



Konseptvalgutredning FRMCS

Fremtidig togkommunikasjonssystem for jernbane

Konseptvalgutredning FRMCS

Utarbeidet av Prosjektgruppe ledet av Ove Skovdahl	Saksnummer 202200895
Godkjent av Jan Frederik Geiner	Dokumentnummer 202200895-44
Dato 15.september 2023	Versjon
Endringslogg:	

Dato	Versjon	Endret av	Endringsbeskrivelse
15.09.2023	1.0	-	
12.03.2024			Rettet feil i sammendraget, samt tabell 19 og tabell 27

Forord

Samferdselsdepartementet har supplerende tildelingsbrev 3/2022 gitt Jernbanedirektoratet i oppdrag å gjennomføre en konseptvalgutredning for fremtidig mobilkommunikasjonssystem på jernbane – FRMCS, i det videre omtalt som KVV for nytt togkommunikasjonssystem FRMCS. Hensikten med utredningen er å gi departementet et grunnlag for å beslutte hvilke prinsipielle løsninger som skal legges til grunn for togfremføringsrelatert kommunikasjon ved neste generasjons togkommunikasjonssystem i Norge.

Arbeidet med konseptvalgutredningen er gjennomført i en prosjektgruppe med deltagere fra Bane NOR, Jernbanedirektoratet og innleid rådgiver OPAK/ Rambøll. Det har vært et nært samarbeid med øvrige aktører i den norske jernbanesektoren og telesektoren samt erfaringsutveksling med jernbaneforvaltninger i andre land. Bane NOR har bidratt med erfaringer fra dagens togkommunikasjonssystem og kostnadsoverslag for nødvendige investeringer og fremtidig drift av togkommunikasjonssystemet. Anbefalingen i KVV er omforent mellom partene.

Konseptvalgutredningen er sendt Samferdselsdepartementet som grunnlag for arbeidet med NTP 2025-2037, og til videre prosess med kvalitetssikring etter statens prosjektmodell.

Jernbanedirektoratet 15.9 2023

Sammendrag

Bakgrunn

Togkommunikasjonssystemet er en kritisk tjeneste for togframføring og sikrer kommunikasjon mellom togfører, trafikkstyrer og personell i sporet. Dagens løsning for Togkommunikasjonssystem, basert på GSM-R, nærmer seg slutten av levetiden. Togkommunikasjonssystemet bygges på en felles europeisk standard i regi av ERA.

Supplerende tildelingsbrev 3/2022 til Jernbanedirektoratet: Utarbeide konseptvalgutredning (KVU) for nytt Togkommunikasjonssystem (FRMCS) og bl.a. vurdere nye konseptuelle eierskapsstrukturer (inkludert bruk av kommersielle mobilnett), mulige kostnadsbesparelser, mulighet for å ta i bruk nye løsninger og mulige synergier med prosjektene nytt nødnett (DSB) og «Bedre nettdekning langs jernbanen» for passasjerer (NTP 2022-33).

Hva er en KVU

Inngår i Statens prosjektmodell. Faglig utredning av alternative måter («konsepter») å løse et behov på. Skal gjennomføres for statlige prosjekter med antatt kostnad over 1 MRD kr før prosjektet besluttes igangsatt. For digitaliseringsprosjekter er terskelverdien 300 MNOK. KVU inngår i kvalitetssikringsregimet for store prosjekter. Eksterne konsulenter utarbeider (oppdrag for SD) en kvalitetssikringsrapport (KS1) av KVUen.

Utarbeidelsen av KVU følger en fastlagt metodikk:

- Avgrensing/ problemstilling
- Behovsvurdering – prosjektutløsende behov
- Målanalyse – samfunns mål og effektmål -forankres hos SD
- Rammebetingelser – krav
- Mulighetsrom – siling og konkretisering av alternativer (konsepter)
- Alternativanalyse – prissatte og ikke-prissatte konsekvenser
- Sammenstilling og anbefaling samt føringer for forprosjektfasen

Behov

Kommunikasjonsbehov til og fra tog kan deles i tre formål:

1. Virksomhetskritisk kommunikasjonsbehov (togkommunikasjonsfunksjonen; Tale, ERTMS, ATO)
2. Kommunikasjonsbehov for overvåkning, drift og vedlikehold av tog og infrastruktur
3. Kommunikasjonsbehovet til de reisende

Denne KVUen omfatter primært formål nr. 1 toggkommunikasjonsfunksjonen. Dagens toggkommunikasjonstjeneste GSM-R er basert på 2G-teknologi. Systemstøtten for 2G vil opphøre tidlig på 2030-tallet. På oppdrag fra EU/ ERA utvikler UIC neste generasjons toggkommunikasjonssystem FRMCS for Europa. FRMCS vil være basert på standardiserte 5G-løsninger. Gjennom EØS-avtalen er Norge forpliktet til å benytte FRMCS-standarden når den kommer (utvikles frem til ca. 2026).

FRMCS som toggkommunikasjonssystem vil avløse GSM-R som bærer for toggfremføringsrelatert kommunikasjon (tale, ERTMS og ATO) mellom trafikkstyringsentral og operative enheter langs sporet. Etablering av FRMCS kan også legge til rette for andre kommunikasjonsbehov mellom tog og omverden.

Det prosjektutløsende behovet er formulert som: *Det er behov for å erstatte dagens kommunikasjons-system for jernbane, GSM-R, med FRMCS for å kunne opprettholde dagens person- og godstransport.*

Mål

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

Norsk jernbane har en fremtidsrettet kommunikasjons-tjeneste som opprettholder og forbedrer jernbanens evne til effektiv person- og godstransport.

Det er definert tre effektmål i KVUen:

- En robust og pålitelig kommunikasjons-tjeneste for toggfremføring, som bidrar til driftsstabil jernbane.

- Et fleksibelt og fremtidsrettet kommunikasjonsnett, med evne til å ivareta fremtidig utvikling for jernbanen.
- Effektiv utnyttelse av infrastruktur for mobile kommunikasjonsnett.

Rammebetingelser / krav

Sentrale rammebetingelser for nytt togkommunikasjonssystem følger blant annet av europeisk jernbane- og telelovgivning samt regelverk for statsstøtte. Krav til FRMCS vil følge av TSI CCS, inkludert fastleggelse om hvilke radiofrekvenser som skal benyttes.

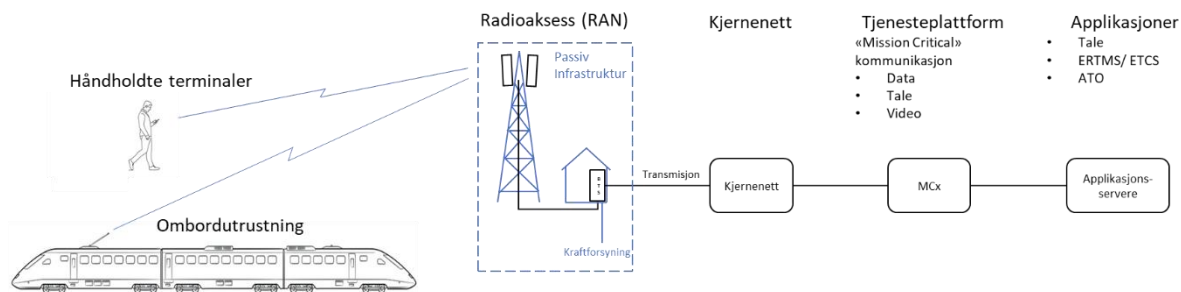
Det jobbes med utvikling av standarden, og den første komplette standarden man kan anskaffe nettverk basert på vil foreligge som en del av TSI CCS i 2026. Scopet for denne ble det nylig enighet om. Det vil være krav om bruk av konkrete frekvenser i 900 og/ eller 1900-MHz-båndene (jernbane-(RMR -) frekvenser), Det pågår et betydelig påvirkningsarbeid i Europa for at senere versjoner av TSI CCS skal åpne for kun bruk av kommersielle frekvenser, men antas ikke å være tilstrekkelig støtte for å dette i 2026-versjonen av standarden.

Regelverket for statsstøtte regulerer i hvilken grad statlige investeringer kan legge til rette for private mobilnettoperatører. Bane NOR forprosjekt «Bedre nettdækning langs jernbanen» arbeider med avklaringer rundt dette regelverket.

Mulighetsrom

Når vi i KVVU skal vurdere mulighetsrom for et nytt radiobasert kommunikasjonsystem for jernbanen, er det svært mange momenter å ta hensyn til: Eierskapsstruktur, omfang av tjenestekjøp, faktisk kommunikasjonsbehov, migrasjonsfilosofi, frekvensbruk, tunneldekning m.m.

I utviklingen av alternativer er det vurdert til sammen 57 mulige kombinasjoner av beskrevne momentene. I KVVUen har vi valgt å ta utgangspunkt i de «fysiske» komponentene som togkommunikasjonstjenesten består av, se figur. Tjenesteplattformen («Mission critical»-MCx) er jernbanespesifikk, mens kjernenett og radioaksessnett skal være basert på generelle 5G-standarder.



Vurderingene av mulighetsrom har endt opp med 6 konkrete alternativer for videre analyse.

Samarbeid med DSB, NKOM og MNOene har vært nyttig, DSB har nylig vært gjennom KVVU-/ KS1 for nytt nødnett med etterfølgende beslutning om at MCx skal være i statlig eierskap, mens kjernenett og radioaksessnett (RAN) skal kjøpes av mobilnettoperatørene (MNO) over kommersielle frekvenser.

Alternativer

Tabellen beskriver de 6 alternativene som er vurdert i KVUen. Vurderingene konkluderer med at MCx bør ivaretas i Bane NOR (BN) sin regi for alle alternativer.

Alternativ	1	2	3	4	5	6
MCx	BN	BN	BN	BN	BN	BN
Kjernenett	BN	MNO	1 MNO	BN+MNO	BN+3MNO	3 MNO
RAN	BN	MNO	1 MNO	BN+MNO	BN+3MNO	3 MNO
Frekvenser	RMR	RMR	Komm.	RMR+komm	RMR+komm	Komm.

Som illustrasjon på spennvidden i Europa kan nevnes at Finland har valgt alternativ 6 og Tyskland alternativ 1. Den finske løsningen følger ikke europeisk standard og har ikke interoperabilitet. Løsningen som er valgt for nytt nødnett i Norge har en del likhetstrekk med alternativ 3.

Samfunnsøkonomisk vurdering

Den samfunnsøkonomiske vurderingen av alternativene består av prissatte og ikke prissatte virkninger. Kostnadsoverslag (investering og drift) er basert på erfaringstall fra Bane NOR og gjennomført RFI med mobilnettoperatorene. Antatt utbyggingsperiode 2028-33 og analyseperioden 10 år. Det er gjennomført usikkerhetsanalyse for alle kostnadsoverslag. Kostnadstallene som presenteres i tabellen representerer forventningsverdiene. Driftskostnadene omfatter sum for anleggs- og analyseperiode. Vurderingen av ikke-prissatte konsekvenser er gjennomført i to arbeidsmøter i prosjektgruppa. Vurderingen er gjennomført ut fra 5 overordnede kriterier og etter en bestemt metodikk for vurdering av verdi og grad av påvirkning.

	Referanse	Alt 1: 900	Alt 2: 900	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Virkninger for det offentlige							
Investeringskostnader	-	3 577	4 031	3 732	4 455	5 942	5 297
Drift (sum anlegg og analyseperiode)*	3 301	3 424	1 307	1 775	3 469	2 738	2 048
Sum	3 301	7 001	5 334	5 507	7 924	8 680	7 345
Virkninger for private aktører							
Investeringskostnad	-	-	523	471	-	-	641
Drift (Inntekter mobilabonnement)	-	-	-	-604	-604	-1 805	-1805
Nåverdi							
Diskonterte kostnader	2 208	5 265	4 245	4 632	5 518	5 271	5 381
Skattefinansieringskostnad	442	1 053	819	907	1 187	1 277	1 170
Samfunnsøkonomisk nåverdi kostnader	2 649	6 318	5 064	5 539	6 696	6 547	6 551
Rangering		3	1	2	6	4	5
Ikke-prissatte konsekvenser							
Fleksibelt og fremtidsrettet		++	++	+++	+++	+++	++++
Effektiv utnyttelse			++	+++	++	++	++++
Innlåsingeffekt og konkurransevridning		+	---	---	+	++	++
Implementering (strategi)				++			
Ytre Miljø		---	---	----	---	---	-----
Rangering ikke-prissatte		5	6	4	3	2	1

Anbefaling

Konseptvalgutredningen har analysert 6 alternativer for innføring av nytt togkommunikasjonssystem FRMCS i Norge. I vurderingen av de prissatte virkningene rangeres alternativ 2 og 3 høyest, men det er ikke avgjørende forskjeller på de 6 alternativene. Alternativ 5 og 6 rangeres høyest i vurderingene av de ikke prissatte virkningene.

Alternativ 3, 5 og 6 baseres på utelukkende bruk av kommersielle frekvenser og kjøp av tjenester fra mobilnettoperatorene. Foreliggende europeiske regelverk fastlegger at bestemte frekvensbånd (900 MHz og/ eller 1900 MHz) skal benyttes for FRMCS. Regelverket gir pr i dag ikke aksept for bruk av øvrige frekvenser, bl.a. utelukkende kommersielle frekvenser. Det er signaler om at en slik løsning kan bli tillatt i fremtiden, men det er usikkert om/ når dette vil kunne skje (etter 2026).

Alternativene 1, 2 og 4 er innenfor gjeldende regelverk for FRMCS. I vurderingene av de ikke prissatte virkningene rangeres alternativ 4 foran alternativ 1 og 2.

Alternativ 4 er et «hybrid» alternativ som består av to nett; et landsdekkende FRMCS-nett (tilsvarende dagens GSM-R-nett) og bruk av ett kommersielt mobilnett (uten at dette forsterkes). Den kapasitet dette mobilnettet vil gi, kan ses på som et supplement til kapasiteten i FRMCS-nettet. Alternativ 4 gir også redundans for togkommunikasjonen på deler av jernbanenettet og vurderes derfor som et mere robust alternativ enn alt. 1 og 2.

På grunn av usikkerheter knyttet til gjennomførbarhet for alt. 3, 5 og 6, samt ønsket om en mest mulig robust togkommunikasjonsløsning, anbefales at alternativ 4 legges til grunn for forprosjektet. Dette utelukker ikke eventuell senere overgang til andre alternativer.

Dagens togkommunikasjonssystem GSM-R forventes å måtte avvikles innen 2033-35. Utviklingen av FRMCS pågår, men spesifikke FRMCS-komponenter forventes ikke å være på markedet før i 2028. Anslått implementeringstid for FRMCS er 5 år.

En stor del av kostnadene knyttet til FRMCS-etablering består av fornyelse/ oppgradering av dagens passive infrastruktur for GSM-R (master, hytter, strømforsyning m.m.). Denne oppgraderingen er teknologi-uavhengig og kan gjennomføres uten å vente på de endelige spesifikasjonene for FRMCS. Siden det vil ta tid å oppgradere den passive infrastrukturen i hele landet vil en så tidlig som mulig start anbefales.

Det anbefalte alternativet innebærer at FRMCS kan innføres som fornyelse av dagens togkommunikasjonssystem (GSM-R). Den passive infrastrukturen anbefales gradvis fornyet i perioden 2025-32, mens de FRMCS-spesifikke komponentene anskaffes og forventes installert i perioden 2028-32.

Parallelt med dette KVVU-arbeidet har Bane NOR arbeidet med forprosjekt for «Bedre nettdækning langs jernbanen» for passasjerer på jernbanen. Dette forprosjektet vil foreligge senere høsten 2023.

Det gjennomføres en tilleggsutredning av samordning mellom prosjekt FRMCS og prosjekt «Bedre nettdækning langs jernbanen» når forprosjekt foreligger. Tilleggsutredningen skal identifisere eventuelle samordningsgevinster mellom prosjektene, med sikte på mest mulig optimal samlet ressursutnyttelse for alle planlagte mobile kommunikasjonssystemer langs jernbanen.

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
1 Innledning, mandat og rammer	13
1.1 Bakgrunn for tiltaket	13
1.2 Metode	13
1.3 Gjennomføring av utredningen	14
2 Problembeskrivelse	16
2.1 Avgrensning av konseptvalgutredningen	16
2.2 Hva er årsaken til problemet	18
2.3 Prosessen i Europa og i UIC	23
2.4 Berørte parter	24
2.5 Eierskap og samvirke med andre nett	24
3 Behovsanalyse	26
3.1 Normative behov	27
3.2 Etterspørselsbaserte behov	30
3.3 Interessentgruppers behov	41
3.4 Oppsummering og prosjektutløsende behov	45
4 Strategiske mål	46
4.1 Samfunns mål	46
4.2 Effektmål	47
5 Rammebetingelser for konseptvalg	49
6 Mulighetsstudie	50
6.1 Metode	50
6.2 Mulighetsrommet	50
6.3 Tilnærming	51
6.4 Videre utvikling av konsepter	80
6.5 Oppsummering - grovsiling av konsepter	117
7 Alternativanalyse	119
7.1 Beskrivelse av alternativer	119
7.2 Migrasjon	128
7.3 Kostnader	132
8 Samfunnsøkonomisk analyse	136
8.1 Metode	136
8.2 Prissatte konsekvenser	138
8.3 Ikke-prissatte konsekvenser	139
8.4 Sammenstilling samfunnsøkonomisk analyse	151
8.5 Realopsjoner	151
8.6 Fordelingsvirkninger	152
9 Anbefaling	153
10 Føringer for forprosjektfasen	154
10.1 Suksessfaktorer	154
Utvikling av MCX	154
10.2 Tidsplan og videre aktiviteter	154
10.3 Hva bør offentlige tiltak bestå av og medføre?	155

10.4 Gevinstrealiseringsplan 156

Tabelliste

Tabell 1 Normative behov	27
Tabell 2 Premissgivere	41
Tabell 3 Primære interessenter	42
Tabell 4 Sekundære interessenter	43
Tabell 5 Utvikling i andre land	44
Tabell 6 Ulike kombinasjoner for eierskap	63
Tabell 7 Utvalgte kombinasjoner for eierskap	64
Tabell 8 Ulike kombinasjoner for eierskap - kombinatorisk mulighetsrom med to kommersielle tilbydere	70
Tabell 9 Ulike kombinasjoner for eierskap - kombinatorisk mulighetsrom med tre kommersielle tilbydere	72
Tabell 10 Kombinasjoner med kommersielle tilbydere	74
Tabell 11 Kombinasjoner av hybride nett	77
Tabell 12 Sammenstilling "hybride nett"	79
Tabell 13 Frekvensspektrum disponert av norske mobiloperatører pr august 2023	82
Tabell 14 Oppsummering av aktuelle kombinasjoner	86
Tabell 15 Oppsummering grovsiling	117
Tabell 16 Grunnkalkyle investering	135
Tabell 17 Investeringsbehov per alternativ	135
Tabell 18 Forutsetninger samfunnsøkonomisk analyse	137
Tabell 19 Prissatte virkninger i MNOK	138
Tabell 20 Ikke-prissatte konsekvenser	139
Tabell 21 Fleksibelt og fremtidsrettet	141
Tabell 22 Bitratekapasitet for de ulike alternativene	142
Tabell 23 Effektiv utnyttelse	145
Tabell 24 Innlåsnings-effekt og konkurransevidning	146
Tabell 25 Implementering	147
Tabell 26 Ytre miljø	148
Tabell 27 Sammenstilling ikke-prissatte virkninger	149
Tabell 28 Restverdier	150
Tabell 29 Sammenstilling samfunnsøkonomisk analyse	151

