle avtaler kan være vanskelige å få endret. Videre vil en overdragelsesforretning utløse transaksjonskostnader som må forsvares. På generelt grunnlag er det vanskelig å peke på grunner til at eksisterende eierskap bør endres, uansett hvem som er eksisterende eier.

Det anbefales derfor at eksisterende eierskap beholdes, under forutsetning om at det legges til rette for samlokaliseringsordninger til akseptable kostnader. Dersom overdragelse av eierskap i spesielle tilfeller skulle være hensiktsmessig avklares det mellom aktuelle parter i senere prosjektfase.

Eierskap til nye basestasjoner

De nye basestasjonene vil i all hovedsak være knyttet til å levere høy kapasitet i de kommersielle mobilnettene langs jernbanen. Bane NOR vil ha en begrenset interesse for de nye sitene, ettersom GSM-R forventes å forbli på de lave frekvensene og dermed de eksisterende basestasjonene, også i fremtiden.

I verkstedet som ble avholdt 27. mars, 2019 var det flere innspill hva angår eierskap av den delte infrastrukturen – primært basestasjonene. Det offentlige vil måtte finansiere en betydelig del av kostnadene knyttet til å bygge de nye basestasjonene langs jernbanen. Bør det offentlige derfor også eie?

⁵⁷ Mobilforsterkere på togene håndterer normalt ikke 700 MHz-båndet, kun 800 MHz og 900 MHz

⁵⁸ Bane NOR bruker ofte RadioLink fremfor fiberkommunikasjon, der fiber er vanskelig tilgjengelig.

⁵⁹ Anslaget er innhentet fra mobiloperatørene. Merk at anslaget er basert på overordnede vurderinger, og ikke detaljert nettplanlegging.

Argumenter for offentlig eierskap kan blant annet være likebehandling av alle private aktører, at reguleringsprosesser går enklere for en offentlig aktør og sikre offentlig eierskap til en stor offentlig investering.

Et velfungerende samlokaliseringsregime løser langt på vei problematikken med likebehandling. Dersom en privat aktør eier en basestasjon, vil aktøren likevel slippe til konkurrentene. Det offentlige kan i tillegg stille krav om at de nye basestasjonene skal dimensjoneres romslig, slik at behovet for tilpasninger/utvidelser og anleggsbidrag minimeres. En slik forhåndsklargjøring av basestasjonsinfrastrukturen, reduserer også tiden det bør ta fra forespørsel om samlokalisering skjer til innflytting⁶⁰.

Møter med Bane NOR og mobiloperatørene avdekker ikke at Bane NOR får vesentlig lettere gjennomslag i reguleringssaker enn de private aktørene. Samtalene viste imidlertid at mobiloperatørene i noen tilfeller har bedre vilkår enn Bane NOR, for eksempel hos nettselskapene som trekker strøm frem til basestasjonen.

Den delte infrastrukturen skal også driftes, vedlikeholdes og administreres. Kostnader til drift og vedlikehold kommer i tillegg til investeringskostnaden. Eier av basestasjon sitter med ansvaret for drift og vedlikehold i hele levetiden, som forutsetter både ressurser og kompetanse hos eier. Finansieringsstøtte til utbyggingen medfører ikke at det offentlige også bør påta seg langvarige drift og vedlikeholdsforpliktelser for denne delte infrastrukturen, som primært vil bli brukt av de kommersielle mobiloperatørene. Det anbefales ikke at det offentlige skal bruke tid og ressurser på å administrere, drifte og vedlikeholde infrastruktur som primært benyttes av private aktører.

Nkom anfører et viktig argument som bør tas hensyn til: Det vil være uheldig dersom én av de private aktørene sikrer seg et varig konkurransefortrinn langs en jernbanestrekning gjennom eierskap til en stor mengde basestasjoner finansiert med offentlig støtte. Det offentlige bør opprettholde konkurransen i markedet slik at det blir reell konkurranse når kontrakter skal fornyes. Videreføring og styrking av samlokaliseringsmekanismene kan være tilstrekkelig til å forhindre dette. En annen tilnærming kunne vært å legge inn en «hjemfallsmekanisme» som overførte eierskapet av nye basestasjoner til det offentlige ved kontraktslutt. En slik mekanisme vil sannsynligvis øke det offentlige finansieringsbidraget ved hver kontrakt og er ikke den primære anbefalingen fra utredningen.

Det anbefales at nye basestasjoner bygges og eies av private aktører, med krav om at andre aktører skal kunne benytte annen eiers basestasjon gjennom forutsigbare samlokaliseringsavtaler. Det bør vurderes tiltak for å unngå å «låse» seg til én aktør dersom det skal inngås nye kontrakter om fortsatt opprettholdelse av mobildekningen langs jernbanen ved avtalefornyelse.

Samlokalisering er per i dag ikke pålagt eller regulert⁶¹, og det bør gjøres tiltak som sikrer/regulerer samlokalisering på de basestasjonene og anleggene som det offentlige finansierer for å gi bedre mobildekning langs jernbanen. Dette kan løses ved at Nkom etablerer et sett med generelle retningslinjer, eller at Jernbanedirektoratet sørger for særskilte retningslinjer for disse basestasjonene ved utlysning av konkurranse.

9.4.4 Anbefaling – Eierskap

- Det anbefales at det gjeldende samlokaliseringsregimet videreføres, samt styrkes og effektiviseres slik at det skaper god forutsigbarhet for alle partene.
- Mobiloperatørene må gjennomføre detaljert nettplanlegging i forhold til eget cellenettverk slik at antall basestasjoner og mer nøyaktig plassering bestemmes
- Bane NOR som objekteier av tunnelene er den naturlige eieren av repeateranlegg for mobildekning i tunnelene. Bane NOR forutsettes å legge til rette for at tre private mobiloperatører kan koble seg til repeateranleggene.

⁶⁰ Flere aktører opplyser om at det kan ta uforholdsmessig lang tid fra forepørsel om samlokalisering sendes til forespørselen er behandlet, basestasjonen eventuelt er oppgradert og klargjort, og leietaker kan innplassere utstyret sitt.

⁶¹ Utover pålegget som er gitt til Telenor

- Eierskap for eksisterende basestasjoner videreføres, med mindre aktørene blir enige om andre ordninger.
- Nye basestasjoner eies av aktørene som vinner konkurransen om bygge ut dekning. Tiltak for å hindre monopolmakt vurderes nærmere i forprosjektet i samråd med Nkom.

9.5 Konkurransen

Kapittel 9.3.4 anbefaler en konkurranse mellom private aktører for å bestemme hvem som skal bygge ut dekning og hvor mye offentlig støtte som skal tilføres. Den bør utformes som offentlig konkurranse og gjennomføres av aktører som har kompetanse på slike prosesser. Generelt bør konkurransene lyses ut med funksjonkrav heller enn tekniske krav. De forutsetningene som er lagt til grunn i denne utredningen med hensyn til valg av blant annet tekniske løsninger bør revideres i lys av endringer i etterspørsel og teknologi på tidspunktet for utlysningen av konkurransene

Noe av den framdriftsmessige hovedutfordringen er kombinasjonen av behov for tidsmessig koordinert utbygging av både tunneldekning og frittlandsdekning langs jernbanen. Sportilgang for arbeid i tunneler er sentralt for når tunneler kan bygges ut med repeateranlegg og når tilhørende strekning bør bygges ut med frittlandsdekning. Forprosjektet bør etablere en omforent nasjonal utrullingsplan, slik at tilstrekkelig sportilgang for en effektiv gjennomføring fastlegges som del av forprosjektet.

Nedenfor følger utredningens drøfting og anbefaling til momenter som bør inngå i utformingen av konkurransen.

Repeateranlegg til tunnelene holdes utenfor konkurransen. Disse anbefales det at Bane NOR anskaffer og at de finansieres over budsjetter/avtaler som Bane NOR inngår med Jernbanedirektoratet.

Det legges til grunn at det er installert mobilforsterkersystemer i alle utvalgte tog iht. Plan for bedre nettdekning (Jernbanedirektoratet, 2018).

Merk også at Telia allerede, gjennom Nkoms frekvensauksjon sommeren 2019, har påtatt seg ansvar for å etablere frittlandsdekning for følgende strekninger innen utløpet av 2025:

- IC-strekningene: Skien-Oslo, Lillehammer-Oslo og Halden-Oslo
- Stavanger-Kristiansand
- Flåmsbanen
- Melhus-Steinkjer

9.5.1 Flere mindre konkurranser

Det er ikke hensiktsmessig å avholde én samlet konkurranse for hele det norske jernbanenettet. Kontrakten vil bli svært stor, noe som vil kunne begrense antall mulige tilbydere. Vinneren av konkurransen vil få en spesielt sterk posisjon i markedet, og det er stor fare for at det offentlige låser seg til en tilbyder, utover første kontraktsperiode.

Det er flere fordeler med å dele jernbanenettet opp i flere mindre kontrakter. Noen av de viktigste er:

- Det offentlige kan gjøre seg erfaringer med mindre kontrakter først, før det lyses ut større kontrakter.
- Forhåpentligvis blir porteføljen av kontrakter splittet på flere private aktører, slik at konkurranse opprettholdes i markedet og og sårbarheten reduseres.
- Den delte infrastrukturen fordeles på flere private aktører, og de private aktørene får anledning til å utnytte sine geografiske fortrinn.
- Kontraktene kan fordeles utover i tid, slik at det blir lettere å koordinere utbygging av frittlandsdekning med utbygging av mobildekning i tunnelene.
- Utbygging av strekninger kan prioriteres i tid, for eksempel basert på samfunnsnytte.