Figurliste

Figur 1 Statens prosjektmodell	13
Figur 2 Modell for gjennomføring av utredningen	14
Figur 3 Prinsippmodell for utvikling, bearbeiding og siling frem til ferdige alternativer	15
Figur 4 GSM-R -installasjon ved Tolpinrud, Hønefoss (foto: Tore Mundal, Rambøll)	19
Figur 5 GSM-R mast på Nittedal stasjon (foto: Tore Mundal, Rambøll)	21
Figur 6 Aktiviteter for utvikling av FRMCS	24
Figur 7 GSM-R antenneinstallasjon ved Finse (foto: Tore Mundal, Rambøll)	26
Figur 8 Behov kommunikasjonssystem	30
Figur 9 Nyttevirkninger FRMCS, Bedre nettdækning og Nødnett	33
Figur 10 FRMCS ombordutrustning i tog	38
Figur 11 Prosess mulighetsrom	50
Figur 12 Komponenter i et fremtidig FRMCS-nett	52
Figur 13 TOBA –MCx-systemarkitektur med MCx server og klienter.	56
Figur 14 TOBA - telecom onboard architecture	57
Figur 15 Illustrasjon hentet fra UIC-dokument System Requirement Specification v1.0.0, kapittel 6.1.3	59
Figur 16 FRMCS - transportstratum, tjenestestratum, applikasjonsstratum	60
Figur 17 FRMCS – alternativ fremstilling av transportstratum, tjenestestratum, applikasjonsstratum	61
Figur 18 Kombinasjoner	68
Figur 19 Frekvensspektrum disponert av Bane NOR for fremtidig bruk for FRMCS – JB-frekvenser	82
Figur 20 Illustrasjon av mulig bruk av JB-frekvenser i kommersielle nett	83
Figur 21 Illustrasjon av mulig bruk av kommersielle frekvenser i Bane NOR -eid nett	83
Figur 22 Nullalternativet	119
Figur 23 Alternativ 1	120
Figur 24 Alternativ 2	121
Figur 25 Alternativ 3	122
Figur 26 Alternativ 4	123
Figur 27 Alternativ 5	125
Figur 28 Alternativ 6	127
Figur 29 Eksempler på fremdriftsplan for ombygging og migrasjon	130
Figur 30 Overordnet tidsplan frem til ferdigstillelse	154

Referanseliste

Bane NOR: Forprosjekt basert på [KVU Bedre nettdekning langs jernbanen](#), 2020

Bane NOR, TRV:03234 – Teknisk regelverk, Funksjonskrav togradiosystemets tilgjengelighet, 2013

DSB: KVU Nytt nødnett, 2022

ERA TSI-CCS, 2023: [Control Command and Signalling TSI | European Union Agency for Railways \(europa.eu\)](#)

EUR-Lex: Commission Regulation (EU) No 651/2014 of 17 June 2014 declaring certain categories of aid compatible with the internal market in application of Articles 107 and 108 of the Treaty (Text with EEA relevance)Text with EEA relevance, 2023

Lovdata: Forskrift om nasjonale tekniske krav m.m. for jernbaneinfrastruktur på det nasjonale jernbanenettet (jernbaneinfrastrukturforskriften), 2011

Lovdata: Forskrift om samtrafikkevnen i jernbanesystemet, 2021

Lovdata, Lov om elektronisk kommunikasjon, 2022

Regjeringen: Supplerende tildelingsbrev til Statsbudsjettet 2022, 2022

Sqimway: UE Radio access capability, nn

1 Innledning, mandat og rammer

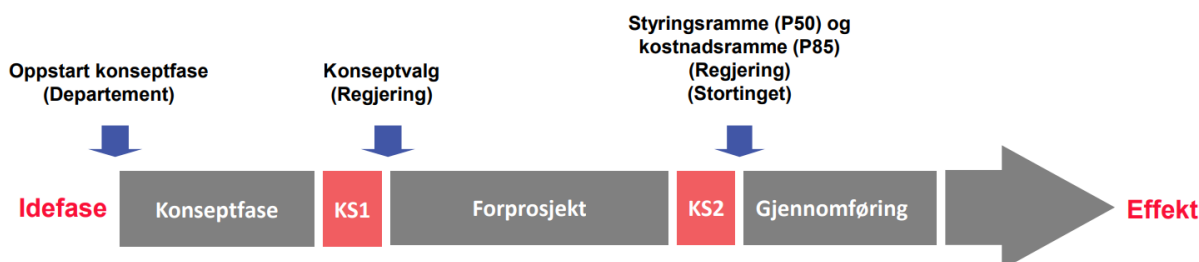
1.1 Bakgrunn for tiltaket

Samferdselsdepartementet har supplerende tildelingsbrev 3/2022 gitt Jernbanedirektoratet i oppdrag å gjennomføre en konseptvalgutredning for fremtidig mobilkommunikasjonssystem på jernbane – FRMCS, i det videre omtalt som KVVU for nytt togkommunikasjonssystem FRMCS.

FRMCS er en ny standard for neste generasjon kommunikasjonssystem for jernbane og erstatter dagens GSM-R. I løpet av kommende 10-15-års periode vil systemstøtten til GSM-R fra leverandør opphøre. Det setter i prinsippet rammen for GSM-R systemets levetid i Norge. På sikt vil også Norge måtte implementere den nye standarden for å kunne ivareta interoperabilitetskravet i samtrafikkforskriften når et slikt krav vedtas. Første versjon av standard for FRMCS (RMR) inngår i TSI-CCS utgitt august 2023. Dette er en preliminær versjon (v1), som ikke etablerer tilstrekkelig grunnlag for bygging, men videre utvikling og testing. Først når v3 av standarden er utgitt er FRMCS å anse moden for bygging. Versjon 3 forventes klar mot slutten av 2026.

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 (Finansdepartementet, 2019).



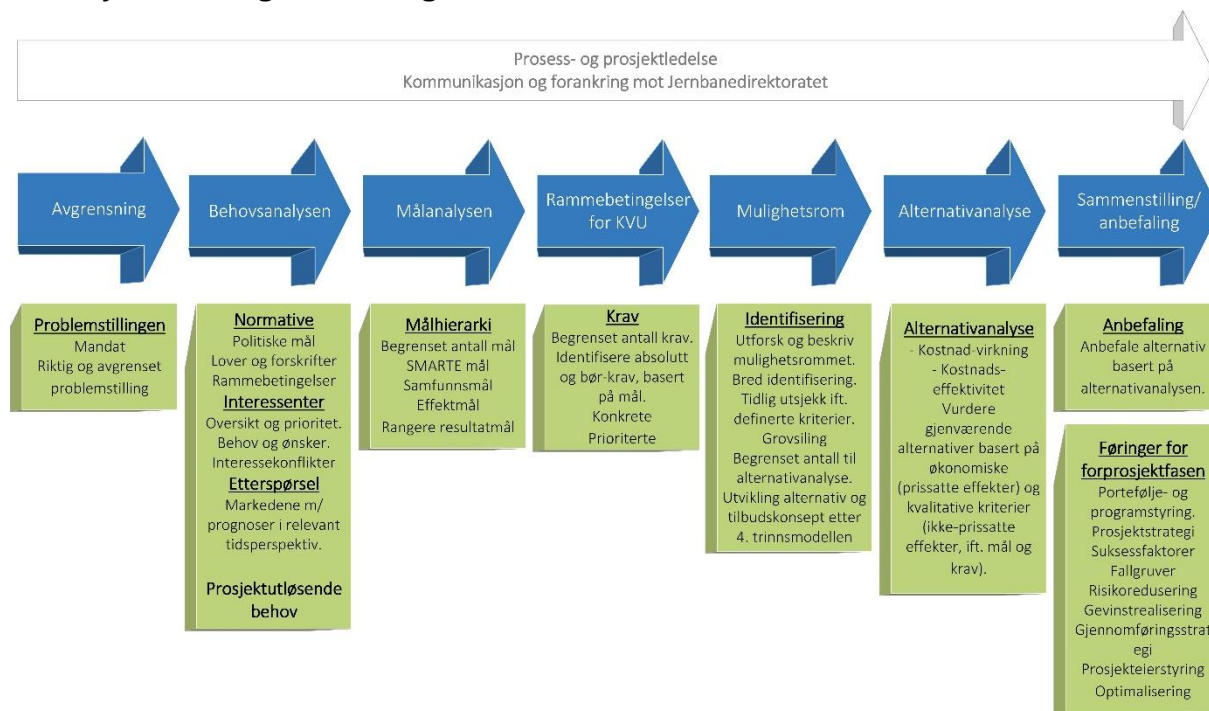
Figur 1 Statens prosjektmodell

Utredningen innleder med en problembeskrivelse som redegjør for dagens situasjon og behovet for fremtidige endringer. Problembeskrivelsen tydeliggjør årsaker til problemet og konsekvenser. Deretter kommer behovsanalysen som kartlegger berørte interessenter og deres behov. Behovsanalysen munner ut i formulering av et «prosjektutløsende» behov som danner grunnlaget for formulering av samfunns mål og effektmål.

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. Det er benyttet ulike metoder for kartlegging av mulighetsrom, blant annet Firetrinnsmetodikken og workshops med interessenter.

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.

1.3 Gjennomføring av utredningen

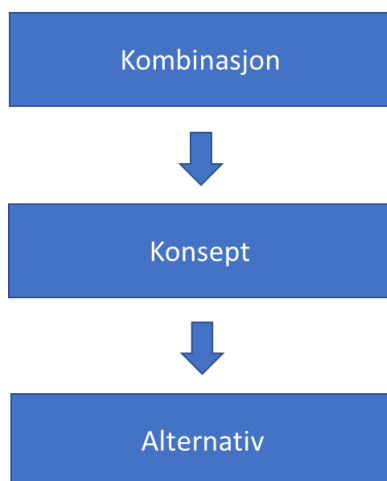


Figur 2 Modell for gjennomføring av utredningen

Formålet med konseptvalgutredningen (KVU) er å utarbeide et beslutningsunderlag for å velge hvilket konsept som eventuelt skal videreføres i forprosjektfasen. Konseptvalgutredningen skal være strukturert med følgende kapitler:

- Problembeskrivelse
- Behovsanalyse
- Strategiske mål
- Rammebetingelser for konseptvalg
- Mulighetsstudie
- Alternativanalyse
- Føringer for forprosjektfasen

Begrepene kombinasjon, konsept og alternativ er brukt i KVUen i forbindelse med utvikling av alternativer. I kapittel 6, Mulighetsstudien, har vi brukt begrepet Kombinasjon i forbindelse med den innledende utviklingen av ulike mulige eierskapskombinasjoner. Videre har vi valgt ut de mest aktuelle kombinasjonene og kalt disse Konsepter, som vi deretter har evaluert og drøftet videre. Konseptene har gjennomgått en grovsilingsprosess, hvor de konseptene som ikke har blitt forkastet tas med videre. Disse har dermed fått navnet Alternativer, og har blitt evaluert og drøftet grundig i alternativanalysen i kapittel 7 og 8 – både med hensyn på prissatte og ikke-prissatte konsekvenser.



Figur 3 Prinsippmodell for utvikling, bearbeiding og siling frem til ferdige alternativer

2 Problembeskrivelse

2.1 Avgrensning av konseptvalgutredningen

Det skal utredes hvilke konseptuelle løsninger for et fremtidig mobilkommunikasjonssystem for jernbane som er best egnet og gir best samfunnsøkonomisk nytte for å dekke det helhetlige kommunikasjonsbehovet for den digitaliserte jernbanen. Løsninger skal ses i sammenheng med øvrig kommunikasjonsbehov som kan dekkes av de kommersielle mobilnettoperatørene, enten det er godstog, passasjertog eller arbeidsmaskiner for jernbane.

Konseptvalgutredningen skal bl.a. vurdere følgende:

- Nye konseptuelle eierskapsstrukturer, herunder hvorvidt nettverket skal bygges, eies og driftes av Bane NOR, eller om man skal basere seg på kommersielle kommunikasjonsnett som transportbærer for de løsningene Bane NOR drifter. I dette ligger også vurdering av båndbreddeposisjoner og basestasjonsbehov.
- Mulighetene for kostnadsbesparelser gjennom forenkling både av nettenes infrastruktur og utrustning av togene.
- Effekttuttak fra bedre utnyttelse av de digitale systemene, herunder muligheten for å ta i bruk systemer som gir raskere togfremføring, økt kapasitet, spart energiforbruk, en mer driftsstabil jernbane og bedre reiseinformasjon i realtid.
- Sikkerhetsmessige aspekter ifb. ulike løsninger og valg.

Arbeidet skal ses i sammenheng med og hente erfaringer fra arbeidet med forprosjekt for bedre nettdekning langs jernbanen¹ og KVVU for nytt nødnett², herunder om det er synergier å hente ved å utnytte deler av de kommersielle mobilnettene.

2.1.1 Mulige effekttuttak for jernbanen som følge av FRMCS

Oppdragsbrevet nevner videre mulige effekttuttak fra det nye kommunikasjonssystemet FRMCS på flere ulike områder. Vi ser her behovet for å gjøre en rask drøfting av disse for å avklare om det egentlig eksisterer potensiale for gevinstrealisering på disse områdene.

- Å innføre FRMCS vil ikke kunne gi raskere togfremføring som resultat. Bytte av radiosystem som kommunikasjonsbærer mellom tog og infrastruktur vil ikke endre dette, selv om FRMCS har bedre ytelse enn GSM-R.

Raskere togfremføring på det norske linjenettet vil avhenge av helt andre faktorer for å kunne realiseres. En grunnleggende forutsetning er at togene ikke kan kjøre med høyere hastighet enn sporgeometrien tillater. Normalt vil dette være den eneste begrensningen, om man ser bort fra ruteplanmessige begrensninger eller eventuelle forsinkelser i togtrafikken.

Kommunikasjonskanalen FRMCS vil representere mellom sentralt trafikkstyringssystem og tog, er ikke noe annet enn akkurat det – den har ingen påvirkning på kjørehastighet for togene.

Med innføring av ERTMS og ETCS level 3 kan det kjøres mere optimalt med tanke på å utnytte hastighet. Dette kan blant annet skje ved at bremsekurver legges inn i kjørecomputeren i toget. Med dette kan man utnytte terrengprofiler og trafikkbildet til raskere og mere optimal akselerasjon. Med dette kan man oppnå bedre hastigheter, mere optimal kjøring i forhold til ruteplan. Det er ikke dermed sagt at man vil kjøre raskere om ETCS level 3 innføres, men det blir mulig. Sporgeometri er fortsatt den viktigste begrensningen. Det vi nevner her kan man oppnå også med GSM-R som bærer for ETCS-trafikkstyringen. Derfor representerer ikke FRMCS noen forbedring med tanke på å oppnå raskere togfremføring.

¹ Forprosjekt basert på [KVU Bedre nettdekning langs jernbanen](#), 2020

² [Nytt nødnett, DSB](#)

- FRMCS vil heller ikke gi økt trafikkapasitet for tog i linjenettet. Her gjelder stort sett de samme argumentene som for kjørehastighet. Det er ERTMS og ETCS som brukes til å styre togtrafikken. Innføring av ETCS level 3 med flytende blokkstrekninger kan forbedre dette som forklart ovenfor. Med flyttende blokkavstand, dvs avstand mellom tog som kjører etter hverandre, vil det være mulig å kjøre tog tettere. Dermed vil man kunne oppnå bedre kapasitet på en strekning. Men dette er altså noe ETCS level 3 sørger for, og ikke kommunikasjonskanalen. Det samme kunne vært gjort med GSM-R, så FRMCS representerer ikke noen forbedring med tanke på å oppnå bedre trafikkapasitet for tog.

- Det er videre reist spørsmål om FRMCS kan gi et effektuttak i form av redusert energiforbruk.

For energibruket for selve togfremføringen er situasjonen den samme som vi har forklart ovenfor med hensyn på raskere togfremføring eller bedre trafikkapasitet. Som vi har forklart kan ETCS, og spesielt ETCS level 3, gi en mere optimal kjøring av tog med tanke på akselerasjon og nedbremsing. Dermed vil kjøringen også kunne optimaliseres til å bli mere energioekonomisk. Dessuten kan sannsynligvis sentralt styrte systemer for energidistribusjon i samspill med ETCS sørge for at flere tog på en strekning unngår å akselerere kraftig samtidig, slik at totalbelastningen i kjørestrøms-forsyningen blir for høy. Men dette er ikke noe FRMCS vil kunne løse, eller hente gevinst av alene. GSM-R som bærer for ETCS vil også i denne sammenhengen kunne utføre kommunikasjonsoppgaven mellom tog og infrastruktur like bra som FRMCS vil.

Ser vi på driften av selve togkommunikasjonssystemet FRMCS, og energiforbruket dette representerer, kan vi ikke forvente et lavere energiforbruk enn det vi har med GSM-R i dag. Et 2G-basert GSM-R skal erstattes med et 5G-basert FRMCS. En eventuell økning av energiforbruket for radioaksessnettet vil øke dersom antallet basestasjoner økes. Dersom FRMCS realiseres ved å benytte flere nett samtidig, vil også energiforbruket bli større enn i dag. Dette er forhold vi vil drøfte nærmere i mulighetsstudien og alternativanalysen.

For annen infrastruktur kan digitalisering av jernbanen og bedre utnyttelse av de digitale systemene bidra til energisparing. FRMCS sparer ikke energi i seg selv, men kan bidra til optimalisering og reduksjon av energiforbruk for mange ulike anvendelser som har kraftforbruk i jernbaneinfrastrukturen. For eksempel kan elektrisk forbruk til sporvekselvarme reduseres ved smart styring og regulering, slik at varmen bare står på når det trengs. Imidlertid er dette et prosjekt som allerede pågår innenfor programmet Smart vedlikehold. Her brukes faktisk GSM-R som kommunikasjonsbærer frem til sporvekslene, og FRMCS vil kunne gjøre det samme. På lignende vis kan man finne andre områder hvor FRMCS kan sørge for kommunikasjon til et stort antall objekter, som kan styres med tanke på energisparing. Med IoT-funksjonalitet (Internet of Things) i 5G eksisterer det stort potensiale for å overvåke og styre et stort antall objekter. Dermed kan det sies at FRMCS kan benyttes som kommunikasjonsbærer opp mot et større antall objekter enn det GSM-R kan, men FRMCS sparer i seg selv ikke energi.

- Om FRMCS kan bidra til en mere driftsstabil jernbane er et annet spørsmål som er stilt. Med de store mulighetene som et 5G-nett gir for overvåkning, drift og vedlikehold av et stort antall enheter, er det korte svaret ja. Både tog og infrastruktur kan knyttes til sentrale systemer for drift og vedlikehold på en annen måte enn tidligere. GSM-R har kapasitetsbegrensninger som FRMCS ikke vil ha. Et stort antall nye anvendelser for overvåkning og drift vil bli mulig med FRMCS, slik at vedlikeholdet kan forbedres. FRMCS kan brukes som kommunikasjonsbærer for eksempelvis varsling av ras og flom, for feilovervåkning i både tog og infrastruktur, og i forbindelse med inspeksjon av for eksempel bruer eller kontaktledning ved hjelp av droner. Dette er også forhold vi vil drøfte nærmere i mulighetsstudien og alternativanalysen.
- Bedre reiseinformasjon i sanntid for de reisende er også nevnt. Svaret er at dette er mulig. Med FRMCS i toget, kan det utvikles systemer og applikasjoner som kan gi de reisende løpende oppdatert informasjon om i hvilken grad toget er i rute, eventuelle forsinkelser eller innstillinger på korresponderende avganger, også med transportmiddel, eller til og med informasjon om buss for tog. FRMCS som et 5G-basert bredbåndssystem vil kunne overføre slik informasjon, bare systemet og applikasjonene for å innhente, systematisere og formidle den aktuelle reiseinformasjonen finnes.

Denne innledende drøftingen forteller litt om hva FRMCS kan brukes til, og ikke – hvilke effektuttak som kan forventes. Den svarer også ut noen av vurderingene vi er bedt om å gjøre i KVUen.

2.2 Hva er årsaken til problemet

Dagens globale standard for kommunikasjonssystem for jernbane, GSM-R, går mot slutten av sin levetid. Systemleverandører har annonsert at i løpet av den kommende 10-15-års perioden vil systemstøtten til GSM-R opphøre. Dette setter i prinsippet også rammen for GSM-R systemets levetid i Norge.

Det pågår i dag internasjonalt arbeid med utvikling av en ny global standard for togkommunikasjon. Dette arbeidet skjer i regi av den internasjonale jernbaneunionen UIC (Union Internationale des Chemins de Fer) på oppdrag fra EU-organet European Union Agency for Railways (ERA). Standarden for nytt nettverk går under navnet FRMCS – Flexible³ Railway Mobile Communication System.

2.2.1 Bakgrunn – hva er FRMCS?

I 1997 bestemte den europeiske jernbanesektoren seg for å innføre et nytt felles signalsystem i hele Europa, ERTMS (European Railway Traffic Management System).

Hensikten var å forenkle og modernisere både nasjonal og grenseoverskridende togtrafikk over hele Europa. Dette både med bakgrunn i at store deler av signalanleggene i Europa trengte fornyelse, og i at liberalisering av jernbanetransport med definisjon av europeiske hovedkorridorer for togtrafikk tilsa at man trengte et nytt, felles signalsystem. Det var et krav at systemet skulle følge en felles standard for hele Europa, og at det skulle gi full interoperabilitet for togtrafikk over landegrensene.

ERTMS består av to komponenter, ETCS (European Traffic Control System) og GSM-R (GSM for Railways). ERTMS ble deretter fullstendig spesifisert og inkludert i det europeiske regelverket (CCS TSI - Control-Command System - Technical Specification for Interoperability).