Det finnes ulike måter å dele inn i mindre konkurranser. Med utgangspunkt i Plan for bedre nettdekning fra 2018 er det nærliggende å vurdere inndelingen i 38 prioritetsområder/-strekninger (Pri 1, 2, 3 og 4). Av disse er 14 allerede dekket av Teliaforpliktelsene, så det ville blitt 24 konkurranser. Det er mulig å tenke seg varianter der noen forholdsvis lange strekninger deles i flere konkurranser (Voss-Hokksund og Steinkjer-Bodø for eksempel), og det er mulig å tenke seg pakker av flere strekninger. Det kan bli i overkant

mange kontrakter og konkurranser med 24. Det bør tilstrebes konkurranser som ikke gir fortrinn til noen av de aktuelle tilbyderne, slik at andre aktører avstår fra å delta i konkurranser. Nkoms kompetanse og innsyn i sektoren vil være nyttig i slike vurderinger.

9.5.2 Konkurransetilbudsforhold

Som grunnlag for konkurransen skal det oppgis et dimensjonerende antall passasjerer per tog og antall tog som ventes å være samtidig i dekningsområdet. Videre skal det oppgis forventede leiepriser av repeateranlegg i relevante tunneler på strekningen(e). Det må også legges frem utgangspunkt for en servicenivåavtale (SLA) tunnelene. Herunder må forventede feilrettingstider på de delene av repeateranlegget som tilhører kommersielt mobilnett foreligge. Feilrettingstiden bør være betydelig hurtigere enn i dag.

Vinneren av en konkurranse forplikter seg til å bygge ut mobildekning langs jernbanen i konkurranseområdet innen en avtalt dato og tilby mobildekning i henhold til avtalt kvalitet i avtaleperioden. Avtalen kan også inkludere forventning til kapasitets- og ytelsesforbedring gjennom avtaleperioden i takt med teknologisk utvikling i mobilteknologien. Perioden bør minimum være 10 år. For eksempel kan det være naturlig å fornye avtale samtidig ved eventuelle store materiellfornyelser. Det må spesifiseres hvilken kapasitet (Mbps) dekningen minimum skal tilby per dimensjonerende passasjer. Dekningskvaliteten bør bli kontrollert jevnlig av Bane NOR, slik den måles i dag ved bruk av målevognen. I tillegg er målingene SIMULA gjennomfører nyttige å videreføre fordi de måler inne i tog og over en lengre tidsperiode enn Bane NOR sine strekningsmålinger.

Vinneren må avklare hvilke eksisterende basestasjoner som skal benyttes, og avtale innleie og eventuell oppgradering av alle disse. Alle basestasjoner som tas i bruk for dekning langs jernbanen skal dimensjoneres for det antallet mobilaktører som besitter rettigheter til relevant frekvensressurser⁶² på utlysningstidspunktet - per i dag er dette tre mobiloperatører. Derved blir det ikke nødvendig med anleggsbidrag dersom noen av de øvrige mobiloperatørene vil leie seg inn. Dette kravet er viktig for å sikre at den betydelige offentlige investeringen kommer alle aktører i mobilmarkedet til gode, samt redusere faren for å gi varige konkurransefortrinn til vinneren.

ICE har per i dag en roamingavtale med Telia, slik at ICE-kunder får dekning, også i områder der bare Telenor og Telia har nett. Det kan tenkes at kravet om plass til for eksempel tre mobiloperatører fører til en overinvestering mange steder, der en av aktørene ikke planlegger å leie seg inn. En tillemping som kan redusere det offentlige investeringsbidraget vil være å forby krav om anleggsbidrag på sidene som brukes, så kan vinner selv ta risiko i dimensjonering av infrastrukturen ved basestasjonen.

Vinneren plikter å koble seg til alle togtunneler med repeateranlegg i konkurranseområdet. Vinneren må følge til høyde for årlig leie til Bane NOR ved utformingen av sitt tilbud.

Leverandør skal innkalkulere det som er nødvendig for å innfri kapasitets- og ytelseskravene gjennom avtaleperioden i konkurransetilbudet. Dersom tilbyderne ønsker tilskudd til årlig drift – det kan være spesielt aktuelt på strekninger der inntjening ventes å være lavere enn driftskostnadene – kan dette også prises inn i tilbudet.

9.5.3 Utfall av konkurranser

Det er viktig at resultatet av konkurransen er attraktivt nok til at tilbyderne ønsker å vinne. Uten en vinner av konkurransen blir det ikke realisert mobildekning i konkurranseområdet. Uten flere tilbydere kan det offentlige finansieringsbidraget bli høyere enn nødvendig.