³ Tidligere «Future»



Figur 4 GSM-R -installasjon ved Tolpinrud, Hønefoss (foto: Tore Mundal, Rambøll)

GSM-R ble bygget ut det første tiåret på 2000-tallet i mange europeiske land. Systemet var hele tiden påtenkt en rolle som bærer av datakommunikasjon mellom tog og infrastruktur for ETCS i ERTMS. Imidlertid lå implementering av ETCS langt frem i tid. Først og fremst ble GSM-R den gangen bygget som et kommunikasjonssystem for tale, som erstatning for tidligere analoge ikke interoperable kommunikasjonssystemer i Europa. GSM-R ble implementert som det første felles-europeiske digitale kommunikasjonssystemet for tog. GSM-R bygde på GSM, men fikk funksjonalitet som ikke GSM hadde, som:

- Gruppeanrop
- Anrop med prioritet
- Nødanrop (REC – railway emergency call)

I tillegg ble GSM-R spesifisert med eget dedikert frekvensbånd, separat fra frekvenser det ordinære GSM-systemet benyttet. Dette vil si at det måtte bygges et eget, separat nett for GSM-R langs jernbanen, samt at eget terminalutstyr – i tog og håndholdt – måtte utvikles. GSM-R er i dag i bruk i rundt 30 land på verdensbasis. Systemet må klart sies å være en suksess, med anslått dekning i Europa langs rundt 140 000 km med spor.

GSM (eller 2G) er imidlertid nå en aldrende generasjons mobilnett-standard. I Norge og i en del andre land planlegges det nå for avvikling av kommersielle GSM-nett. GSM-R, som er bygget på GSM, har også nådd en alder som tilsier at systemet nærmer seg slutten av sin levetid.

Teknisk ytelse og kapasitet for dataoverføring er en av grunnene til at det er aktuelt å avvikle systemet. Men en kanskje enda sterkere drivkraft er at systemleverandører ønsker å fjerne produktene fra sin portefølje, og dermed også avslutte systemstøtten for både nettverksprodukter og -systemer.

Den internasjonale jernbaneunionen UIC er eier av GSM-R-spesifikasjonene, med navnet EIRENE (Europe Integrated Railway Radio Network Enhancement). Som en følge av at GSM-R nærmet seg slutten av

livssyklusen startet UIC vurderingene rundt neste generasjons tog-kommunikasjonssystem i 2015. Prosjektet fikk navnet FRMCS (Flexible⁴ Railway Mobile Communication system). Prosjektet startet opp i samarbeid med jernbanesektoren i Europa, primært drevet av annonsert utløp av support fra systemleverandører rundt 2030. I tillegg har bedre kapasitet for datakommunikasjon og nye tjenester og bruksområder for togkommunikasjonssystemet vært drivende for hvordan fremtidens system skulle utformes.

Etter en første innledende fase definerte UIC et strukturert program for å videre vurdere alle aspekter for standardiseringen av det nye systemet, FRMCS. Mellom annet inkluderer dette:

- **Standardiseringsstrategi.** Spesifikasjonsarbeidet skulle foregå i samarbeid med 3GPP⁵ og de relevante arbeidsgruppene der. I tillegg skulle arbeidet foregå i samarbeid med ETSI TC-RT (European Telecommunications Standards Institute - Technical Committee for Rail Telecommunications).
- **Spektrumstrategi.** Siden et nytt system med flere nye applikasjoner krever et utvidet behov for båndbredde, måtte det arbeides for å få tildelt flere spektrumsressurser gjennom dialog med det europeiske post- og teletilsynet CEPT.
- **Definisjon av en ny systemarkitektur for ombordutrustning i tog.** I moderne tog er det mange ulike systemer som har et kommunikasjonsbehov. Man har sett et tydelig behov for å samordne systemene gjennom et felles knutepunkt for kommunikasjon om bord i togene. I stedet for at ulike systemer kommuniserer med egne modemer, radioenheter og antenner, ønskes det en felles teknisk kommunikasjonsinfrastruktur som de ulike systemene knytter seg til. Arbeidsgruppen TOBA (Telecom On-Board Architecture) ble etablert for dette formålet. En ny, standardisert arkitektur for ombordutrustning, som samtidig er fleksibel, skalerbar og mulig å bruke selv om nye generasjoner radioutstyr kommer på markedet, er en svært viktig del av FRMCS.
- **Migrasjon fra GSM-R til FRMCS.** Vurdering av ulike scenarier for migrasjon er viktig for en best og enklest mulig overgang til nytt system. Utredning av tekniske retningslinjer og konsekvenser for både infrastruktureiere og jernbaneoperatører er viktige i denne sammenhengen.

FRMCS-standarden skal utvikles til en global standard for togkommunikasjon som erstatning for GSM-R. Den nye standarden skal bygge på dagens kommersielle standarder for mobilkommunikasjon. Disse utarbeides av 3GPP, som er det globale standardiseringsorganet for mobil kommunikasjonsteknologi.

Standardiseringsløpet i 3GPP har pågått kontinuerlig over mange år, helt siden spesifikasjonsarbeidet for 3G ble påbegynt. Den aktuelle mobilteknologien som nå er i ferd med å bli tatt i bruk, er 5G hvor standardiseringsarbeidet nylig har blitt slutført. FRMCS vil bli spesifisert i samsvar med 5G-standarden. FRMCS skal være fremtidsrettet, og følge 3GPP sitt utviklingsløp. På denne måten vil standarden etter hvert være i samsvar med både 6G og senere generasjoners mobilnett, når 3GPP-utviklingsløpet kommer så langt.

Norge vil på lik linje med andre land være forpliktet til å implementere et togkommunikasjonssystem i samsvar med den nye standarden, for å kunne ivareta interoperabilitetskrav i samtrafikk-forskrifter fra EU (forvaltet av ERA). Første versjon av standarden som kan benyttes for implementering i operativt nett er forventet i slutten av 2026. Implementering i Europa, og dermed også i Norge, vil sannsynligvis kunne starte innen 2030.

⁴ Tidligere Future Railway Mobile Communication System

⁵ 3GPPTM er et partnerskapsprosjekt som samler nasjonale standardutviklingsorganisasjoner (SDOer) fra hele verden bl.a. for å utvikle tekniske spesifikasjoner for mobil telekommunikasjon



Figur 5 GSM-R mast på Nittedal stasjon (foto: Tore Mundal, Rambøll)

2.2.2 Hvorfor er det behov for et nytt togkommunikasjonssystem?

Årsaken til at GSM-R utfases er først og fremst at leverandører har varslet at systemstøtte opphører etter utløp av gjeldende avtaler. Det innebærer at etter tidspunktet for opphør av systemstøtte fra leverandører, vil ikke reservedeler være tilgjengelig, nytt utstyr vil ikke være til salgs, og system- og brukssupport for både maskinvare og programvare vil opphøre. Leverandøraftalene opphører rundt 2030, men det antas at man kan forhandle fram forlengelse med noen få år ved behov.

Disse grunnleggende forutsetningene vil gjelde for Norge, men også for alle andre land i Europa, og i verden for øvrig. GSM-R er i dag i bruk i rundt 20 land i Europa, og samtlige av disse må gå over til en ny generasjon standard for togkommunikasjon når GSM-R utfases.

GSM-R er utviklet som et system som er delvis proprietært, selv om det er bygget på GSM-standarder og generell GSM-teknologi. I dette ligger det at selv om systemkomponenter og terminaler er bygget på GSM, så krever både terminaler og basestasjonsutstyr spesifikk hardware for GSM-R. Dette blant annet fordi egne frekvensbånd i 900 MHz-båndet benyttes for opp- og nedlink. Videre inneholder terminaler spesiell funksjonalitet som GSM ikke har, slik at GSM-R terminaler må utvikles spesielt for jernbaneføremål. Dermed blir volumene for produksjon relativt små sammenlignet med kommersielle terminaler. Videre vil også kjernenettssystemene for GSM-R også inneholde spesiell funksjonalitet som gjør at spesiell programvare benyttes for å produsere tjenestene som er nødvendige for jernbanedrift.

Med bakgrunn i dette er det et ønske om at neste generasjon togkommunikasjonssystem i større grad skal bestå av hylleware-produkter, det vil si maskinvare og programvare som er tilgjengelig i det kommersielle markedet. I og med at GSM-R både er gammel teknologi basert på 2G, og er utviklet som et delvis proprietært system, er det vanskelig å videreutvikle dette til et mer moderne bredbånd kommunikasjonssystem, som kan tilby tjenester og datarater i samme grad som kommersielle mobilnett vil gjøre.

Dataratene som støttes av GSM-R, er svært lave sammenlignet med det kommersielle 4G og 5G-nett kan tilby. GSM-R i Norge bruker i dag pakke data basert på GPRS. Dette gir kapasitet og ytelse tilstrekkelig til å

håndtere både togfremføring og taletrafikk. Togfremføringen med bærertjenester for data gjennom GSM-R er lite kapasitetskrevende; typisk 50-100 kb/s.

Behov for økt datakapasitet utelukkende for togfremføring basert på ERTMS og ETCS er i dag ikke en drivkraft som tilsier at et nytt bredbånds radiosystem er nødvendig.

Saken er snarere den at jernbanesektoren i Europa i dag ser et stort potensial i det å innføre nye tjenester og applikasjoner for et stort spekter av ulike anvendelser, både om bord i tog og for infrastrukturen. Førerløse tog, dvs. togfremføring med ATO (Automatic Train Operation), er en fremtidig måte å fremføre tog på som kan kreve større båndbredde. Et stort antall andre applikasjoner og anvendelser kan tenkes innført for å automatisere operasjon, drift og vedlikehold. Samtidig kan det også tenkes at nye tjenester for de reisende kan bli realisert. Alt dette kan sies å gi et akkumulert behov for båndbredde og datakapasitet som blir betydelig, og som utløser et behov for bredbånds togkommunikasjonssystemet. Disse anvendelsene har blitt omtalt som «Den digitale jernbanen». Dette er noe som får betydelig oppmerksomhet, og det pågår blant annet større prosjekter i regi av EU for å utrede hvordan jernbanesektoren kan effektiviseres og forbedres ved hjelp av moderne bredbånds kommunikasjonsteknologi.

Innenfor det europeiske jernbanenettet gjelder EU sine direktiver og forskrifter. Forskrifter for samtrafikk er en viktig del av dette. Norge er i denne sammenhengen gjennom EØS-avtalen forpliktet til å følge resten av Europa ved overgang til ny kommunikasjonsstandard, slik at krav til interoperabilitet opprettholdes. Tog skal opprettholde kommunikasjonen ved kryssing av landegrensler. Samtidig skal åpen konkurranse i Europa gjøre togoperatører i stand til å kunne operere med sitt togmateriell i alle land. Derfor er en felles standard og full interoperabilitet nødvendig for å oppfylle krav i EU's fjerde jernbanepakke. EU ved ERA vil pålegge sine medlemsland å ta i bruk FRMCS som standard for togkommunikasjonssystemet. Det er derfor ikke et spørsmål **om** FRMCS skal innføres i Norge, men snarere et spørsmål om **når**, og i tillegg **hvordan**.

Implementering av FRMCS i Norge må ses i sammenheng med implementering i resten av Europa. Det må skje i samarbeid med våre naboland, og det må også skje på en måte som sikrer at togtrafikk opprettholdes i overgangsfasen mellom to systemer. Dette er grunnleggende forutsetninger som ikke kan fravikes.

I konseptvalgutredningen for FRMCS må det derfor ses på hvordan den norske implementasjonen skal formes. Innenfor rammeverket som UIC sin standard vil gi, vil det være et gitt mulighetsrom for det norske nettet som skal bygges.

Denne konseptvalgutredningen vil derfor hovedsakelig måtte fokusere på spillerrommet og mulighetsrommet som eksisterer for den norske jernbanen, og deretter vurdere hvordan ulike alternativer for innføring av FRMCS samlet kan tjene formålet på en samfunnsmessig best mulig måte.

2.3 Prosessen i Europa og i UIC

FRMCS utvikles i et økosystem av virksomheter, standardiseringsfora og myndigheter.

TSI-ene (Technical Specification for Interoperability) er europeiske jernbane standardene. TSI-ene blir norsk forskrift når de tas inn i EØS-avtalene gjennom hjemmel i Samtrafikkforskriften.

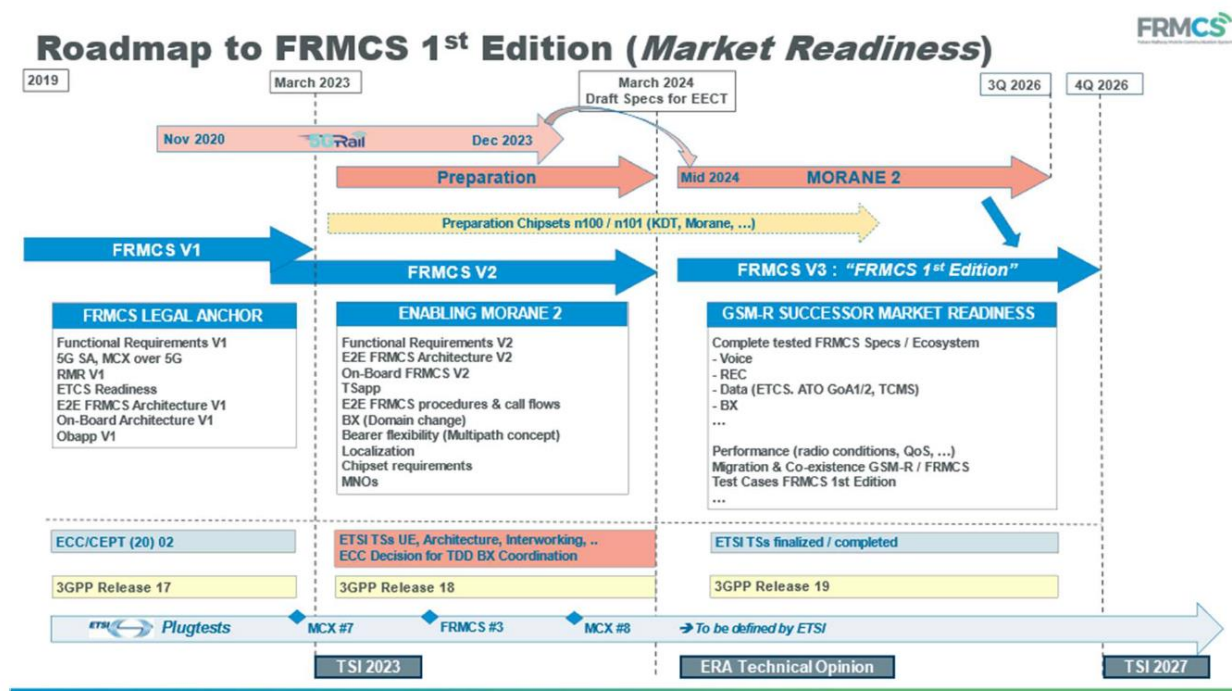
ERA har en avtale med UIC om å bearbeide et grunnlag til FRMCS teknologien og anbefalinger for jernbanesektoren, med sikte på neste versjon av TSI-CCS i 2026. UIC har produsert en del dokumenter som gir grunnlag til videre standardisering, eksempelvis:

- UIC / Functional Working Group har produsert user requirements, inkludert definisjoner på mission critical (eks. Kap.6 I FU-7100)
- frmcs_user_requirements_specification-fu_7100-v5.1_0.pdf
- UIC architecture and technology group har produsert System principles Use Cases (FW-AT 2504) og kommer til å produsere System Requirement Specifications (FW-AT 7800).
- The Telecoms On-Board Architecture (TOBA) working group har produsert TOBA FRMCS system requirements specifications TOBA-7530.
- The Functional Interface Specification har produsert Functional Interface Specification FIS-7970.

Dagens forventede teknologi for FRMCS er 4G (LTE-A pro) og 5G. ETSI dermed et viktig standardiseringsorgan, hvor bl.a. system definisjon i transport domain og service domain av 5G er spikret gjennom dokumenter Tekniske Specifications, bl.a. TS103765-1 og TS103765-2. Quality of Service vil defineres etter kravnivåer/klasser. UIC dokumentene er derfor et viktig utgangspunkt til 3GPP/ETSI.

Tilgang til spektrum standardiseres av ECC/CEPT i Europa. ECC decision 20(02) spesifiserer bruk av spektrum i 900 MHz (n8) og 1900 MHz (n101) båndene for FRMCS tjenestene. Den nasjonale myndigheten Nkom regulerer innføringen i norske loven av det CEPT anbefaler. I FRMCS tilfelle, følger Nkom rekommandasjoner fra ECC decision 20(02) og har tillat bruk av det komplette 900-båndet (5.6 MHz x2).

UICs aktiviteter, 3GPP-standarder, tilgang til frekvens gjennom CEPTs anbefalinger og publisering av TSI-ene forsøkes synkronisert. Prosjektene MORANE 1 og 2 gjennomfører tester som gir grunnlag til milepæler tester (plug tests). 4Q 2026 er i så fall en viktig milepæl med ny TSI og dermed den 3. versjonen av FRMCS. Se Figur 6.



Figur 6 Aktiviteter for utvikling av FRMCS

2.4 Berørte parter

Berørte parter ved implementering av FRMCS er primært Bane NOR, togoperatørene og eiere av togmateriell. Men i lys av at det er potensiale for synergi-effekter og dermed store kostnadsbesparelser ved å samordne eller integrere andre aktører sine nett med FRMCS-nettet, er det god grunn til å nevne andre mulige berørte parter. Dette er Nødnett (representert ved DSB) og kommersielle teleoperatører som sørger for mobildekning langs jernbanenettet. Indirekte er dermed også både nødnettene og de togreisende berørte parter, som brukere av disse kommunikasjonsnettene.

Bedre kommersiell mobildekning langs jernbanen vil kunne komme de reisende til gode og sannsynligvis gjøre tog til en mere attraktiv transportform. Nødnett-dekning langs jernbanen vil være gunstig for nødnettene, og er i tillegg et krav i tunneler over 1000 meters lengde.

2.5 Eierskap og samvirke med andre nett

Hvem som skal ha eierskap og systemansvar for det nye FRMCS-nettet er et sentralt spørsmål. Dagens GSM-R-nett er eid, operert og vedlikeholdt av Bane NOR. Den fremtidige FRMCS-løsningen er modulært oppbygget, noe som gjør det mulig å etablere tjenesteleveransemodeller på en helt annen måte enn det som var mulig for GSM-R. I tillegg til å unngå leverandør lock-in.

Arkitekturen til FRMCS understøtter tjenesteleveransemodeller på en helt annen måte enn GSM-R. For det første er FRMCS modulært oppbygget med klare grensesnitt mellom delsystemene. For det andre muliggjør 5G-standarden, som vil benyttes i FRMCS, flere ulike virtuelle (logiske) mobilnett basert på en felles fysisk infrastruktur. Det vil blant annet si at en enkelt basestasjons-installasjon kan formidle signaler til flere virtuelle mobilnett samtidig. Dette kan kalles nettverksdeling eller lag-delning av nettet. «Slicing» er et annet benyttet begrep for det samme.

I lys av dette melder det seg spørsmål om FRMCS-nettet, eller delsystemer av dette, kan bygges, eies og opereres av andre aktører enn Bane NOR. Det melder seg også spørsmål om FRMCS-nettet kan opereres sammen med andre nett, ved hjelp av nettverksdeling. Dette aktualiseres av to forhold:

- Det skal bygges ut nytt Nødnett i Norge basert på ny teknologi som skal erstatte dagens Nødnett, som er basert på TETRA-standarden. Det har nylig blitt gjennomført en konseptvalgutredning (KVU)

for nytt Nødnett, og kvalitetssikring (KS1) av denne er ferdigstilt. Det er besluttet å igangsette et forprosjekt som skal planlegge og forberede etablering av et nytt nødnett, samt overgangen fra dagens Nødnett til det nye. Det valgte konseptet for et nytt nødnett kombinerer statlig eierskap og kjøp fra kommersielle mobiloperatører. Det betyr at staten skal anskaffe og forvalte oppdragskritiske tjenester for nød- og beredskapskommunikasjon. Slike tjenester omfatter i hovedsak gruppekommunikasjon, som ikke tilbys av de norske mobiloperatørene i dag.