Vinneren av konkurransen oppnår:

- Offentlig delfinansiert nettverk i konkurranseområdet som gir god dekning både i tunneler og i frittland
- Styrket markedsposisjon
- Økte inntekter fra passasjerene

⁶² Frekvensbånd som normalt dekkes av mobilforsterkerne om bord i togene.

- Mulighet for salg av store datakvoter til togoperatørene
- Nye basestasjoner med god kapasitet og mulighet for leieinntekter

Øvrige mobiloperatører får

- Redusert kostnad (ingen anleggsbidrag) knyttet til å etablere dekning langs sporet i konkurranseområdet

Andre basestasjonseiere

- Offentlig finansiert (via vinnere anleggsbidrag) oppgradering av egen site med god strømforsyning, fiber og plass i mast og teknisk rom/hytte etc
- Leieinntekter fra vinner
- Mulighet for økte leieinntekter fra flere enn bare vinner

Samfunnet

- Nytte beregnet for mer effektiv utnyttelse av reisetid, økt andel togreiser, redusert utslipp og færre ulykker
- Bedre konkurranse i mobilsektoren

9.5.4 Ansvar for gjennomføring av konkurranse

Det er flere aktører som har sterk kompetanse på gjennomføring av offentlig anskaffelser og konkurranser.

Nkom gjennomfører jevnlig konkurranser i form av auksjoner, der rettighetene til frekvensressurser tildeles private aktører for en lengre periode. Nkom har også ansvaret for å regulere konkurransen i mobilmarkedet og kjenner de potensielle tilbyderne svært godt. Vanlige auksjoner dreier seg prinsipielt om en engangstransaksjon der aktøren som får tilslaget i auksjonen betaler en engangssum, og får rettighetene til et definert frekvensspektrum i en avgrenset periode. Nylig gjennomførte Nkom konkurranser der det ble stilt krav om å tilby dekning på utvalgte tog- og veistrekninger. I disse avtalene ligger en betingelse om at det skal tilbys dekning med en bestemt kvalitet innen en avtalt dato. Nkom må følge opp med målinger for å sikre at aktøren overholder alle betingelser i frekvensavtalen.

Jernbanedirektoratet har gjennom konkurransene om trafikkpakker mye erfaring med store anskaffelsesprosesser. Både for trafikkpakker og mobildekning handler det om å finne den best tilbyderen av en tjeneste som skal driftes over en lang periode. Kontraktene om mobildekning vil trolig ha en større fase knyttet til investering og bygging av infrastruktur enn trafikkpakkene har hatt. Likevel bør kompetansen i Jdir benyttes også til konkurranser der aktører i mobilmarkedet er tilbydere.

Bane NOR eier jernbaneinfrastrukturen. En viktig del av virksomheten er å anskaffe materiell og tjenester for å vedlikeholde eller bygge ut infrastrukturen. Gjennom de anbefalinger som er gitt av denne utredningen ligger det allerede til Bane NOR å anskaffe materiell og tjenester for å sette opp egnet løsning for mobildekning i tunnelene. Bane NOR har god kompetanse på anskaffelser, og denne kompetansen kan vurderes brukt også for å anskaffe frittlandsdekning slik Jernbaneverket gjorde i sin tid for etablering av GSM-R.

Det anbefales at Jdir og SD sammen vurderer hvilken rolle ulike aktører bør inneha. Et mulig oppsett kan være at Jdir får ansvaret for konkurransen om frittlandsdekning, med støtte fra fagressurser fra både Nkom og Bane NOR. Bane NOR får et selvstendig ansvar for å anskaffe egnet løsning for mobildekning i tunnelene, innenfor gitt det allerede etablerte avtaleregimet med Jernbanedirektoratet.

9.5.5 Anbefaling – konkurranse

En stor kontrakt vil kunne ha flere uheldig effekter. Det anbefales at det avholdes flere mindre konkurranser og at det deles ut flere kontrakter. Samtidig bør antall kontrakter ikke blir for stort. Det anbefales å sette sammen Prioritetsstrekninger i pakker på en slik måte at ingen tilbydere antas å ha særskilte fortrinn. Dette bør gjøres i samråd med Nkom som har god markedsinnsikt.

Konkurransen skal forplikte vinner av konkurransen til å bygge ut mobildekning i konkurranseområdet som gir ønsket kapasitet per passasjer innen en avtalt dato. Forpliktelsene skal inkludere tilkobling til Bane NORs løsning i tunneler på strekningene. Alle basestasjoner som benyttes skal oppgraderes til å romme det

avtalte antall mobiloperatører slik at disse ikke skal måtte betale anleggsbidrag for å etablere seg på en basestasjon i ettertid.