- Det er i dag mange steder dårlig kommersiell mobildekning langs norske jernbanestrekninger. Det er et uttalt mål om å bedre dekningen for de reisende, slik at reisetid kan utnyttes bedre og for at tog skal bli et mer konkurransedyktig transportalternativ. Det har også nylig blitt gjennomført en KVVU for dette; «Bedre nettdækning langs jernbanen». Denne har konkludert med anbefaling om tiltak for å bygge ut de kommersielle nettene langs deler av jernbanestrekninger i Norge. Dette prosjektet er nå i forprosjektfasen, og dette arbeidet gjennomføres av Bane NOR.

Det er en tydelig definert oppgave for KVVU FRMCS å se på mulige synergier og besparelser ved å kombinere implementering av FRMCS med disse to prosjektene – jfr supplerende tildelingsbrev nr 3 /22 av 4. april 2022 fra Samferdselsdepartementet⁶.

«Arbeidet skal ses i sammenheng med og hente erfaringer fra arbeidet med forprosjekt for bedre nettdækning langs jernbanen og KVVU for nytt nødnett, herunder om det er synergier å hente ved å utnytte deler av de kommersielle mobilnettene».

Videre sier det tildelingsbrevet følgende:

«Nye konseptuelle eierskapsstrukturer, herunder hvorvidt nettverket skal bygges, eies og driftes av Bane NOR, eller om man skal basere seg på kommersielle kommunikasjonsnett som transportbærer for de løsninger Bane NOR drifter. I dette ligger også vurdering av båndbreddeposisjoner og basestasjonsbehov».

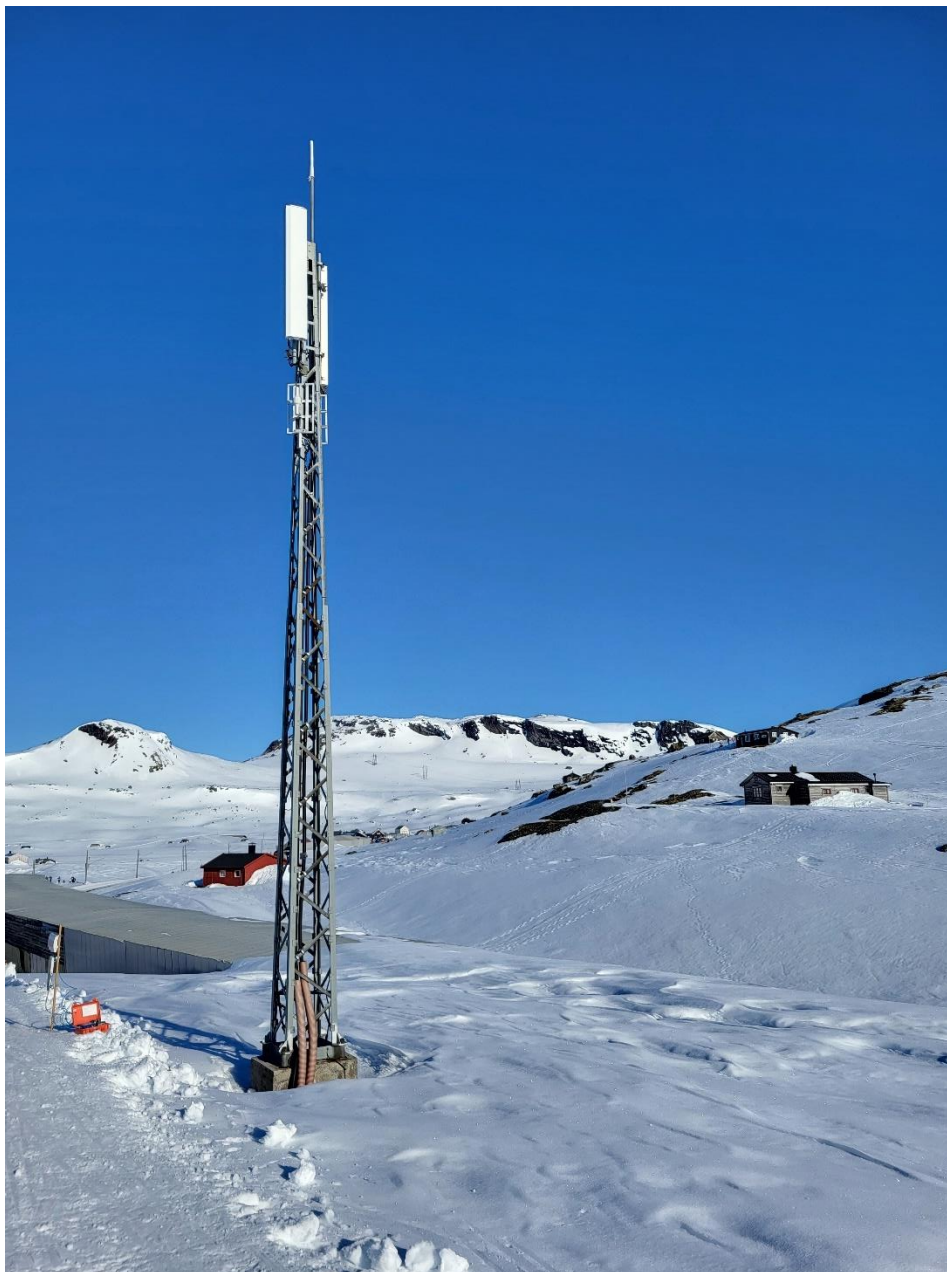
Eierskap og driftsansvar er med andre ord et sentralt tema for konseptvalgutredningen. Mulighetsrommet som eksisterer for ulike former for eierskap og driftsformer er relativt stort, og må drøftes grundig.

Et annet hovedtema for utredningen er kostnadmessige forhold. Utbygging av et nytt mobilnett for togkommunikasjon basert på FRMCS-standard, er en stor statlig investering. Når den norske staten skal gjennomføre et prosjekt av denne størrelsen, forventes det at midlene investeres og brukes på en samfunnsmessig best mulig måte. Størst mulig samfunnsmessig gevinst, effekt og nytte for hver investert krone må være et klart og tydelig mål for prosjektet. Dermed må konseptvalgutredningen ha dette som et tydelig overordnet mål under vurderingen av de ulike alternativene for implementasjon.

6

<https://www.regjeringen.no/contentassets/07e14e608dbb4560bab3e8cc6371379c/2022/statbudsjettet-2022-supplerende-tildelingsbrev-nr.-3-jbd.pdf>

3 Behovsanalyse



Figur 7 GSM-R antenneinstallasjon ved Finse (foto: Tore Mundal, Rambøll)

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

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

- Behovsanalysen kartlegger relevante samfunnsmessige behov med tre ulike innfallsvinkler:
- Normative behov: Utleddet 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.

Det vil ofte være betydelig overlapp mellom de tre tilnærmingene i den forstand at enkelte behov identifiseres fra flere innfallsvinkler.

Det ble gjennomført workshop 26.09.2022 med sentrale interessenter fra jernbanesektoren, DSB/Nødnett, NKOM og mobilnettoperatører.

3.1 Normative behov

Normative behov tar utgangspunkt i overordnede politiske mål, lover og forskrifter.

Tabell 1 Normative behov

Kilde	Føringer og formål
Lover	
Lov om anlegg og drift av jernbane, herunder, sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m.	§ 1 Loven gjelder anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane, forstadsbane og lignende sporbundet transportmiddel. Loven gjelder også faste og løse innretninger og all aktivitet knyttet til jernbane.
Lov om elektronisk kommunikasjon	§ 1-1 Lovens formål er å sikre brukerne i hele landet gode, rimelige og fremtidsrettede elektroniske kommunikasjonstjenester, gjennom effektiv bruk av samfunnets ressurser ved å legge til rette for bærekraftig konkurranse, samt stimulere til næringsutvikling og innovasjon.
Lov om tilrettelegging for utbygging av høyhastighetsnett for elektronisk kommunikasjon	§ 1-1 Lovens formål er å bidra til kostnadseffektiv etablering av høyhastighetsnett for elektronisk kommunikasjon ved å sikre tilgang til, og informasjon om, passiv fysisk infrastruktur og bygge- og anleggsarbeider.
Forskrifter	
Forskrift om samtrafikkevnen i jernbanesystemet	§ 1-1 ...Hensikten er å definere et optimalt nivå for teknisk harmonisering, og gjøre det mulig å forenkle, forbedre og utvikle internasjonal jernbanetransport i EØS og med tredjestater. § 2-1 ...Byrået utarbeider tekniske spesifikasjoner for samtrafikkevne (TSI) for hvert delsystem. Et delsystem kan omfattes av flere TSI-er, og en TSI kan omfatte flere delsystemer.
Forskrift om sikkerhet på jernbanenettet	§ 1-1 Formålet med denne forskriften er å sørge for at jernbanevirksomheten drives sikkert, og at vilkårene som er satt for jernbanevirksomheten i eller i medhold av jernbaneloven er oppfylt, slik at det etablerte sikkerhetsnivået på jernbanen opprettholdes og, om nødvendig, forbedres.

Forskrift om elektronisk kommunikasjonsnett og elektroniske kommunikasjons tjenester	§ 1-1 Forskriften gjelder rettigheter og plikter for tilgang for tilbydere og andre brukere til elektronisk kommunikasjonsnett og tilbud av elektronisk kommunikasjons tjeneste
Forskrift om autorisasjon for virksomhet som utfører installasjon og vedlikehold av elektronisk kommunikasjonsnett	§ 1 Formålet med forskriften er å sikre at elektronisk kommunikasjonsnett (ekomnett) installeres og vedlikeholdes slik at krav til elektrisk sikkerhet, elektromagnetisk kompatibilitet (EMC), frekvensbruk og kvalitet blir ivarettatt, og at personell i virksomhet som utfører installasjon og vedlikehold har nødvendige kvalifikasjoner.
Forskrift om elsikkerhet i elektroniske kommunikasjonsnett	§ 1 Forskriften skal hindre at spenninger og strømmer i elektronisk kommunikasjonsnett skader liv, helse og eiendom.
EU-regelverk og internasjonale føringer	
EU-kommisjonen TSI CCS – Annex to the Commission Implementing Regulation on the technical specification for interoperability relating to the control-command and signalling subsystems of the rail system in the European Union and repealing Regulation (EU) 2016/919	Beskrivelse av omfang, tekniske spesifikasjoner og føringer, interoperabilitet, implementering, HMS, overgang fra eksisterende systemer, kontrollparametere
Stortingsmeldinger	
Meld. St. 28 Vår felles digitale grunnmur	Regjeringen setter som mål at tilbydere (av 5G red anm) i løpet av 2025 skal levere nasjonal 5G-dekning om lag på nivå med 4G-dekningen i 2020. Regjeringen vil legge til rette for at 5G-dekning langs viktige hovedferdselsårer, både vei og jernbane, skal prioriteres.
Meld. St. 20 2020-2021 Nasjonal transportplan	<ul style="list-style-type: none"> • Effektiv bruk av ny teknologi • Globale og nasjonale utviklingstrekk • Økt sikkerhet for jernbanetransport • Mer for pengene i transportsektoren
Planer og føringer	

Normative behov er knyttet til nasjonale mål for transportpolitikken, samt lover og forskrifter. Overnasjonale behov, som implementert EU lovgivning faller og inn under dette begrepet.

Regjeringen setter som mål at tilbydere i løpet av 2025 skal levere nasjonal 5G-dekning om lag på nivå med 4G-dekningen i 2020. Regjeringen vil legge til rette for at 5G-dekning langs viktige hovedferdselsårer, både vei og jernbane, skal prioriteres.

Siden GSM-R skal fases ut er det viktig med et nytt system er klar til å ta over. Standard for nytt nettverk (FRMCS) er under utarbeidelse i EU. Første versjon er utgitt 2023.

EU har stilt krav til jernbanesektoren om interoperabilitet. Dette vil si at systemene i ulike land skal være like slik at tog kan kjøre på tvers av landegrenser. Dette kravet er implementert i Norge gjennom Samtrafikkforskriften.

Formålsparagrafen i samtrafikkforskriften sier: "Forskriften fastsetter de vilkårene som skal oppfylles for å oppnå samtrafikkveie på jernbanenettet på en måte som er forenlig med sikkerhetsforskriften. Hensikten er å definere et optimalt nivå for teknisk harmonisering, og gjøre det mulig å forenkle, forbedre og utvikle internasjonal jernbanetransport i EØS med tredjestater. Forskriften skal bidra til å gjennomføre Det felles europeiske jernbaneområdet og gradvis gjennomføre det indre marked på jernbanen."

Nasjonal transportplan, Meld. St. 20 2020-2021

Det overordnede målet for Nasjonal transportplan er: "Et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050", med underpunkter:

- Mer for pengene
- Effektiv bruk av ny teknologi
- Bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål
- Nullvisjon for drepte og hardt skadde
- Enklere reisehverdag og økt konkurransevne for næringslivet

Basert på de overordnede målene i Nasjonal transportplan er det utarbeidet egne mål for jernbanesektoren. Drift vedlikehold og fornying av jernbanen står sterkt med blant annet planer om å redusere investeringssetterslepet og videre innføring av ERTMS. Det skal bygges opp under jernbanens fortrinn som klimavennlig, kapasitetssterk og arealeffektiv del av transportsystemet og er essensielt for persontransport mellom de store byene og godstransport over lengre distanser.

Nettdekning for de reisende er en prioritert investering for regjeringen. Arbeidet med nettdekning skal sees i sammenheng med nytt nødnett og FRMCS for å sikre synergier.

Siden konseptvalgutredningen omhandler innføringen av FRMCS for hele jernbanenettet blir det ikke ansett som hensiktsmessig å undersøke behov og mål i regionale og lokale planer.

3.2 Etterspørselsbaserte behov

FRMCS skal innføres i det norske jernbanenettet som en erstatning for GSM-R.

Det eksisterer ikke noe annet alternativ. Gjennom pålegg fra EU og ERA, samt samtrafikk-forskriften, er vi pålagt å innføre FRMCS på linje med andre land i Europa. Det er derfor ikke et spørsmål om FRMCS, skal innføres i Norge, men et spørsmål om *hvordan og i hvilken form* systemet skal implementeres, og i tillegg *når*.

Videre er det slik at når FRMCS uansett skal innføres som nytt system for tog-kommunikasjon - hvilke andre funksjoner og nytte-effekter, og dermed gevinster, kan oppnås samtidig?

Når vi betrakter behovene som jernbanen i Norge har, eller kan ha med tanke på hva et nytt kommunikasjonssystem kan tilby, ser vi at behovet kan deles i tre nivåer:

1. Virksomhetskritisk kommunikasjonsbehov (togkommunikasjonsfunksjonen; Tale, ERTMS, ATO)
2. Kommunikasjonsbehov for overvåkning, drift og vedlikehold av tog og infrastruktur
3. Kommunikasjonsbehovet til de reisende

Dette kan visualiseres slik:



Figur 8 Behov kommunikasjonssystem

3.2.1 Virksomhetskritisk kommunikasjon

Det virksomhetskritiske kommunikasjonsbehovet er også det viktigste. Dette dreier seg om kommunikasjonen som er nødvendig for togfremføringen. Uten datakommunikasjon mellom tog og infrastruktur er ikke togfremføringen mulig. Derfor er kommunikasjonen helt nødvendig.

Dette innebærer:

- Trafikkstyring ved hjelp av ETCS/ ERTMS
- Talekommunikasjon
- Kommunikasjon for fremtidig bruk av ATO

Datatrafikken som går i begge retninger mellom tog og trafikkstyringssentral, er absolutt nødvendig i ERTMS/ ETCS. Datatrafikken brukes til å gi tog kjøretillatelse, eller til å gi ordre om nedbremsing og stopp. Toget melder tilbake informasjon om posisjon og hastighet for at trafikkstyringssystemet skal ha oversikt

over det totale trafikkbildet. Hvis kommunikasjonen brytes, må togene bremse ned og stoppe. Uten fungerende kommunikasjon, er det kun tillatt å kjøre med sikthastighet. Dette vil si at ved kjøring i enkeltspor, kan ikke toget kjøre raskere enn at det kan bremse ned og stoppe på halve avstanden av sporstrekket som til enhver tid er synlig for togfører fremover langs sporet. Dette fordi det kan komme et møtende tog som også må kunne stoppe i tide.

Talekommunikasjon er også viktig for togfremføringen. I dag bruker togfører GSM-R til å kommunisere med togleder på trafikkledersentralen. Ombordpersonalet snakker også med hverandre. For eksempel ved stopp på stasjoner når det er situasjoner hvor togfører må kommunisere med konduktør før dørene kan lukkes og toget kan kjøre. Systemet har mulighet for nødanrop ved faresituasjoner, evakuering eller ulykker. Systemet har også funksjonalitet for gruppeanrop, hvor togleder kan sende felles anrop til flere tog samtidig. Ved arbeid langs spor har alltid hovedsikkerhetsvakt GSM-R -telefon som kan brukes til å ringe til togleder eller togfører, om det blir nødvendig.

Med innføring av FRMCS må det nye systemet ivareta de samme taletjenestene. Alle anropstyper må støttes av ny produksjonsplattform, slik at brukere av taletjenester kan bruke disse på uendret måte.

ATO – Automatic Train Operation (automatisk togfremføring) er en fremtidig driftsform og måte å kjøre tog på. ATO er ikke i bruk i Norge i dag, men er aktuelt for fremtidig bruk sammen med ERTMS/ ETCS. ATO skal redusere eller eliminere togfører sine oppgaver. ATO har 4 ulike automatiserings-grader, og med økende grad av automatisering, reduseres togfører sine oppgaver, eller de bortfaller helt.

Med ATO kreves økende overvåking, kontroll og styring av det som foregår i toget og fremover langs linjen. Kommunikasjonen mellom tog og infrastruktur må bære datatrafikken for dette, på lik linje med ordinær datatrafikk for ERTMS/ ETCS. Vi kan derfor betrakte datatrafikk for ATO som en tilleggs-datatrafikk for togfremføringen, ut over det som ETCS i seg selv krever. Omfanget av denne tilleggstrafikken vil etter alt å dømme avhenge av hvilken av de 4 automatiseringsnivåene vi snakker om.

3.2.2 Kommunikasjon for overvåking, drift og vedlikehold

Sekundært har vi et kommunikasjonsbehov for teknisk overvåking, drift og vedlikehold av jernbanesystemet. Dette gjelder både tog og infrastruktur. Her eksiterer det et svært stort spekter av ulike kommunikasjonsbehov. Dette er:

- Tilstandsovervåking av togmateriell
- Tilstandsovervåking av infrastruktur på og langs linjenettet
- Styring og kontroll av infrastruktur
- Muligheter for fjernstyrt utføring av drift, vedlikehold og feilretting

Begrepet «den digitaliserte jernbanen» har blitt brukt om mulighetene som åpner seg når jernbanesystemet kan ta i bruk bredbånds kommunikasjon for slike formål. Mange slike tjenester eksisterer i dag, men enda flere tjenester og anvendelser kan utvikles og tas i bruk i fremtiden. Teknologi basert på 5G vil muliggjøre «Internet of Things» (IoT) i samfunnet. Dette innebærer nær sagt alle tenkelige objekter skal kunne kommunisere gjennom internett, og muliggjøre monitorering, kontroll og fjernstyring.

5G-kommunikasjon ved hjelp av FRMCS kan gjøre det samme for jernbanen. Dette er et tema det snakkes mye om i ulike europeiske jernbanefora for tiden. Det snakkes om «digital transformasjon av jernbanen», ved at automatisering, forbedret kommunikasjonsteknologi og nye applikasjoner. Et svært stort mulighetsrom åpner seg med tanke på overvåking ved hjelp av sensorer både ombord i tog og for infrastrukturen. For eksempel kan feildeteksjon ved hjelp av sensorovervåking gjøre at feil rettes før de gir driftsstans, slik at oppetid for systemet økes. Et nesten uendelig antall muligheter for anvendelser kan eksistere, alt fra hjulslagsdeteksjon, overvåking av planoverganger, flom- og skredvarsling til videoinspeksjon av for eksempel bruer eller kontaktledningsanlegg.

Dessuten har moderne togmateriell i seg selv systemer som krever kommunikasjon for ikke-driftskritiske behov, slik som passasjertelling ved dører, energimåling og ombordutrustning for systemovervåking av tekniske funksjoner i toget. Disse kommunikasjonsbehovene har frem til nå blitt fylt ved at hvert system har et eget modem for kommunikasjon ved hjelp av kommersielle mobilnett. Imidlertid har ikke de kommersielle nettene dekning alle steder langs jernbanen, slik at data lagres og sendes når toget kommer innenfor dekning igjen.

3.2.3 Kommunikasjon for de reisende

Bedre mobildekning for passasjerer om bord i tog har vært på agendaen i flere tiår i Norge. Imidlertid har det vist seg vanskelig å få de norske mobiloperatørene til å prioritere utbygging av bedre dekning langs jernbanen. Årsaksbildet bak dette er nok sammensatt, men det har tydelig vist seg at mobilnettoperatørene (MNOene) finner det lite attraktivt, og anser utbygging som lite kostnadseffektiv. Det å bygge dekning utelukkende for jernbanestrekninger har tapt, og taper fremdeles i prioriteringen opp mot andre områder som har større kundetetthet og trafikkgrunnlag for operatørene.

Derfor er det grunner til at staten skal finansiere kommersiell utbygging langs jernbanen, helt eller delvis, eller ved hjelp av ulike andre typer incentiver. Dette er gjenstand for grundig drøfting i KVV-en «Bedre nettdækning langs jernbanen» fra 2020.

Konseptvalgutredning for «Bedre nettdækning langs jernbanen» ble lagt frem i 2020. Etter at KS1-milepæl ble passert, gikk prosjektet inn i forprosjektfasen. På nåværende tidspunkt, i september 2023, er ikke dette arbeidet ferdigstilt. Forprosjektet skal utrede omfang, tekniske løsninger og strategi for gjennomføring. De fleste spørsmål som handler om kostnader og tekniske løsninger vil bli behandlet i forprosjektets anbefaling. Vår oppgave er å vurdere på hvilken måte FRMCS kan ses i sammenheng med dette prosjektet.

I Norge eksisterer det tre kommersielle mobiloperatører som har hvert sitt nett. Foruten dette eksisterer det et større antall virtuelle operatører (MVNO'er), som leier kapasitet i et av disse tre nettene. For at flest mulig av de togreisende skal kunne få nytte av kommersiell dekning langs jernbanen, må alle de tre operatørene være til stede samtidig. Om en av operatørene ikke er til stede, vil en prosentvis andel av passasjerene ikke ha et tjenestetilbud. Det er derfor slik at FRMCS ikke kan sørge for et tilfredsstillende tjenestetilbud for de reisende, med mindre FRMCS gjennomfører bygging av dekning med alle de tre operatørene.

For utredning av FRMCS i denne KVV-en, er det dermed viktig å studere i hvilken grad, eller på hvilke mulige måter FRMCS-prosjektet kan legge til rette for at nettdkningsprosjektet kan hente gevinster fra FRMCS. Innenfor det totale mulighetsrommet for FRMCS kan det sies å gi synergieffekter i større eller mindre grad. Tilsvarende må det også kunne sies at FRMCS i større eller mindre grad vil kunne hente ut synergieffekter fra det prosjektet «Bedre nettdækning langs jernbanen» vil bygge. Det vil sannsynligvis være nytte-effekter og gevinster å hente ut for den norske staten, hvis begge prosjekter velger en implementeringsform som kommer det andre prosjektet til gode.

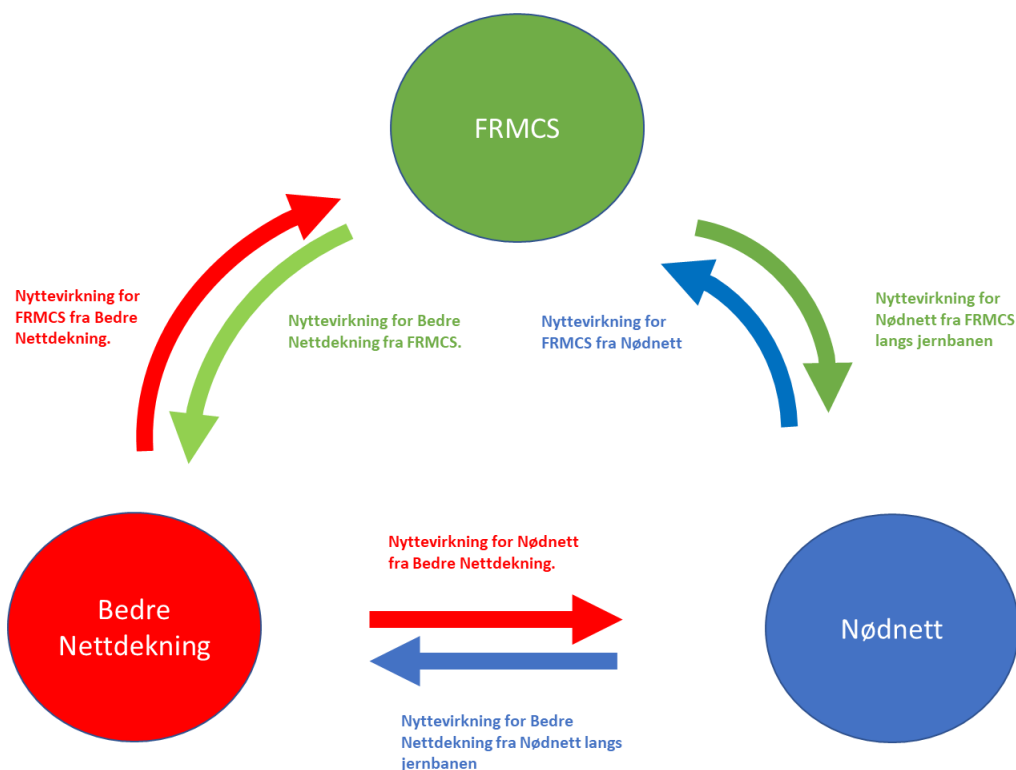
3.2.3.1 Samvirke mellom FRMCS og andre nett – «Bedre nettdækning langs jernbanen» og Nødnett

Foruten prosjektet «Bedre nettdækning langs jernbanen» som skal gi bedre kommersiell dekning langs jernbanen med alle de tre norske mobiloperatørene, er det også aktuelt å se prosjektet som utreder nytt Nødnett i Norge i sammenheng med FRMCS. Oppdragsbrevet for denne KVV-en ber oss også eksplisitt om å se sammenhenger med disse prosjektene, og vurdere om det er synergier å hente ved å utnytte deler av de kommersielle mobilnettene.

Det er slik at mobilnettene for de tre prosjektene, FRMCS, Nødnett og tre kommersielle nett, har egenskaper som gjør at de kan utøve gjensidig nytte for hverandre. Eksempelvis kan utbygging av bedre nettdækning legge til rette for FRMCS når dette nettet skal bygges. Et annet eksempel kan være at bygging av Nødnett kan også komme prosjektet «Bedre nettdækning langs jernbanen» til gode, for eksempel i tunneler, hvor nytt nødnett må implementeres med kommersiell dekning der det er Tetra-dekning i dag.

Disse mulighetene for gjensidig nyttepåvirkning i større eller mindre grad, må utredes. Det er i radioaksessnettene vi ser den største muligheten for gevinst ved å utnytte infrastruktur på tvers av aktørene som har mobilnett. Det vil si at det er for radioaksess og passiv infrastruktur som til sammen utgjør lokasjoner i radionettet det er mulig å oppnå samvirke. For kjernenett, MCx-tjenester og transmisjon er ikke mulige effekter av samvirke og synergi like fremtredende, hverken med tanke på kostnader eller på andre måter. En lokasjon har gjerne en verdi på minst 2 MNOK. Lokasjoner man ikke trenger å bygge fordi man kan utnytte eksisterende infrastruktur kan gi betydelig gevinst.

Potensialet for gjensidig nytte mellom ulike nett kan overordnet visualiseres på følgende måte:



Figur 9 Nyttevirkninger FRMCS, Bedre nettdekning og Nødnett

Figuren viser altså potensiale for uttak av nytteeffekter mellom de tre prosjektene. Disse tre prosjektene som alle handler om utbygging av mobilkommunikasjon i statlig regi, har flere fellestrekk og «fellesnevner». Dette dreier seg først og fremst om infrastrukturen for radioaksess i mobilnettene, siden det er her den vesentlige delen av kostnadene ligger.

Infrastruktur for radioaksess, kan grovt inn deles som beskrevet nedenfor. Videre kan denne infrastrukturen utnyttes eller deles på en måte som kommer flere aktører til gode. Dette kan oppsummeres slik:

- **Passiv infrastruktur på fritt land.** Mobilnettene kan utnytte passiv infrastruktur på tvers mellom aktørene. Master, hytter, strømforsyning og annen felles infrastruktur kan utnyttes slik at hvert nett ikke må bygge egen passiv infrastruktur. Innplassering av andre aktørers radioutstyr i master og hytter reduserer behovet for egne lokasjoner.
- **Installasjoner i tunnel.** Dekning i jernbanetunneler bygges som regel ut ved hjelp av felles infrastruktur. Denne har vi definert som passiv infrastruktur i KVVU-prosjektet, selv om den også inneholder aktive komponenter. Det vanlige er at det etableres felles repeater- og antenneanlegg i tunnelene, og at alle aktører som skal være til stede kobler seg til dette. Radiorepeatere må stå med ca 500 meters mellomrom i tunnelen, og signalene fra alle aktører som skal ha dekning distribueres over et optisk fiberanlegg fra basestasjonene. Antenneanlegget består av strålekabel som «lekker» radiosignalene som radiorepeaterene sender ut, slik at dekingen blir «jevn» i hele tunnelen.
- **Radioaksessnett.** Moderne 5G-teknologi åpner for at et radionett kan deles mellom flere aktører. Det kan opprettes virtuelle nett, som kan betraktes som adskilte fra hverandre. På denne måten kan eieren av nettet lage et eller flere «nett i nettet» som andre aktører kan disponere til eget bruk. I 5G kalles dette «skivedeling» eller «slicing». På denne måten kan en aktør etablere radiodekning og et tjenestetilbud uten at det etableres egen nettverksinfrastruktur eller passiv infrastruktur.

For å forstå hvordan infrastruktur kan utnyttes på tvers av nettene på best mulig måte, er det disse faktorene vi må se på. Kostnadene ved å bygge og operere nett vil reduseres dersom det er mulig å utnytte denne infrastrukturen på en god og fornuftig måte.

De to førstnevnte behovene som FRMCS skal fylle, virksomhetskritisk kommunikasjon for togfremføring, samt kommunikasjon for drift og vedlikehold av tog og infrastruktur, vil kunne realiseres med ett dedikert radionett. Men bedre nettdekning for de reisende kan *ikke* realiseres med kun ett nett. Tre kommersielle nett samtidig er nødvendig for at ingen deler av kundemassen de reisende representerer skal oppleve å være uten dekning. På denne måten skiller de to førstnevnte behovene seg fra det siste.

Videre vil nytt Nødnett ha egenskaper og behov som ligner på «Bedre nettdekning langs jernbanen» sine. Derfor er det fornuftig å ta med også nytt Nødnett i betraktninger som gjøres rundt dekning for de reisende. Dette selv om Nødnett ikke er en del av behovet som jernbanen har, foruten at det eksisterer et krav om Nødnett-dekning i nye tunneler over 1000 meter.

Kort oppsummert er samvirke med, eller mellom kommersielle nett en nødvendighet for å realisere nettdekning for de reisende. FRMCS realisert med bare ett 5G-nett vil ikke alene kunne ivareta behovet prosjektet «Bedre nettdekning langs jernbanen» har for infrastruktur for radiodekning. Mulighetene FRMCS har for samvirke og synergi med både kommersielle nett og Nødnett utredes og drøftes i de senere kapitlene i KVUen, både i mulighetsrommet og alternativanalysen.

3.2.4 Tekniske vurderinger som følge av etterspørselsbaserte behov

Ser vi samlet på de etterspørsel-baserte behovene, kan disse tre kategoriene av behov beskrives litt mere detaljert med tanke på hvilke tekniske egenskaper som vil kreves, og hvilken ytelse som vil være nødvendig for FRMCS. Dette kan oppsummeres slik:

1. Det primære behovet å tilby tjenestene som muliggjør togfremføring. Disse tjenestene er absolutt tjenestekritiske, og omfatter:
 - Datakommunikasjon for ERTMS/ ETCS
 - Talekommunikasjon
 - Fremtidig behov for datakommunikasjon for ATO

Feil eller mangelfull ytelse i nettet vil kunne påvirke togtrafikken umiddelbart. Systemet er så viktig at det må virke hele tiden. Dette innebærer:

- At radiodekningen er god og i tillegg stabil
- At opptiden til hele systemet er så nær 100% som det er mulig. GSM-R har i dag et opptidskrav i Bane NOR sitt tekniske regelverk på 99,975%.
- At trafikk-kapasiteten til systemet er tilstrekkelig, og at den virksomhetskritiske trafikken har prioritet og slipper gjennom først.

Datatrafikken som brukes i togfremføringen er ekstremt viktig - så viktig at oppetid for kommunikasjonssystemet må sikres med alle tilgjengelige midler. Dette gjelder både radionett, kraftforsyning og sentrale kjernenettfunksjoner. Selve bitrate-behovet for kommunikasjon til og fra hvert enkelt tog, vil være relativt beskjedent, sannsynligvis ikke mere enn 100-150 kb/s.

2. Det sekundære kommunikasjonsbehovet omfatter et stort spekter av ulike tjenester, som skal tilbys til et ukjent antall applikasjoner og anvendelser som ikke er virksomhetskritiske. Kommunikasjon for overvåking, drift og vedlikehold, samt anvendelser for andre formål som ikke er driftskritiske utgjør disse sekundære oppgavene. Vi vurderer nødvendige egenskaper slik:
 - Systemet må ha god nok radiodekning til å ivareta et tjenestetilbud langs jernbanen. Fordi krav til dekningen er strenge for de primære tjenestene FRMCS skal levere, og dekning må være til stede overalt hvor det er togtrafikk, vil dette bli ivaretatt for sekundæroppgavene.

- Oppetid er ikke like viktig her. Men siden krav til oppetid bestemmes av de primære tjenestene FRMCS skal levere, vil denne uansett være tilstrekkelig her.
- Kapasiteten systemet skal tilby for de sekundære oppgavene er noe vanskeligere å kvantifisere. Siden det ikke er definert og tydelig hva omfanget av behovet for tjenester er, eller hva slags bitrater og kapasiteter for dataoverføring som trengs, er det heller ikke tydelig hvilken samlet ytelse FRMCS-systemet må ha for de sekundære oppgavene.

Det vi imidlertid vet, er at:

- Det vil, samlet sett, sannsynligvis være behov for større datarater og trafikkapasitet for denne oppgaven, enn det som trengs for selve togfremføringen.
- Datatrafikk skal ha lavere prioritet enn den driftskritiske trafikken, og må nedprioriteres om det trengs.
- Bitrate-behovet vil være sterkt avhengig av anvendelser. Overføring av video vil kreve høye bitrater, og vil skape en stor samlet trafikkmengde hvis mange videostreamer skal overføres samtidig. Enkel sensorovervåking og kontroll og styring av enkeltobjekter vil kreve lave bitrater, som enkeltvis nesten blir ubetydelige i et 5G-nett.
- Trafikken vil i hovedsak være «best effort». Dette vil si at trafikken ikke har noen garantert tjenestekvalitet, som innebærer at man er sikret prioritet eller at man får en garantert bitrate til enhver tid.
- Trafikkmengder og behov for bitratekapasitet forventes å øke med tiden. Digitalisering av jernbanen, med alle de anvendelsene dette kan innebære, er bare i startgropen i dag. Det forventes at det vil komme nye tjenester og anvendelser som vil skape et økende behov for kapasitet i fremtiden. All erfaring tilsier at behovet for bitrate-kapasitet og båndbredde i mobile kommunikasjonsnett stadig øker. Bitratekapasitet i mobile nett har de siste 30 årene økt voldsomt. Mer tilgjengelig kapasitet har i seg selv vært en driver for innovasjon som resulterer i nye og mer kapasitetskrevenne tjenester og applikasjoner.

For de sekundære tjenestene kan det dermed sies at det ikke er opplagt hvilket etterspørselsbasert behov vi har for FRMCS. Vi vet at «mere kapasitet er bedre», og at digitalisering av jernbanen vil kreve datakapasitet. Men vi kan ikke si særlig mye om krav til ytelse eller kapasitet, fordi behovet i dag og fremtidig er lite tydelig. Likevel må dette drøftes grundigere i alternativanalysen. En mulig vinkling kan være å se på hvilke muligheter og kapasitetsforskjeller de ulike alternativene vil representere.

3. Det tredje kommunikasjonsbehovet som vi har nevnt, handler om i hvilken grad prosjektet kan bidra til, eller gi en synergieffekt med utbygging av bedre nettdækning. Vi har slått fast at tre kommersielle operatører må bygge ut nett for tilfredsstillende dekning for de reisende. FRMCS kan ikke alene fylle behovet, med mindre FRMCS realiseres med de samme tre kommersielle nettene. Sammenhengen med prosjektet «Bedre nettdækning langs jernbanen» er kompleks. Det er ønskelig at FRMCS yter et positivt bidrag, men det er ikke uten videre opplagt hvordan dette kan gjøres, eller hvor stort bidraget blir..

Behovsanalysen skal forklare hvorfor det er et behov for å gjennomføre prosjektet. De etterspørselsbaserte behovene utgjør sammen med interessenter og normative behovene det samlede behovet.

Situasjonen den norske jernbanen står i, er at FRMCS må innføres fordi resten av Europa gjør det, og fordi leverandørstøtte til GSM-R systemet forsvinner. Disse drivkreftene kan sies å være etterspørselsbaserte behov, men de er også samtidig normative, ettersom det gjennom EU-regelverk og internasjonale føringer vi må følge gjennom blant annet TSI CCS -forskriften. Denne forskriften med tilhørende detaljerte spesifikasjoner i under-dokumenter, vil danne et detaljert rammeverk med tekniske spesifikasjoner for systemet.

Innenfor rammeverket og rammebetingelsene vil det eksistere et handlingsrom som gir visse valgmuligheter for implementeringen. Norge kan velge å implementere FRMCS på en måte som overskrider kravene til minimumsløsning i standarden. Eierskap til nettets ulike deler er nevnt som områder hvor det eksisterer valgfrihet. Videre vil det være en rekke andre områder hvor den norske implementeringen av FRMCS kan ha reelle valgmuligheter. De viktigste av disse områdene vil være:

- Tjenestetilbud som skal tilbys av FRMCS-nettet, utover det som er absolutte krav gjennom kravspesifikasjoner fra UIC.
- Datakapasitet og tilgjengelige datarater (bitrater).
- Frekvensbruk.
- Samordning/ samvirke med andre mobilnett, herunder kommersielle nett og nytt Nødnett i Norge.

Disse kan sies å være behov basert på etterspørsel. Etterspørselen kan være basert på dagens behov, men også på behov som man vil regne med å få i fremtiden. Andre viktige momenter og egenskaper er:

- I hvor stor grad nettet er fremtidsrettet og fleksibelt.
- Oppetid og robusthet i nettet.
- Løsninger for dekning i tunneler.
- Sikkerhetsaspekter
- Tidsforsinkelse (delay) i nettet.
- Drift- og forvaltningsmessig konsept
- Migrasjon – overgang til nytt nett
- Ombordutrustning – konsekvenser for teknisk utstyr i tog
- Interoperabilitet

3.2.5 Andre prosjekter og grensesnitt mot prosjektet innføring av FRMCS

3.2.5.1 ERTMS

ERTMS er delvis beskrevet i kapittel 2.2.1. Utrullingen av ERTMS som nytt signalsystem i Norge er et langvarig prosjekt med planlagt ferdigstillelse i 2034. Enkelt sagt, består ERTMS av ETCS og GSM-R. ETCS er selve signalsystemet, mens GSM-R er kommunikasjonsbærer mellom tog og infrastruktur langs linjen.

ETCS level 2, som er implementasjonen den norske jernbanen skal bruke, innføres med GSM-R som kommunikasjonsbærer. Slik ERTMS-systemet er designet, vil GSM-R være et fullgodt alternativ for at ETCS skal kunne virke som forutsatt. Likevel vil FRMCS etter hvert ta over, og skal ved innføring kunne fungere minst like godt som kommunikasjonsbærer for ETCS som GSM-R gjør i dag. Funksjonelt vil ikke ERTMS/ ETCS ikke fungere noe annerledes eller bedre med FRMCS som kommunikasjonsbærer.

TSI CCS -spesifikasjonene fra ERA vil ivareta full interoperabilitet mellom systemene. Så lenge norsk implementasjon av FRMCS skjer i samsvar med TSI CCS, vil det derfor ikke eksistere noen nevneverdig risiko for at ETCS ikke vil virke med FRMCS. Sett på denne måten, er det ikke spesielle krav som ETCS/ ERTMS stiller til FRMCS.

Imidlertid vil man i migrasjonsperioden måtte operere ETCS med både GSM-R og FRMCS i drift samtidig.

Dette må det tas hensyn til, og det vil være kompliserende for prosjektet dersom ERTMS-utrullingene fortsatt pågår når FRMCS-utrullingene starter.