Kontraktsvilkårene må være slik at det blir attraktivt både å gi tilbud og å vinne kontrakten. Hvis ikke realiseres ikke målet om mobildekning til lavest mulig kostnad for det offentlige.

9.6 Prosjekteier

Å etablere god mobildekning langs jernbanen er et omfattende prosjekt. Det involverer flere sentrale parter i den praktiske gjennomføringen. Norske tog AS er allerede i gang med å bygge mobilforsterkere i sine utvalgte kjøretøy. Bane NOR må planlegge hvor og når installasjon i jernbanetunnelene mest hensiktsmessig kan skje. Mobiloperatørene må planlegge sine tilbud og bygge ut samordnet basert på de utbyggingsavtalene de har vunnet. Som tidligere anbefalt anses det hensiktsmessig å lyse ut strekningsbaserte konkurranser. Derved er det behov for en overordnet form for porteføljestyring. Når dekningen er etablert må det også på plass effektive rutiner for å kontrollere at mobiloperatører som har påtatt seg forpliktelser også innfrir disse i kontraktsperioden.

For å lykkes med et prosjekt av denne størrelsesorden og kompleksitet er det behov for et godt forankret prosjekteierskap. Prosjekteier bør være den enhet som er innrettet med myndighet for gjennomføring av de overordnede politiske føringer og prioriteringer, og som er satt i stand til å forestå budsjetfordeling til de ulike aktører som må involveres i det å etablere bedre mobildekning langs jernbanen, både i frittland og jernbanetunneler.

Det er ikke noe entydig svar på hvem som bør tilordnes prosjekteierskapet for det å etablere bedre mobildekning langs jernbanen. I det videre pekes det derfor på ulike parter som bør kunne ivareta prosjekteierrollen. Imidlertid er det slik at ikke alle organisasjoner er tillagt samme myndighet til å kunne eierskapsstyre dette prosjektet. Prosjekteierskap bør avklares og forankres før oppstart av neste prosjektfase.

Telekomsektoren og samferdselsektoren er underlagt ulike fagdepartement. Kommunal- og moderniseringsdepartementet (KMD) har blant annet ansvar for elektronisk kommunikasjon, herunder mobilkommunikasjon. Samferdselsdepartementet (SD) har det overordnede ansvaret blant annet for jernbanesektoren. KMD og SD er på samme linje organisasjonsmessig i statsforvaltningen og bør ved et godt linjesamarbeid kunne etablere en god prosjektforankring for videreføring av bedre nettdekning langs jernbanen.

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) er eier av nasjonens nødnettkommunikasjon (TETRA) og arbeider med forberedelse av neste generasjon nødnett i KVV Nødnett. Nytt nødnett skal baseres på det kommersielle mobilnettet som kommunikasjonsbærer. Derved blir også nytt nødnett avhengig av mobildekning langs jernbanen for å oppnå sitt dekningskrav. Av dette kan DSB innrettes som prosjekteier, men er da avhengig av å få etablert en styringsgruppe med representanter fra både KMD og SD. DSB må da samordne med Jernbanedirektoratet for å sikre koordinert utbygging av mobildekning i jernbanetunnelene.

I henhold til DSBs KVV for nytt Nødnett, så vil det tidsmessig settes i drift i perioden 2026-28. Bedre mobildekning langs jernbanen bør da i all hovedsak være gjennomført. Videre er en stor andel av prosjektkostnaden knyttet til etablering av mobildekning i tunneler. En samordning mellom mobildekningsprosjektet og øvrige investeringsprosjekter som Jernbanedirektoratet styrer kan være fordelaktig. Derved kan også Jernbanedirektoratet ivareta prosjekteierskapet, men er på lik linje med DSB avhengig av en styringsgruppeordning tilsvarende det DSB ventelig har behov for.

I dette kapitlet er det pekt på noen mulige aktører, men som allerede antydningvis foreligger ingen åpenbare preferanser. Det anbefales derfor at Samferdselsdepartementet i første omgang vurderer hensiktsmessig forankring av prosjektets videre løp.

9.7 Covid-19

Prosjektet har vurdert effekter av Covid-19-pandemien. Det er mottatt innspill fra Bane NOR og en mobiloperatør. Tilbakemeldingen relativt sammenfallende.

Planfasen ventes i liten grad å bli påvirket negativt av pandemien. Arbeid med planer og utredninger vil kunne gjennomføres om lag som planlagt.

Tilgangen til utstyr kan bli rammet. I skrivende stund er det ingen som rapporterer om problemer i leveransekedene. Det vurderes likevel å være en risiko for at nye bølger av smitte kan gi mer alvorlige konsekvenser for produksjon og levering av utstyr og materiell som trengs i prosjektet.