Det må planlegges nøye hvordan det norske ETCS-systemet samtidig kan bruke både GSM-R og FRMCS som bærere for kommunikasjon mellom tog og infrastruktur. Under migrasjonsperioden må ETCS-infrastruktur i både tog og langs linjen ha grensesnitt mot begge systemer. Radio Block Center (RBC) som er den sentrale enheten i ETCS-systemet, må kunne kommunisere mot togene over begge bærere samtidig, fordi det for en hel linjestrekning ikke er mulig med en momentan overgang fra GSM-R til ERTMS.

3.2.5.2 ATO

ATO står for Automatic Train Operation – automatisk togfremføring. Høsten 2022 ble det startet opp et eget KVVU-prosjekt for å utrede mulighetene rundt innføring av ATO i Norge. Arbeidet skal pågå frem til høsten 2023. Det har blitt holdt koordinerings-møter mellom vårt KVVU-prosjekt og KVVU-prosjektet for ATO.

Mandatet for prosjektet er å vurdere ATO i forbindelse med ERTMS for å kunne effektivisere og forbedre ruteplaner, og å utnytte jernbaneinfrastrukturen bedre.

ATO har 4 definerte nivåer, eller grader av automatisering (GoA), hvor ulike grader av automatisert togfremføring reduserer togførers oppgaver og ansvar. Dette varierer mellom semi-manuell drift hvor togfører initierer start og stopp for toget, til ubemannet togfremføring med full automatisering.

Med ATO kan kjøremønsteret standardiseres, slik at det blir mindre individuelle forskjeller på hvordan hver enkelt togfører kjører togsettene. Dette vil gi sikrere kjøring, ved at risiko for menneskelige feil reduseres. ATO vil eliminere en del feil en togfører kan gjøre. ATO vil også bety mere standardisert kjøring, slik at denne går i henhold til ruteplan. I tillegg sparer

Innføring av FRMCS vil ha et grensesnitt mot innføring av ATO. FRMCS vil måtte brukes som kommunikasjonsbærer for datatrafikk nødvendig for ATO. Det er forventet at jo høyere GoA-grad som er aktuell, jo større krav vil bli stilt til kommunikasjonsbæreren. De to høyeste gradene av ATO; GoA-3 og GoA-4 innebærer at det ikke er noen togfører i toget. Dermed er det ikke noen ombord som kan bremse og stoppe toget om det oppstår situasjoner som krever det. Deteksjon av hinder, mennesker eller dyr foran toget må derfor skje automatisert, og med sensorbaserte systemer som oppdager slike hindringer. Dette kan for eksempel skje med bruk av videokamera, radar, IR-kamera eller lidar. Styresystemet som iverksetter nedbremsing kan godt sitte i toget, men det må også eksistere en mulighet for å fjernstyre toget. Derfor må sensordata kunne overføres gjennom FRMCS fra tog til sentralt hold, slik at fjernstyring blir mulig. Dette vil etter alt å dømme kreve noe ekstra overføringskapasitet i FRMCS-nettet.

De to laveste automatiseringsgradene, GoA-1 og GoA-2, har imidlertid en togfører som kan initiere nedbremsing. Derfor er ikke systemer for hinderdeteksjon like viktige her, selv om de sikkert kan være til hjelp for togfører. Fjernstyring av toget er ikke like aktuelt, siden det alltid styres av en togfører. Derfor er det sannsynligvis ikke bruk for like mye dataoverføringskapasitet som for GoA-3 og GA-4.

Kommunikasjonsbehovet ATO skaper, vil dermed gjelde data-rater, men også tidsforsinkelse. Det er ikke tydelig hvor mye datatrafikk togdrift på hvert enkelt GoA-nivå vil generere. Men det er sannsynlig at de høyeste gradene av automatisering vil kreve mulighet for sanntids videooverføring fra kamera i toget for å muliggjøre fjernstyrt kjøring. Med krav om dette vil båndbreddekrav til FRMCS kunne bli betydelig.

Samtidig er det slik at de to laveste nivåene av ATO stiller lave krav til overføringskapasitet. GoA-1 er i praksis det samme som ECTS level 2, og der tilbyr allerede GSM-R tilstrekkelig bitrate. For GoA-2 er også kravet til overføringskapasitet beskjedent. Dermed er det nok riktig å si at for de to laveste automatiseringsgradene, så er ikke ATO egentlig avhengig av FRMCS. Sannsynligvis kunne innføring av ATO GoA-1 og GoA-2 blitt gjort med GSM-R istedenfor. Men for de to høyeste gradene av automatisering, GoA-3 og GoA-4 vil det kreves langt høyere bitrater på grunn av et sannsynlig behov for videooverføring fra toget.

3.2.6 Ombordutrustning i tog

Ombordutrustningen i tog er en viktig del av FRMCS. Et vesentlig poeng, og en vesentlig del av spesifikasjonene for FRMCS, er at det innføres en ny systemarkitektur for de tekniske systemene for kommunikasjon om bord i toget.

Ser vi på kommunikasjonsutstyret om bord i tog i dag, eksisterer det en Cab-radio som togfører bruker til talekommunikasjon. I tillegg har toget ulike tekniske systemer om bord som krever kommunikasjon, som passasjertelling ved dørene, energimåling og overvåkning av tekniske funksjoner i toget. Disse har i dag gjerne hver sitt eget modem, som brukes til kommunikasjon over kommersielle mobilnett. Systemene er ikke samordnet, men eksisterer hver for seg. Hvert enkelt modem må ha eget abonnement og SIM-kort, og kabel til en egen antenne på taket av toget.

Med innføringen av ERTMS/ ETCS skal GSM-R tas i bruk som kommunikasjonsbærer for den kritiske datatrafikken mellom tog og trafikkstyringssentral. Dermed blir det behov for en egen radioenhet om bord i toget som håndterer datatrafikken til og fra data ETCS-utrustningen om bord. Denne har fått navnet EDOR (ETCS Data Only Radio). Dette modemmet håndterer den viktige og prioriterte trafikken som gir toget kjøretillatelse, og som formidler tilbakemelding om togets posisjon og hastighet. Enheten kommer i tillegg til allerede eksisterende modemer om bord i toget.

Med FRMCS tas det sikte på å etablere et sentralt kommunikasjonsknutepunkt i toget, en «hub» som samlet skal ivareta all kommunikasjon fra toget mot omverdenen. Denne sentrale ombordutrustningen skal knyttes til alle systemer som har et kommunikasjonsbehov, slik at kommunikasjon over radio mot infrastruktur og videre kun skjer fra denne sentrale enheten. I standardiseringsarbeidet har UIC har opprettet en egen arbeidsgruppe for ombordutrustningen. Denne har fått navnet Telecom On-Board Architecture. Navnet forkortes til TOBA, og selve utrustningen i toget har også fått dette navnet. TOBA er «superboksen» som skal samle all kommunikasjon til og fra toget.

Denne skal altså kobles til alle systemer som skal kommunisere, samle trafikken, og sørge for radiokommunikasjon mot omverdenen. Dette vil dermed være:

- Datatrafikk for ETCS
- Taletrafikk for togfører og ombordpersonell
- Fremtidig datakommunikasjon for ATO
- Monitoreringsfunksjoner for tekniske systemer i toget
- Alle øvrig ikke-driftskritiske systemer i toget, alt fra passasjertelling, kundeinformasjon for reisende og til salgsautomater i toget



Figur 10 FRMCS ombordutrustning i tog

Ombordutrustningen TOBA skal altså være kommunikasjonssentralen all trafikk skal gå gjennom. Dette gjelder data og tale, både kritisk og ikke-kritisk trafikk for togfremføringen. Arbeidet med spesifikasjoner for TOBA pågår fortsatt, og Bane NOR er deltakende i denne prosessen.

Uansett utfall av denne, er det et faktum at tog må bygges om. TOBA-enheten må installeres i toget. Der tog allerede har blitt bygget om for ERTMS/ ETCS, er det nødvendig å knytte denne utrustningen til TOBA. Vi vil drøfte dette nærmere i mulighetsstudien i kapittel 6.

Ombygging av tog er noe som man ikke kommer utenom i forbindelse med at FRMCS innføres. Det eksisterer ingen mulighet for å benytte eksisterende utrustning i togene når FRMCS basert på 5G tas i bruk. Endret ombordutrustning med TOBA er en vesentlig og obligatorisk del av FRMCS, og en forutsetning for prosjektet. Endret systemarkitektur for ombordutrustning er en av de største forskjellene mellom «standard» 5G som 3GPP har spesifisert, og FRMCS som UIC spesifiserer nå.

Kort oppsummert er det slik at det er et behov for å bygge om togene med en TOBA-utrustning, slik at togene kan kommunisere i det nye FRMCS-nettet. TOBA-enheten blir et knutepunkt ombord, som skal samle all kommunikasjon til og fra toget. All trafikk skal gjennom den samme «trakten» denne representerer. Det blir dermed slutt på at alle de forskjellige systemene som har et kommunikasjonsbehov trenger å ha egne mobilterminaler og abonnementer for dette. Vi kommer tilbake til en nærmere drøfting av dette i kapittel 6, mulighetsstudien.

3.2.7 Effekt-uttak for det nye mobilkommunikasjonsnettet

Gitt forutsetningen om at det skal bygges et FRMCS-nett som erstatning for GSM-R, er det interessant å vurdere hva slags konsekvenser og følger dette vil få utover det opplagte faktum at nettet skal gi mulighet for driftskritisk kommunikasjon mellom tog og baneinfrastruktur. Både positive og negative momenter må belyses som en del av konseptvalgutredningen. Mulige effekt-uttak, og dermed positive konsekvenser, Samferdselsdepartementet som oppdragsgiver har bedt om utredning av i sitt oppdragsbrev, vil blant annet være disse:

- Mulighetene for kostnadsbesparelser gjennom forenkling både av nettenes infrastruktur og utrustning av togene.
- Mulige effektuttak fra bedre utnyttelse av de digitale systemene, herunder muligheten for å ta i bruk systemer som gir raskere togfremføring, økt togkapasitet, spart energiforbruk, en mer driftsstabil jernbane samt bedre reiseinformasjon i realtid.

I tillegg må det legges til at et nytt og moderne mobilnett basert på FRMCS og 5G-teknologi sannsynligvis vil muliggjøre utvikling av helt nye bruksområder og tjenester, som ingen ennå med sikkerhet vet omfanget av. Dette kan være nye anvendelser av digital teknologi som muliggjør mer moderne drift og vedlikehold av både tog og infrastruktur for jernbanen.

Et eksempel på dette kan være teknologi basert på Internet of Things (IoT), som muliggjør at store antall nett-tilkoblede enheter kan kommunisere med hverandre og med omverdenen over nettet. Dette kan være sensorer på togmateriell eller på infrastruktur langs spor og i tunneler, som kan forbedre vedlikehold og forenkle bygging og drift av bane-infrastruktur.

5G-teknologien kan også gi både ekstremt høye data-rater og ekstremt rask responstid. Dette kan tenkes utnyttet i sanntidsapplikasjoner, som for eksempel automatisk togfremføring (Automatic Train Operation – ATO). En annen anvendelse kan være automatisert vedlikeholds- og inspeksjonsarbeid, der droneutstyr kan formidle videosignaler av objekter som skal kontrolleres.

Et mye brukt begrep i senere tid er «den digitale jernbanen». Det nye signalsystemet ERTMS er en vesentlig del av dette, men mange andre typer bruk av digitalisert teknologi vil også være en viktig del av den fremtidige høyteknologiske og digitaliserte jernbanen. Dette kan være systemer for predikativt og automatisert vedlikehold, for eksempel tilstandskontroll og varsling av ras og flom. Sannsynligvis er det mange anvendelser og systemer som ennå ikke er oppfunnet.

Et moderne mobilnett basert på 5G vil trolig muliggjøre nye tjenester for jernbanen på liknende måte som vi har sett innenfor det private konsumentmarkedet med utviklingen av 3G og 4G de siste 20 årene. Det er derfor grunn til å forvente fremtidige effekt-uttak med teknologi som ennå ikke er utviklet. Å forutse fremtidige former for effektuttak av teknologi som ennå eksisterer, er krevende, men konseptvalgutredningen må ta sikte på å identifisere denne typen gevinstrealisering så godt det lar seg gjøre.

Det må også evalueres hvilke typer risiko og trusler implementasjonen av et FRMCS-basert mobilnett vil medføre. Sikkerhetsmessige hensyn må veie tungt, da nettet bærer datatrafikk for styring av togfremføringen. Forhold rundt sikkerhet, pålitelighet og oppetid må vurderes nøye for at systemet skal være sikkert. Datasikkerhetsmessige aspekter; trygghet og sikkerhet, og herunder cybersikkerhet, må evalueres grundig slik at implementert nettløsning ikke tillater sikkerhetsmessig risiko. Sikkerhet og redundans må vurderes grundig for alle typer cybertrusler.

3.3 Interessentgruppers behov

Det er kartlagt og vurdert hvilke interesser som berøres av utredning.

Tabell 2 Premissgivere

Premissgivere	Behov/Rolle	Påvirkningskraft
Samferdselsdepartementet	Overordnet ansvar for rammevilkår for jernbanesektoren.	Sterk påvirkningskraft, gjennom politiske prosesser. Styringsgruppen i JDir rapporterer til Samferdselsdepartementet.
Bane NOR	Bane NOR har ansvar for trafikkstyring på jernbanenettet. Togkommunikasjonssystem er et vesentlig virkemiddel i trafikkstyringen. Bane NOR vil derfor også være ansvarlig for toggkommunikasjonssystemets funksjonalitet.	Deltaker i prosjektgruppe, medlem i UIC. Infrastruktureier. Overtar prosjektet i neste fase. Prosjekteier kommersiell nettdekning
Statens Jernbanetilsyn	Tilsynsmyndighet for jernbaneinfrastruktur	Tilsynsmyndighet for jernbaneinfrastruktur. Godkjenner løsninger
Nasjonal kommunikasjonsmyndighet NKOM	Tilsyns- og forvaltningsmyndighet for tjenester innen post og elektronisk kommunikasjon	Tilsyns- og forvaltningsmyndighet for tjenester innen post og elektronisk kommunikasjon Godkjenner løsninger
ERA European union agency for railways	Interoperabilitet og sikkerhet i EU og EØS.	Kommisjonens myndighetsorgan for jernbane
UIC	Gir grunnlag for standardisering bla i ETSI.	Internasjonalt påvirkningsorgan for togtransport
ETSI		Standardiseringsorgan innen teknologi for mobil kommunikasjon
ECC/CEPT		Tilgang til spektrum standardiseres av disse organene.
EIM – European Infrastructure Managers	EIM kan påvirke beslutninger ERA og UIC	Representerer infrastrukturforvaltere

Tabell 3 Primære interessenter

Interessent	Behov	Påvirkningskraft
Togoperatører med trafikkavtale med Staten <ul style="list-style-type: none"> • Vy • Go ahead • SJ 	Tidlig informasjon og deltakelse i KVVU-prosessen	Kontrakt med Norske Tog om leie av tog. En ombygging av tog, tog ute av drift, er et juridisk spørsmål mellom Norske Tog og togoperatør
Flytoget	Tidlig informasjon og deltakelse i KVVU-prosessen	Opererer banestrekning mellom Drammen og Oslo lufthavn. Skal levere tilbud på å kjøre andre togstrekninger. Tog må bygges om for tilpasning FRMCS.
Godstogoperatører	Kontrakt om å frakte gods på jernbanen. Tidlig informasjon og deltakelse i KVVU-prosessen	Påvirkning som kontraktspart angående oppgradering av togmateriell.
Norske Tog	Må medvirke i prosessen for å kunne planlegge ombygging av tog	Eier togsettene og leier dem ut til operatørene. Er ansvarlig for ombygging av togene for å være kompatible med FRMCS.
Jernbanedirektoratet	Prosjekteier	Eier KVVU-prosessen og er jernbanesektorens bindeledd med Samferdselsdepartementet.
DSB - nødnett	Pågående forprosjekt om nytt nødnett, sammenfallende behov med FRMCS	Potensiell samarbeidspartner om MCx og radiodekning i tunnel

Tabell 4 Sekundære interessenter

Interessent	Behov	Påvirkningskraft
Mobilnettoperatører	Eventuelle tilbydere av løsninger for FRMCS	3GPP, Medvirker i å definere standarden for 5G og hvilke tjenester som kan tilbys gjennom mobilt bredbånd
Norsk Jernbaneforbund	Medlemmene har behov for informasjon og involvering. Må kurses i FRMCS	
Norsk Lokomotivmannsforbund	Medlemmene har behov for informasjon og involvering. Må kurses i FRMCS	
Nærings- og fiskeridepartementet	Bli påvirket av FRMCS gjennom sitt eierskap til Flytoget	Flytogene må bygges om for å håndtere FRMCS. Det er tett dialog mellom Jdir/BN med togoperatørene for innfasing av FRMCS
Forsvaret (Forsvarsmateriell)	Kommunikasjon internt i forsvaret og mellom internasjonale partnere (NATO)	Benytter kommersielle aktører gjennom egne frekvensbånd. Disse båndene gjelder for NATO. De kommersielle aktørene er best på cybersikkerhet.
Sporveien	Togkommunikasjon for fremføring av T-bane	Innfører CBTC som togkommunikasjonssystem for T-banen. CBTC har mange likhetstrekk med FRMCS. Sporveien benytter kommersielle aktører til å tilby tjenestene og drifte nettet.
Statens vegvesen	Kommunikasjon og overvåkning av veinettet	SVV benytter fiber og tilgjengelig kommersielt mobilt bredbånd. Dialog med NKOM for prioritet i det kommersielle nettet for nødtelefon i tunnel. SVV har ingen behov knyttet til SVV

I forbindelse med KVVU-rapporten har prosjektet henvendt seg til aktører i andre europeiske land for erfaringsoverføring og læring. Aktørene har vært tilknyttet samferdsels- og jernbanesektoren og/eller telekom.

Tabell 5 Utvikling i andre land

Land	Virksomhet	Erfaring
Sverige	Trafikverket	Trafikverket har en mindre formell tidligfase enn i Norge. De skal og undersøke synergier med Nødnett. Forstudie i 2024 som omhandler implementering og utforsking av ulike konsepter. Det er ikke stilt krav til redundans, men det er høy grad av dobbeltdekning. Trafikverket har i dag et eget kjernenett som roamer til MNO.
Danmark	Banedanmark	Danmark er i konseptfase for utvikling av FRMCS. De ser på mange av de samme konseptene som i Norge, som jernbanefrekvenser og kommersielle frekvenser. BaneDanmark har de senere årene bygd ut internettdekning langs jernbanen. FRMCS skal bygges i henhold til TSI CCS.
Finland	Väylävirasto/ Finish Transport Infrastructure Agency	Har ikke interoperabel jernbane og er dermed ikke underlagt samme regelverk. Finland etablerer ny togkommunikasjonssystem basert på 4G teknologi levert av tre samtidige kommersielle tilbydere.
Nederland	Prorail	Jobber for implementering av FRMCS i 2029. Pådriver for bruk av kommersielle frekvenser i TSI CCS. Tester FRMCS gjennom kommersielle frekvenser til bruk på ETCS og ATO.
Sveits	Swisscom	Fordeler med 5G da det tillater slicing av nettverket. RAN særskilt for jernbane. Det er viktig at TSI CCS åpner for bruk av kommersielle aktører og frekvenser.
Frankrike	SNCF	Det har ikke vært gjennomført møter med franske tog- og infrastrukturmyndigheter, men deres synspunkter er gjort kjent gjennom internasjonalt samarbeid og konferanser hvor norske aktører og har deltatt. I Frankrike skal statlige myndigheter eie og drifte FRMCS med bruk av jernbanespesifikke frekvenser.
Tyskland	DB	Det har ikke vært gjennomført møter med tyske tog- og infrastrukturmyndigheter, men deres synspunkter er gjort kjent gjennom internasjonalt samarbeid og konferanser hvor norske aktører og har deltatt. I Tyskland skal statlige myndigheter eie og drifte FRMCS med bruk av jernbanespesifikke frekvenser.

3.4 Oppsummering og prosjektutløsende behov

FRMCS skal innføres i det norske jernbanenettet som en erstatning for GSM-R. Det eksisterer ikke noe annet alternativ. Gjennom pålegg fra EU og ERA, samt samtrafikk-forskriften, er vi pålagt å innføre FRMCS på linje med andre land i Europa. Det er derfor ikke et spørsmål om FRMCS, skal innføres i Norge, men et spørsmål om *hvordan og i hvilken form* systemet skal implementeres, og i tillegg *når*.

Videre er det slik at når FRMCS uansett skal innføres som nytt system for tog-kommunikasjon - hvilke andre funksjoner og nytte-effekter, og dermed gevinster, kan oppnås samtidig?

Når vi betrakter behovene som jernbanen i Norge har, eller kan ha med tanke på hva et nytt kommunikasjonssystem kan tilby, ser vi at behovet kan deles i tre nivåer:

Oppsummerende behov er som følger:

- Virksomhetskritisk kommunikasjonsbehov (Tale, ERTMS, ATO)
- Kommunikasjonsbehov for overvåkning, drift og vedlikehold av tog og infrastruktur
- Kommunikasjonsbehovet til de reisende

Det virksomhetskritiske kommunikasjonsbehovet er også det viktigste. Dette dreier seg om kommunikasjonen som er nødvendig for togfremføringen. Uten datakommunikasjon mellom tog og infrastruktur er ikke togfremføringen mulig. Derfor er kommunikasjonen helt nødvendig.

Sekundært har vi et kommunikasjonsbehov for teknisk overvåkning, drift og vedlikehold av jernbanesystemet. Dette gjelder både tog og infrastruktur. Her eksisterer det et svært stort spekter av ulike kommunikasjonsbehov.

Den tredje oppgaven som FRMCS kan tenkes å fylle for jernbanen, eller som FRMCS i alle fall indirekte kan bidra til, er å gi bredbåndstilgang til de togreisende.

Basert på behovsanalysen defineres det prosjektutløsende behov defineres som:

Det er behov for å erstatte dagens kommunikasjonssystem for jernbane, GSM-R, med FRMCS for å kunne opprettholde dagens person- og godstransport.

4 Strategiske mål

4.1 Samfunns mål

Ut fra problembeskrivelsen og behovsanalysen formuleres et samfunns mål som beskriver den utviklingen som prosjektet skal bidra til. Samfunns målet tar utgangspunkt i det prosjektutløsende behovet:

Det er behov for å erstatte dagens kommunikasjonssystem for jernbane, GSM-R, med FRMCS for å kunne opprettholde dagens person- og godstransport.

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

Norsk jernbane har en fremtidsrettet kommunikasjonstjeneste som opprettholder og forbedrer jernbanens evne til effektiv person- og godstransport.

Med **fremtidsrettet** menes i denne sammenheng at systemet skal være robust overfor fremtidige teknologiske og regulatoriske endringer.

Med **opprettholde** menes i denne sammenheng å opprettholde tjenesteporteføljen i dagens GSM-R togkommunikasjonssystem, det vil si å tilby de tjenester som kreves for sikker framføring av tog i dag.

Med **forbedre** menes i denne sammenheng muligheter for ny og bedre tjenestekvalitet som oppstår som følge av økt ytelse og funksjonalitet, eksempelvis høyere overføringskapasitet i FRMCS enn i GSM-R.

4.2 Effektmål

Av samfunnsålet er det utledet tre effektmål. Disse skal beskrive hvilke prosjektspesifikke virkninger som søkes oppnådd for ulike interessenter.

Samfunnsmål	Effektmål	Indikatorer
<i>Fremtidsrettet kommunikasjonstjeneste...</i>	<i>En robust og pålitelig kommunikasjonstjeneste for togfremføring, som bidrar til driftsstabil jernbane.</i>	Antall innstilte tog og forsinkelsestimer som følge av feil i togkommunikasjonssystemet
<i>...som opprettholder og forbedrer jernbanens evne til effektiv person- og godstransport.</i>	<i>Et fleksibelt og fremtidsrettet kommunikasjonsnett, med evne til å ivareta fremtidig utvikling for jernbanen.</i>	Nye tjenester og ytterligere digitalisering av jernbanen.
	<i>Effektiv utnyttelse av infrastruktur for mobile kommunikasjonsnett.</i>	Synergier og kostnadsbesparelser gjennom samvirke med andre nettverksaktører.

«En robust og pålitelig kommunikasjonstjeneste for togfremføring, som bidrar til driftsstabil jernbane.»

Dette effektmålet innebærer at omfanget av driftsforstyrrelser som følge av feil på telekommunikasjon, som et minimum ikke skal øke i forhold til i dag.

Dette innebærer:

- Kommunikasjonstjenesten skal ha en kvalitet som medfører at antallet innstillinger og forsinkelsestimer som følge av tele og transmisjon ikke øker i forhold til dagens situasjon.
- Sikkerhetsmessige aspekter skal ivaretas, herunder safety, security (herunder cybersecurity).
- Driftsstabilitet og sikkerhet i jernbanesystemet skal opprettholdes minst på samme nivå som i dag, både i migrasjonsfase og i permanent driftsfase.

«Et fleksibelt og fremtidsrettet kommunikasjonsnett, med evne til å ivareta fremtidig utvikling for jernbanen.»

Dette effektmålet innebærer at kommunikasjonsnettets skal være forberedt for å ta imot nye funksjoner som bidrar til forbedringer av jernbanesystemets ytelse.

Dette innebærer:

- Opprettholde og forbedre tjenestekvaliteten på kommunikasjonstjenestene.
- Tilstrekkelig båndbredde til å ivareta fremtidige tjenester, som for eksempel ATO (Automatic Train Operation) og ERTMS/ETCS-L3).
- Effekttuttak fra bedre utnyttelse av digitale systemer for jernbanen.
- Tilstandsovervåking
- Forbedret/smart vedlikehold
- Sanntidstjenester

- Kommunikasjonsnettet følger 3GPP-utviklingen. Dette betyr at systemet følger et utviklingsløp i samsvar med internasjonal standard for mobilnett, definert av standardiseringsorganet 3GPP.

«Effektiv utnyttelse av infrastruktur for mobile kommunikasjonsnett.»

Dette effektmålet henspeiler på behovet for samordnet/samfunnsøkonomisk riktig utvikling av mobile kommunikasjonsnett.

Dette innebærer:

- Samfunnets samlede ressurser til anskaffelse, utbygging, drift og vedlikehold av kommunikasjonsnett skal samfunnsøkonomisk optimaliseres.
- Muligheter for synergier med andre aktører gjennom samvirke og samlokalisering.
- Vurdering av samordnet eierskap og drift med andre aktører, både offentlige og private.
- Fornuftig og kostnadseffektiv bruk av frekvensressurser for å møte behovet til kapasitet og dekning, både i migrasjonsfasen og i senere permanent drift.

5 Rammebetingelser for konseptvalg

Rammebetingelser er betingelser som skal eller bør oppfylles av alle konsepter vurdert i utredningen. I statens prosjektmodell skiller det mellom:

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

I denne konseptvalgutredningen er det ikke formulert rammebetingelser med utgangspunkt i effektmålene. Det er istedenfor lagt vekt på ytre rammebetingelser, som lov- forskrifts- og regelverksmessige rammebetingelser. Dette inkluderer forskriftsbetingelser som gis av europeiske myndigheter.

Følgende rammebetingelser vil være gjeldende:

- Forskrift om nasjonale tekniske krav m.m. for jernbaneinfrastruktur på det nasjonale jernbanenettet⁷ (Jernbaneinfrastrukturforskriften⁷).
- EU-direktiv for interoperabilitetskrav for jernbane i Europa, implementert i Norge gjennom samtrafikkforskriften⁸.
- Relevante TSI-krav for interoperabilitet. For innføring av FRMCS er det TSI-CCS⁹ som er gjeldende, og som Norge gjennom Jernbaneinfrastrukturforskriften er forpliktet til å følge. Herunder gjelder også de spesifikasjoner og kravdokumenter som gjeldende utgave av TSI-CCS viser til. Ved at standarden følges, vil implisitt FRMCS vil være kompatibelt med nytt signalsystem i Norge og i Europa (ETCS).
- Lov om elektronisk kommunikasjon (Ekom-loven¹⁰). Telesystemer skal prosjekteres, bygges og forvaltes i henhold til gjeldende regelverk innen ansvarsområdet til Nasjonal Kommunikasjonsmyndighet (NKOM).

Konkurrans hensyn er blant annet ivaretatt i EUs regelverk for statsstøtte. På denne bakgrunn er det formulert en egne rammebetingelser om konkurranse:

1. Konseptene må være i tråd med EU sitt regelverk for statsstøtte¹¹.

Ut over dette er en rammebetingelse at konsept for anbefalt valgt løsning skal være fremtidsrettet. Den skal kunne utvikles i takt med nye digitale tjenester og anvendelser innenfor den digitaliserte jernbanen.

Bane NOR sitt tekniske regelverk står Bane NOR selv ansvarlig for, og de kan endre dette slik de vil, så lenge regelverkstekst ikke strider mot TSI-krav gitt av ERA. Oppetidskrav vil således i teorien kunne lempes på, men det vil samtidig være lite aktuelt eller fornuftig å kreve lavere oppetid for FRMCS enn for GSM-R.

Dermed vil det eksisterende kravet til oppetid - systemtilgjengelighet - være på minimum 99,975% (Jfr TRV:0323412).

Når det gjelder andre deler av det tekniske regelverket som omhandler GSM-R, så vil sannsynligvis hele regelverket måtte revideres ved innføring av FRMCS. Dette fordi FRMCS i sin natur er et helt annet system enn GSM-R. Krav til teknisk oppbygning, signalstyrke- og dekningskriterier, suksessrate for samtaleoppsett og handover vil eksempelvis måtte defineres på nytt, men i en kontekst hvor det må stilles tekniske krav som sikrer tilfredsstillende ytelse for systemet på en rekke områder.

⁷ [Jernbaneinfrastrukturforskriften \(sjt.no\)](#)

⁸ [Samtrafikkforskriften \(sjt.no\)](#)

⁹ TSI-CCS: [Control Command and Signalling TSI | European Union Agency for Railways \(europa.eu\)](#)

¹⁰ [Lov om elektronisk kommunikasjon \(ekomloven\) - Lovdata](#)

¹¹ [EUR-Lex - 02014R0651-20210801 - EN - EUR-Lex \(europa.eu\)](#)

¹² [TRV:03234 – Teknisk regelverk \(banenor.no\)](#)

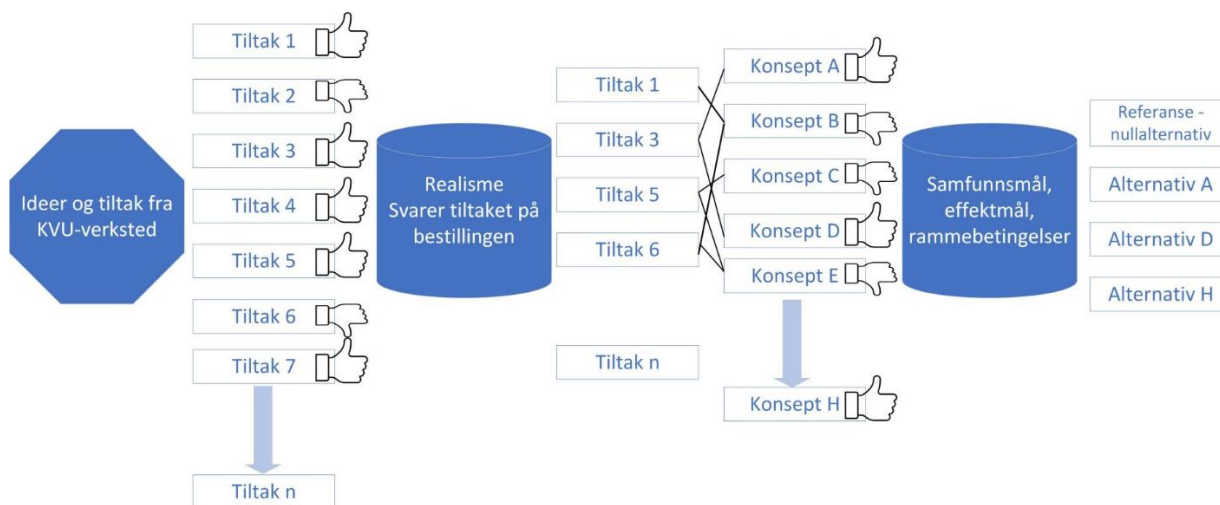
6 Mulighetsstudie

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.

6.1 Metode

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 samfunns mål og effektmål innenfor rammebetingelsene. Alle aktuelle tiltak og virkemidler skal undersøkes på tvers av berørte statlige virksomheter. 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.

Det er gjennomført flere åpne og kreative prosesser med deltagelse fra sentrale interessenter for å kartlegge mulighetsrommet. KVVU-verksted ble gjennomført 28.11.2022 hvor mange av interessentene var samlet for å diskutere hvilke muligheter som finnes, gjennom bruk av firetrinnsmodellen. Det ble benyttet erfaringer fra «Bedre nettdækning langs jernbanen», og figuren under oppsummerer hvordan ideene fra KVVU-verksted er samlet, strukturert, grovsilt og til slutt endt opp som konsepter.



Figur 11 Prosess mulighetsrom

6.2 Mulighetsrommet

Når vi skal gå inn i en konseptvalgutredning og vurdere alle mulige konsepter for et nytt radiobasert kommunikasjonssystem for jernbanen, er det svært mange momenter å ta hensyn til.

Følgende overordnede krav til utredningen er gitt gjennom oppdragsbrevet fra Samferdselsdepartementet:

«Det må utredes hvilke konseptuelle løsninger for et fremtidig mobilkommunikasjonssystem for jernbane som er best egnet og gir best samfunnsøkonomisk nytte for å dekke det helhetlige kommunikasjonsbehovet for den digitaliserte jernbanen. Løsninger må ses i sammenheng med øvrig

kommunikasjonsbehov som kan dekkes av de kommersielle mobilnettoperatørene, enten det er godstog, passasjertog eller arbeidsmaskiner for jernbane.»

Videre heter det at konseptvalgutredningen blant annet skal vurdere følgende:

- *Nye konseptuelle eierskapsstrukturer, herunder hvorvidt nettverket skal bygges, eies og driftes av Bane NOR, eller om man skal basere seg på kommersielle kommunikasjonsnett som transportbærer for de løsninger Bane NOR drifter. I dette ligger også vurdering av båndbreddeposisjoner og basestasjonsbehov.*
- *Mulighetene for kostnadsbesparelser gjennom forenkling både av nettenes infrastruktur og utrustning av togene.*
- *Effektuttak fra bedre utnyttelse av de digitale systemene, herunder muligheten for å ta i bruk systemer som gir raskere togfremføring, økt kapasitet, spart energiforbruk, en mer driftsstabil jernbane og bedre reiseinformasjon i realtid.*
- *Sikkerhetsmessige aspekter ifb. ulike løsninger og valg.*

Videre er det også krav til at:

Arbeidet skal ses i sammenheng med og hente erfaringer fra arbeidet med forprosjekt for «Bedre nettdekning langs jernbanen» og KVVU for nytt nødnett, herunder om det er synergier å hente ved å utnytte deler av de kommersielle mobilnettene.

Når vi skal gå inn i en konseptvalgutredning og finne alternativer som skal vurderes opp mot hverandre, er det nødvendig å ha disse overordnede føringene og momentene i bakhodet.

Drøfting av eierskap og eierskapsstrukturer er viktige i konseptvalgutredningen. Videre er det en lang rekke andre vurderingskriterier som må vektlegges i evalueringen. Disse kriteriene spenner fra momenter av svært teknisk karakter, til kriterier av økonomisk og forvaltningsmessig karakter. Vurderingskriterier vi ser at det er nødvendig å benytte, kan i kort stikkordsform oppsummeres slik:

- Krav til radiodekning for systemet, og hvordan denne kan realiseres
- Ytelse for systemet - bitrate og krav til trafikk-kapasitet, samt tidsforsinkelse
- Tjenesteportefølje for systemet – hvilke teletjenester skal systemet tilby
- Frekvensbruk
- Dekning og kapasitet i tunneler
- Drift- og forvaltningsmessig konsept
- Ombordutrustning i tog
- Plan for migrasjon til nytt system
- Samordning og synergier med nytt Nødnett og prosjektet «Bedre nettdekning langs jernbanen»
- Konkurransmessige momenter
- I hvilken grad det nye systemet i teknisk forstand er fremtidsrettet og fleksibelt

Disse momentene utgjør til sammen et forholdsvis komplekst og sammensatt mulighetsrom, som har svært mange variabler. I det følgende vil vi redegjøre for vår metode og tilnærming til det som skal evalueres.

6.3 Tilnærming

Med ovenfor nevnte liste over momenter som må tas hensyn til i KVUen, eksisterer det mange mulige innfallsvinkler når man skal utarbeide ulike aktuelle konsepter, som senere skal grovsiles til alternativer. I løpet av KVVU-arbeidet, har vi ved noen anledninger benevnt de mest betydningsfulle momentene som «akser» som man kan vurdere alternativene etter.

Eierskap til nettet er en slik «akse», Eierskap til FRMCS-nettet kan være kommersielt, det kan eies av Bane NOR eller staten, og eierskapet kan også være en kombinasjon. Integrasjon med nytt Nødnett og/ eller kommersiell nettdekning kan være en annen «akse», hvor stor, mindre eller ingen grad av samordning kan tenkes mellom nettene, Frekvensbruk kan være en ytterligere «akse», hvor kommersielt tilgjengelige eller dedikerte frekvenser for jernbanen kan tenkes benyttet. Dette kan videre brytes ned på de enkelte tilgjengelige frekvensområdene, som kan gi ulik grad av båndbredde.

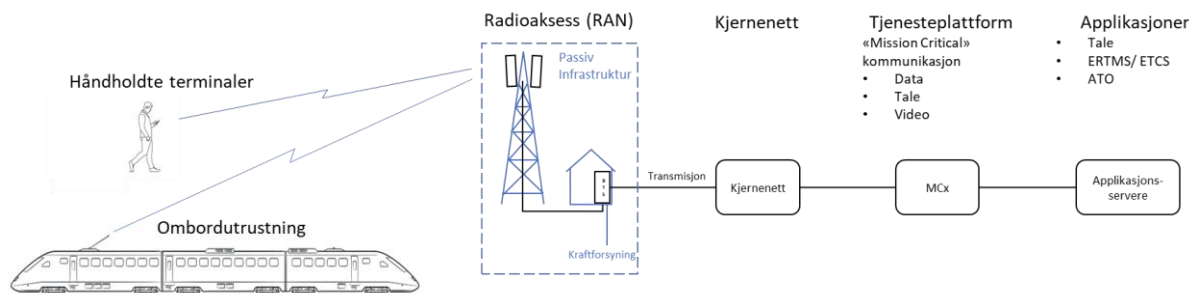
Med bakgrunn i dette, kan det synes å være mange ulike «angrepsvinkler» for å gå løs på arbeidet med å sette alle momentene i system. Hvert enkelt av de ulike momentene, eller «aksene», kan kvantifiseres og graderes med et antall ulike valg mellom mulige ytterpunkter. Dette gi et svært stort antall kombinasjoner om man samler alle evalueringsparametere og regner ut antallet muligheter. En kombinatorisk øvelse av dette slaget vil kunne favne alle tenkelige muligheter vi kan se for oss, men også fort bli uoversiktlig.

Imidlertid har vi vurdert det til å være vanskelig å vurdere alle momenter «samtidig», Vi har istedenfor gått for å velge en angrepsvinkel inn mot analysen, som først tar for seg eierskapsmessige forhold til FRMCS-nettet. Ved å vurdere ulike former for eierskap, og ved å sette dette i system, har vi blitt i stand til å finne aktuelle og realistiske eierskap-konsepter. Med et slikt sett av etablerte konsepter, kan vi deretter gå videre med å vurdere disse med tanke på alle øvrige momenter og evalueringsparametere. Noen av disse er av svært teknisk art, mens andre kan handle mere om økonomiske eller konkurransemessige vurderinger.

6.3.1 Hvordan vil FRMCS-nettet være bygget opp?

For å gå nærmere inn i konseptene og utviklingen av eierskapsmodeller, må vi forklare litt nærmere hvordan et FRMCS-nett vil være bygget opp. De forskjellige delene av nettet har ulike oppgaver, og å gi en kort beskrivelse av disse vil være nyttig for en helhetlig forståelse av hele systemet.

Figur 12 nedenfor gir en oversikt over alle komponenter i et fremtidig FRMCS-nett, basert på kommersiell 5G-teknologi:



Figur 12 Komponenter i et fremtidig FRMCS-nett

6.3.1.1 Radioaksess-nett

Vi starter med å beskrive radioaksess-nettet, som er den delen av infrastrukturen langs spor som sørger for radiodekning. Dekning trengs både på fritt land og i tunneler. Radioaksessnettet (RAN) består av basestasjoner som enkeltvis gir dekning og sørger for radioforbindelse både fra infrastruktur til tog (nedlink) og fra tog til infrastruktur (opplink). Et fysisk utstyrsskap med elektronikk sørger for sending og mottak av signaler gjennom luften. Signalene føres med antennekabler til selve antennene, som omsetter elektriske radiofrekvenssignaler til elektromagnetiske bølger som sprer seg i luft. Det som overføres i luften kalles radio-grensesnittet. Utstyrsskap, antennekabler og antenner utgjør til sammen radioaksess-delen av hele nettet.