Gjennomføring og implementering er den fasen som antas å være mest utsatt for Covid-19. Arbeid med montering og installasjon på basestasjoner og i tunneler vil måtte gjennomføres i tråd med smittevernretningslinjer for slikt arbeid. Det kan forsinke og fordyre prosjektet. Samtidig er fasen et stykke frem i tid, og da øker muligheten for at vaksiner eller medisiner kan ha redusert de negative virkningene av Covid-19.

Det legges til grunn at det vil finnes vaksiner og/eller effektive medisiner mot COVID19 innen utbyggingen av mobildekning begynner. Passasjertallene ventes følgelig å være tilbake til det normale. Det gjenstår å se om det blir en ny normal med tanke på reising etter COVID19. Permanent økning i bruk av videokonferanse og hjemmekontor kan føre til redusert reising. Fortsatt fokus på miljøvennlige reiser kan øke andelen togreiser. Hvis passasjerutviklingen skulle utvikle seg vesentlig annerledes enn lagt til grunn – på grunn av COVID19 eller andre årsaker – så må dette inkluderes i beslutningsgrunnlaget på det aktuelle tidspunktet.

10 Referanser

- Bane NOR. (2019, 09 17). *Jernbanen i tall*. Hentet fra Jernbanen: <https://www.banenor.no/Jernbanen/Jernbanen-i-tall/>
- Bane NOR. (u.d.). *www.banenor.no*. Hentet fra <https://www.banenor.no/Jernbanen/Jernbanen-i-tall/>
- Center for Resilient Networks and Applications. (2019). *Norske mobilnett i 2018*. Simula Metropolitan Center for Digital Engineering.
- European Union Agency for Railway. (2019, 10 10). *European Rail Traffic Management System (ERTMS)*. Hentet fra ERA: https://www.era.europa.eu/activities/european-rail-traffic-management-system-ertms_en#relatedLinks
- Finansdepartementet. (2010). Utarbeidelse av KVU/KL dokumenter. Veileder nr. 9.
- Finansdepartementet. (2014). Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser. *Rundskriv R*. Hentet fra https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fin/vedlegg/okstyring/rundskriv/faste/r_109_2014.pdf
- Finansdepartementet. (2019, Mars). Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten. *Rundskriv R*.
- Flügel, S., Halse, A. H., Hulleberg, N., Jordbakke, G. N., Veisten, K., Sundfør, H. B., & Kouwenhoven, M. (2020). *Verdsetting av reisetid og tidsavhengige faktorer*. Transportøkonomisk institutt.
- Jernbanedirektoratet. (2018). *Plan for bedre nettdekning til togreisende*.
- Jernbanedirektoratet. (2018). *Plan for bedre nettdekning til togreisende*.
- Jernbanedirektoratet. (2018). SAGA. Hentet fra <https://www.jernbanedirektoratet.no/saga>
- Jernbanedirektoratet. (2019). *Rapport fra verksted: Konseptvalgutredning om nettdekning på tog*.
- Kommunal og moderniseringsdepartementet. (2016). *Digital agenda for Norge - IKT for en enklere hverdag og økt produktivitet. Del IV - Nasjonal plan for elektronisk kommunikasjon*.
- Kommunal- og moderniseringsdepartementet. (2019, Sept 3). Hentet fra [www.regjeringen.no: https://www.regjeringen.no/contentassets/a35790989a45461aaaa3685a892cee09/horing--forslag-til-enderinger-i-ekomloven.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/a35790989a45461aaaa3685a892cee09/horing--forslag-til-enderinger-i-ekomloven.pdf)
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Cost Benefit Model Description*. Jernbanedirektoratet.
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Delrapport 1 - Problembeskrivelse*. Jernbanedirektoratet.
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Delrapport 2 - Behovsanalyse*. Jernbanedirektoratet.
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Delrapport 3 - Mål og rammebetingelser*. Jernbanedirektoratet.
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Delrapport 4 - Mulighetsstudie*. Jernbanedirektoratet.
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Delrapport 5 - Concept Analysis & Sensitivity analysis*. Jernbanedirektoratet.
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Delrapport 6 - Usikkerhetsanalyse*. Metier OEC.
- KVU - Bedre nettdekning langs jernbanen. (2020). *Delrapport 7 - Samfunnsøkonomisk analyse*. Jernbanedirektoratet.

KVU - Bedre nettdækning langs jernbanen. (2020). *Mobildatabruk ved Holmestrandsporten*. Jernbanedirektoratet.

KVU Bedre nettdækning langs jernbanen. (2020). *Hovedrapport*. Jernbanedirektoratet.

Nasjonal kommunikasjonsmyndighet. (2020). *Krav til statsstøttede trådløse bredbåndsaksesnett*. Hentet fra https://www.nkom.no/fysiske-nett-og-infrastruktur/offentlig-stotte-til-bredbandsutbygging/_/attachment/download/56ac2d4a-618a-4207-a228-e217f3afb40e:a570fee7f161fd3c155896bc6cb64c6730990d83/Krav%20til%20statsst%C3%B8ttede%20tr%C3%A5dl%C3%B8se%20bredb%C3%A

NKOM. (2019, 10 04). *Auksjon # 28 (700 MHz- og 2,1 GHz-båndene)*. Hentet fra NKOM: www.nkom.no/teknisk/frekvensauksjoner/auksjoner/planlagte-avsluttede/tildeling-av-700-mhz-bandet-til-mobile-tjenester

NTP. (2018). *Retningslinjer for virksomhetenes transportanalyser og samfunnsøkonomiske analyser*. Hentet fra https://www.ntp.dep.no/Forside/_attachment/2360134/binary/1283404?_ts=165f5e66de0

Oslo Economics. (2016). *Beregning av elastisiteter for togreiser*.

Telenor Infra. (u.d.). *Telelosji*. Hentet 2020 fra Telenor Infra: <https://www.telenorinfra.no/produkter/telelosji/>

Transportøkonomisk institutt. (2015). *Reisevaneundersøkelsen 2013/14 - Faktaark: Lange reiser*. TØI.

Vy. (2019, November). *Vy miljøkalkulator*. Hentet fra <https://www.vy.no/om-nsb/nsb-og-miljo/Milj%C3%B8kalkulator>

11 Ordforklaringer

Terminologi	Forklaring
2G	2G er andregenerasjons automatiske mobilsystem. Oftest kjent som GSM (opprinnelig Groupe Spécial Mobile) er et digitalt system for mobiltelefoni. I utgangspunktet for tale og SMS.
Basestasjon	Begrepet brukes i denne utredningen primært om en lokasjon der en eller flere mobiloperatører har etablert basestasjoner. Basestasjonen sender ut sine signaler til kunder via antenner montert i master, på hustak, i stolper etc. Teleoperatørene sine radiostasjoner som er koblet sammen inn mot en sentral via fiber, radiolinjespeil eller kobberkabler.
Båndbredde	Båndbredde angir størrelsen/mengden tilgjengelig kapasitet innfor et gitt frekvensområde. Jo større båndbredde man har tilgjengelig, desto større mengder data eller høyere datahastigheter kan man prosessere/levere innen det angitte frekvensområdet. Disponerer man eksempelvis alle frekvenser mellom 695 til 705 MHz, har man tilgjengelig en båndbredde på 10 MHz. utviklet for jernbaner i Europa.
CAPEX	Capital Expenditure (Investeringskostnad)
Carrier Aggregation	Kommersielt benevnt som 4G+-teknologi. Innebærer at man fra samme basestasjon og i samme celle sender ut signaler på samme teknologi, men i flere forskjellige frekvensbånd. Brukerens telefon, som da må støtte denne teknologien, er i stand til å «lytte» på flere frekvensbånd samtidig og benytte seg av kapasiteten i alle de bånd den lytter på. En enkel sammenligning er énfelts kjørevei kontra flerfeltsvei der effekten er bedre kapasitet til å håndtere en høyere trafikkmengde.
dBm	Signalstyrken angis i dBm (desibel-milliwatt). Jo større negativ verdi i dBm, desto dårligere dekning. De ulike teknologiene 2G, 3G og 4G har ulike grensetall for hva som regnes som god dekning. God dekning for 2G ligger i intervallet -60 til -90 dBm, for 3G ligger det i intervallet -70 til -100 dBm og for 4G i intervallet -90 til -110 dBm. Lavere enn dette angis som svak dekning.
Flerbånds Mobilforsterker	Flerbånds mobilforsterker er forsterkere som er teknologiavhengige. Det vil si at de forsterker signaler fra både 2G-, 3G- og 4G-basestasjoner. De dekker over flere frekvensbånd slik at eksempelvis en 4-bånds mobilforsterker vil forsterke alle teknologier på de 4 frekvensbånd den er satt opp til å støtte. Normalt per i dag vil det være en mobilforsterker som dekker 800, 900, 1800 og 2100 båndet og alle tre teknologiene 2G, 3G og 4G. Disse forsterkerne vil også fungere på GSM-R-teknologi.
Femtocell	Liten basestasjon for innendørs bruk som dekker et begrenset fysisk område med begrenset kapasitet. Krever egen gateway for å kommunisere inn mot det normale mobilnettet og er således i meget lite bruk i dag.
Dekning	Dekning er at signalstyrken på radiosignalene som en mobilenhet mottar fra en basestasjon er så sterke at brukeren kan ringe eller koble seg opp på datanett.
ERTMS	European Rail Traffic Management System. Europeisk standardisert system for togkontroll og -signalering.

Terminologi	Forklaring
Frittlandsdekning	Dekningen fra teleoperatører ute i åpent landskap.
GPRS/EDGE	Benevnelsen på den databærende tjenesten i et 2G (GSM) nett, maksimal datahastighet ca 200 Kb/s.
GSM-R	GSM-R (R for railway) er et lukket mobilnett (digitalt radiosystem)
Hastighet	Hvilken datahastighet kunden kan forvente å oppnå på sin dataforbindelse mellom telefon og basestasjonsnett. Benevnes i antall Mb/s.
Kapasitet	Den enkelte teleoperatørs mulighet til å levere god nok mobildatahastighet i et gitt område til en gitt mengde samtidige brukere. Eksempelvis en basestasjon som sender med 300 Mb/s kapasitet som alle kunder innenfor dekningsområdet til stasjonen samlet har til rådighet.
L18	Benevnelse for LTE1800. 4G på 1800 MHz frekvensbåndet
LTE	Long-Term Evolution, markedsført som 4G LTE (eller bare 4G). En standard for høyhastighets-telekommunikasjon.
M2M	Maskin-til-maskin. Kommunikasjonsenheter brukt både til fjernovervåkning og fjernstyring. Eksempel på slikt utstyr er strømmålere, hyttealarmer, betalingsterminaler, posisjoneringsutstyr og andre typer overvåkning.
MIMO	«Multiple-Input, Multiple-Output». Metode i datakommunikasjon. Metoden bruker flere signalveier mellom basestasjon og mobilenhet og krever flere antenner, typisk to (2X2 MIMO) eller fire (4X4 MIMO).
Network Rail	Eier av jernbaneinfrastruktur i England, Skottland og Wales (UK)
OPEX	Operating expense (Drift- og vedlikeholdskostnader)
OpenSignal	Et selskap som spesialiserer seg på oversikter over nettdekning. Baserer informasjonen om på dekning ved å samle data fra alle brukere (Crowdsourcing) som har installert appen fra OpenSignal på sin mobile enhet.
OPL	Flytogets operative ledelse (driftsoperative senter)
Opplevd hastighet	Den hastigheten som teleoperatørens kunder i praksis kan oppleve å få på sin nettforbindelse mot en basestasjon.
RAT	Radio Access Technology. Underliggende forbindelsesmetode i radiobasert kommunikasjon. Dagens mobiltelefoner kommuniserer på ulike former for RAT: 2G, 3G, 4G, LTE, Wifi, Bluetooth
Repeater	Mobilforsterker. Et apparat som forsterker mobilsignaler innenfor fastsatte frekvensbånd.
SISO	«Single-Input, Single-Output». Metode i datakommunikasjon. Bruker én signalvei med én enkelt antenne.
Teleoperatør	Selskapet som leverer mobilsignalene og abonnement / SIM-kort til kunden. En teleoperatør har eget radionett som sender ut signaler til kundenes telefoner og terminaler.

Terminologi	Forklaring
Togoperatør	Den organisasjonen som har ansvaret for å fremføre toget.
Trackside-teknologi	Trackside-teknologi betyr at det langs jernbanesporet, gjerne bare få meter unna skinnegangen, legges strålekabel eller «tett i tett» med et stort antall små antenner som er kjedet sammen. Fra disse antennene sendes det signaler med relativt lav effekt, men nok til at mottakerantenner montert på toget kan fange dem opp og distribuerer dem inne i toget. Prinsippet kan brukes på flere ulike teknologier, men mest vanlig i dag er å benytte ulisensierte frekvenser og Wifi som teknologibærer.
Transmisjonskapasitet	Den maksimale datahastighet en teleoperatør har tilgjengelig inn til sin basestasjon, enten via kobber, fiber eller radiolinje.
Tunneldekning	Signalstyrken og kapasiteten som Bane NOR sine mobilforsterkere inne i tunnelene leverer.
VoLTE	Voice over LTE. Innebærer at man kan ringe og ha en normal telefonsamtale når telefonen bruker 4G-dekning.

12 Oversikt over delrapporter

Delrapport	Dokumentnummer
Delrapport 1 - Problembeskrivelse	202000641-2
Delrapport 2 - Behovsanalyse	202000641-3
Delrapport 3 - Mål og rammebetingelser	202000641-4
Delrapport 4 - Mulighetsstudie	202000641-5
Delrapport 5 - Concept Analysis & Sensitivity analysis	202000641-6
Delrapport 6 - Usikkerhetsanalyse	202000641-7
Delrapport 7 - Samfunnsøkonomisk analyse	202000641-8
Cost Benefit Model - Documentation	202000641-9
Holmestrand - Målinger av mobilbruk	202000641-10
Test av nedre netthastigheter_ 20200327	202000641-11
Verkstedrapport - Konseptvalgutredningsverksted om nettdekning på tog_20190327	202000641-12