6.3.1.2 Passiv infrastruktur

Hver installasjon i radioaksessnett – hver basestasjon – må ha fysisk plass til utstyret. Dette inkluderer en antennebærer og en plassering av utstyrsskap. Utstyrsskapet bør helst stå innendørs, dermed trengs en hytte eller et utstyrsrom. I tillegg trengs kraftforsyning – strøm – til utstyret.

Begrepet basestasjon mener vi bør brukes med forsiktighet, fordi ordet ofte kan tolkes på to måter; enten bare selve det tekniske utstyret, eller hele installasjonen inkludert passiv infrastruktur. For å unngå forvirring vil vi i KVVU-rapporten unngå å benytte begrepet basestasjon. Vi foretrekker å bruke begrepet *lokasjon* om installasjoner som skal gi radiodekning. Lokasjon inkluderer dermed både passiv infrastruktur og teknisk utstyr. Selve radioutstyrsskapet benevnes som regel BTS (Base Transceiver Station) for GSM-R, og som gNodeB for 5G. I telefaglig sammenheng blir også ofte begrepet *site* brukt om lokasjoner.

En antennebærer vil i FRMCS-nettet oftest være en antennemast. Men antenner kan også plasseres på stolper eller på tak eller veggen av bygninger. Når antenner plasseres på en bygning kalles installasjonen gjerne også *rooftop*. En mast bygget i terrenget kalles ofte *greenfield*.

Det er vanlig praksis i mobilbransjen at aktørene leier plass hos hverandre for antenner og radioutstyr, slik at master og hytter kan utnyttes bedre, og man slipper å bygge egen passiv infrastruktur. Dette kalles innplassering. Et annet ord for dette er telelosji.

I de fleste tilfeller vil en mast være tilknyttet en utstyrshytte. Med utstyr plassert innendørs er utstyret mere beskyttet. I tillegg til selve BTS'en, trengs fordeling for kraftforsyning, likeretter og transmisjonsutstyr. Transmisjon, eller samband, leveres oftest over optisk fiber. Disse installasjonene er lettest å arbeide med innendørs. Derfor er en hytte for plassering av utstyr i de fleste tilfeller ønskelig. Noen ganger vil man i et større bygg ha et eget utstyrsrom, men det er også mulig å plassere utstyr i utendørs kabinetter som tåler nedbør og varierende klimaforhold. Hytter og utstyrsrom trenger temperaturregulering for at utstyret ikke skal bli for varmt. Derfor installeres det som regel kjøleanlegg på lokasjonene.

Kraftforsyningen er viktig for installasjonene. For lokasjoner langs linjene leveres normalt 230V eller 400V AC -kraft fra lokale e-verk. Det er viktig at kraftforsyningen har tilstrekkelig strøm-kapasitet, slik at nok effekt er tilgjengelig. Ved hjelp av lokal likeretter – normalt eid av Bane NOR på lokasjonene - gjøres 230V/400V AC om til 48V DC for forsyning av radioutstyret. For at radioutstyret skal fungere ved eventuelle strømbrudd, må likeretter kobles til en batteribank som kan forsyne utstyret med kraft. Bane NOR har krav til minimum 8 timer back-up av strømforsyning på alle deler av GSM-R nettet, mens kommersielle operatører normalt ikke har batterikapasitet for så lange strømbrudd.

Installasjoner for dekning i tunnel er viktige for jernbanen, og vi har allerede delvis omtalt dette i kapittel 3.2.3.1. Vi skiller mellom tunneldekning for GSM-R og kommersiell dekning, selv om dekning fra begge disse kan formidles gjennom det samme tekniske anlegget. I dette prosjektet definerer vi tunnelanlegg som passiv infrastruktur, selv om radiorepeatere er aktivt utstyr. Tunneldekning kan oppnås ved hjelp av retningsvirkende antenner eller strålekabel langs tunnelveggen. Med jevne mellomrom, normalt 500m, må det plasseres signalforsterkere – repeaterer – som mater signal inn på strålekabel eller på vanlige antenner. Repeaterene mates med signal gjennom et fiberoptisk anlegg, fra en sentral enhet og ut til hver repeaterlokasjon. Denne sentrale enheten kan i sin tur få signal fra basestasjonsutstyr, eller tas inn via en antenne gjennom luften. GSM-R i tunneler er nødvendig for togfremføring, på samme måte som ute på fritt land. Derfor er det også reservestrøm med batteridrift for GSM-R -repeateranleggene i tunneler.

6.3.1.3 Transmisjon

Transmisjon sørger for samband og tilknytning mellom utstyret på lokasjonen og de sentrale delene av mobilnettet - kjernenettet. Transmisjon i et 4G- eller 5G-nett foregår normalt over optisk fiber. Dette fordi de høye bitratene som kreves ikke er lett å overføre over kobberkabel. Imidlertid brukes radiolinje-forbindelser i en del tilfeller på det siste strekket frem til lokasjonen, hvis det ikke eksisterer fiberkabler helt frem.

Typisk kapasitetsbehov for transmisjonen frem til en 5G-lokasjon vil være 0,5 - 1 Gbit/s. En radiolinjeforbindelse vil kunne håndtere en slik bitrate opp til en avstand på noen få kilometer. Transmisjon kan for øvrig leies av kommersielle aktører, eller eies av Bane NOR selv. Bane NOR har i dag landsdekkende fiberdekning langs jernbanenettet, selv om ikke alle GSM-R -lokasjoner har fiber. I den grad

fibernettet til Bane NOR i dag ikke dekker enkelte strekninger, vil ERTMS-utrullingene sørge for at fiberoptisk kommunikasjon blir tilgjengelig, da sett bort fra GSM-R -hytter som har vesentlig avstand fra sporet, og som derfor vanskelig kan få fiber.

Transmisjon er for øvrig en «byggekloss» i et mobilnett som operatøren selv ikke alltid eier selv. Transmisjon kjøpes gjerne av 3. partsleverandører, siden dette er et ukomplisert produkt med enkle grensesnitt i begge ender av forbindelsen. Telia og ICE kjøper eksempelvis i mange tilfeller transmisjon fra Telenor, siden Telenor har et landsdekkende fibernet som dekker de fleste lokale behov uten at det kreves utbygging. Transmisjon er den komponenten i et mobilnett som lettest kan kjøpes eller leies, uten at det går ut over kontrollen operatør har med eget nett.

Noen ganger implementeres transmisjon med redundans. Det vil si at man har en «dobbel» sambandslinje, for å beholde samband og opptid ved feil eller kabelbrudd. Transmisjon kan gjerne gå i to ulike retninger, slik at et kabelbrudd ikke gjør at en lokasjon settes ut av drift. Bane NOR opererer med redundante løsninger for transmisjonen til GSM.

6.3.1.4 Kjernenett

Kjernenettet omfatter de sentraliserte delene av mobilnettet, og tar seg av tjenesteproduksjon for tale og data. Kjernenettet har mange ulike deler og funksjoner. Foruten å håndtere nyttetraffikken, tar kjernenettet seg av signalering, styring og kontroll de øvrige delene av nettet. Oppgavene kan kort punktvis oppsummeres slik:

- Produksjon av tjenester for tale og data
- Ruting av tale- og datatrafikk
- Signalering og kontroll for tale- og datatrafikk
- Styring av radioaksess-nettet og styring av mobilitet
- Abonnementdatabase
- Ruting av trafikk mot internett og eventuelle andre nett
- Gjesting (roaming)
- Sikkerhet, kryptering og autentisering
- Taksering

Kjernenettet i 5G vil være helt annerledes oppbygd enn kjernenettet for GSM-R. Det ivaretar en rekke funksjoner, oppbygd på det som kalles en tjenestebasert arkitektur. Dette innebærer at de ulike funksjonene i kjernenettet utføres ved hjelp av programvare på dataservere, istedenfor at hver funksjon er en egen maskinvare-enhet. På denne måten kan ulike kjernenett-funksjoner utføres distribuert, på ulike geografiske lokasjoner, eller i et «skybasert» servermiljø.

Kjernenett vil i denne KVUen stort sett bli omtalt og vurdert som et samlet begrep, selv om det strengt tatt favner en rekke nettverksfunksjoner.

6.3.1.5 MCx – tjenestekritisk produksjonsplattform

MCx er en betegnelse brukt for den tekniske plattformen som gjør det mulig å produsere og levere oppdragskritiske tjenester. «MC» – (Mission Critical) - etterfulgt av «x», brukes som en samlebetegnelse for tjenester som ikke er blant tjenesteporteføljen i et «vanlig» 4G eller 5G -nett. Skrivemåte med «x» er en notasjon for å angi at «x» kan representere tale, data eller video.

MCx gjør det mulig å produsere "spesialtjenester" som er oppdragskritiske eller virksomhetskritiske. I dette ligger det at tjenestene er så viktige at de må fungere uten avbrudd, og med en gitt garantert tjenestekvalitet. Det ligger også i dette at tjenestene kan være av en type som ikke tilbys til vanlige brukere av kommersielle mobilnett.

Det mest nærliggende eksempelet på hva oppdragskritisk kommunikasjon kan være, er Nødnett for blålysetatene (politi, brann og helse). Her tilbys tjenester som for eksempel Push-to-talk (PTT). PTT, eller «trykk og snakk», innebærer at alle brukere i en definert gruppe for talekommunikasjon kan høre hverandre.

En snakker, og alle andre hører. PTT-tjenesten er et eksempel på at alle må kunne kommunisere med hverandre i oppdragskritiske situasjoner. Under politioperasjoner kan liv og helse stå på spill, og kommunikasjonen må fungere prikkfritt. Tjenesten må fungere uten tidsforsinkelse, med god lyd kvalitet og med tilstrekkelig kapasitet. PTT er samtidig en tjeneste som normalt ikke tilbys vanlige mobilnettbrukere, og det trengs spesielle funksjoner i et mobilnett for å produsere dette.

I jernbanesammenheng eksisterer det lignende behov for spesielle tjenester. I et system for togkommunikasjon vil data som utveksles mellom tog og infrastruktur kunne være oppdragskritisk. I et moderne signalsystem som ERTMS er togfremføringen basert på at det kontinuerlig utveksles data mellom tog og sentralsystemet som løpende gir kjøretillatelse. Dersom kommunikasjonen ikke fungerer, vil togene av sikkerhetsmessige grunner ikke kunne kjøre. Talekommunikasjon mellom fører i tog og togledersentral vil også være virksomhetskritisk. GSM-R tilbyr i dag taletjenester som er spesielle for bruk i togfremføringen. Dette er blant annet:

- Gruppeanrop – for eksempel kan togleder ringe opp flere togførere samtidig for konferansesamtaler.
- Anrop innenfor forhåndsdefinerte samtalegrupper, også med prioritet.
- Nødanrop – taleanrop med høyeste prioritet, brukt i nødsituasjoner. Disse anropene vil bli rutet slik at alle tog og brukere som geografisk befinner seg innenfor samme banestrekning, mottar anropet.

Disse tjenestene må opprettholdes når FRMCS overtar som togkommunikasjonssystem for GSM-R. Med FRMCS basert på et 5G-nett vil MCx-funksjonen være nødvendig for å produsere disse taletjenestene. Samtalegrupper defineres i MCx, og denne sørger for at medlemmer av samtalegrupper kan snakke med hverandre, og at nødvendig prioritet blir satt. MCx gir resten av nettet beskjed om at prioritet skal fungere helt frem til sluttbruker.

I tillegg utfører MCx lignende oppgaver for datatrafikken som er oppdragskritisk. Data mellom tog og infrastruktur for selve togfremføringen må ha prioritet på høyeste nivå. MCx administrerer dette, og sørger for at radionett og kjernenett etterlever dette. MCx og funksjonaliteten som trengs for å produsere oppdragskritiske tjenester med tilstrekkelig kvalitet, kapasitet, og med lav nok tidsforsinkelse er spesifisert for 5G av 3GPP. I spesifikasjonene for 5G er det på en helhetlig måte tatt hensyn til hvordan systemplattformen som produserer MCx-tjenester gjør dette i samspill med kjernenett og radionett (RAN).

Tjenestekvalitet – Quality of Service (QoS) er et sentralt begrep innen mobilkommunikasjon, og også for oppdragskritiske tjenester. Brukere må tilbys en garantert kvalitet, for eksempel i form av garantert suksess-rate for taleanrop, garantert lav tidsforsinkelse eller garanterte minimum bitrater. Prioritet foran øvrig trafikk må brukes når det trengs hvis kapasiteten i nettet er fylt opp. Begrepet Pre-emption er nesten det samme som prioritet, men ved pre-emption kan pågående samtaler eller datatrafikk også «kobles ned» for å gi plass til virksomhetskritisk trafikk. Samlebegrepet QPP – Quality of Service, Priority og Pre-emption – brukes gjerne om funksjonaliteten som bidrar til å gi brukerterminaler garantert tjenestekvalitet nødvendig for oppdragskritisk kommunikasjon. MCx administrerer alt dette i et 5G-nett.

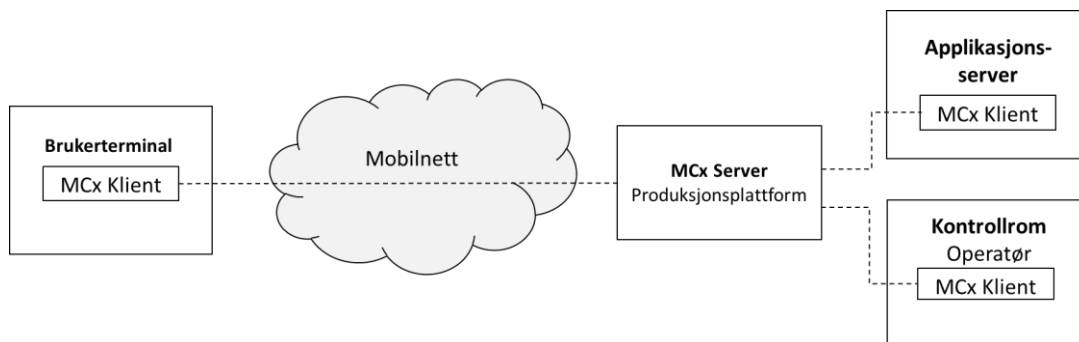
Produksjonsplattformen MCx som brukes for å kunne tilby oppdragskritiske tjenester vil være plassert på en sentral lokasjon i tilknytning til kjernenettet. Med produksjonsplattform mener vi de funksjonelle og teknologiske byggeklossene som gjør det mulig å definere, produsere og levere disse tjenester til brukerne. Disse byggeklossene vil være både maskinvare og programvare som håndterer den oppdragskritiske trafikken.

Samtidig vil brukerutstyret - terminalene – også måtte inneholde MCx-funksjonalitet for å «holde styr» på den oppdragskritiske trafikken. Ikke all kommunikasjon til eller fra en håndholdt, kjøretøymontert eller togmontert radioterminal vil være oppdragskritisk. MCx-klienten i brukerutstyret styrer og administrerer trafikk lokalt, og kommuniserer opp mot MCx-tjenesteplattformen sentralt. Et eksempel på dette kan være at en politibetjent logger på brukerutstyret og dermed melder at han eller hun dermed skal ta del i en operativ brukergruppe. Dermed vil oppdragskritisk kommunikasjon også rutes til denne terminalen. Om bord i et tog vil lignende pålogging kunne skje når toget gjøres klar for avgang.

MCx-klienten om bord i toget vil håndtere den virksomhetskritiske datatrafikken som trengs for togfremføringen, og eventuelt prioritere denne om det trengs frem mot utstyret eller applikasjonen som er endepunktet for kommunikasjonen. En applikasjonsserver sentralt plassert i nettet, og som terminalene

kommuniserer mot, vil på tilsvarende måte ha en MCx-klient innebygget. Denne administrerer trafikken til og fra server og sørger for å be om f.eks. prioritet fra MCx server dersom det trengs.

På lignende måte vil brukerstyret hos en operatør i et kontrollrom også ha en MCx-klient. Her vil også MCx-klienten be om prioritet eller angi hva hvilken type tjeneste som trengs, og håndtere trafikken til og fra operatør, enten det er snakk om tale eller data. Dette er illustrert i figuren nedenfor.



Figur 13 TOBA –MCx-systemarkitektur med MCx server og klienter.

MCx er altså et nytt begrep som er introdusert i 5G. 4G har ikke MCx, selv om det med 4G har vært mulig å produsere en del virksomhetskritiske tjenester. Det kan sies at standardiseringen av MCx i 5G har gjort det mulig å produsere og administrere oppdragskritiske tjenester på en mere enkel og strømlinjeformet måte. Samtidig må det sies at MCx-teknologi pr 2023 i liten grad er tatt i bruk rundt i verden, og at teknologien og markedet i øyeblikket er lite modent. I øyeblikket gjør forprosjekt-studien for nytt nødnett i Norge et arbeid for å kartlegge hvordan MCx kan benyttes sammen med kommersielle mobilnett og hvilke tilbydere som er aktuelle for dette.

6.3.1.6 Ombordutrustning og terminaler

Hittil i mulighetsstudien har vi fokusert på mobilnett-infrastrukturen langs jernbanenettet. Som vi nevnte i kapittel 3.2.6 av behovsanalysen, er utrustningen som skal installeres om bord i togene en svært viktig del av FRMCS. I tillegg til installasjon av ny ombordutrustning er også håndholdte terminaler en nødvendig del av det mobile brukerstyret.

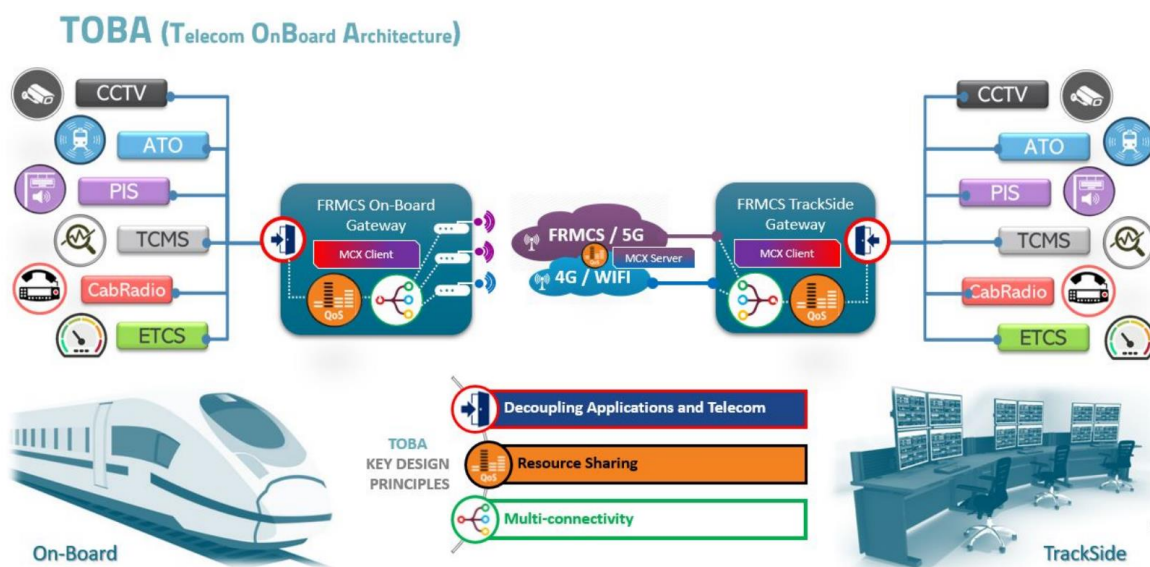
Som nevnt i 3.2.6, representerer den nye TOBA-enheten (Train On-Board Architecture) en helt ny måte å samle all kommunikasjon som går til og fra toget på, ved at all trafikk går gjennom en og samme sentralenhet. Dermed unngår man situasjonen man har i dag, som er at alle enheter og systemer som har et kommunikasjonsbehov, trenger egne modemer, abonnementer og antenner på taket av toget. All trafikk skal istedenfor samles til å gå gjennom samme knutepunkt, slik at arkitekturen for kommunikasjon blir mere sentralisert.

Fordelen med dette er at man får en felles standard for mobil kommunikasjonstilknytning i tog, at man unngår kostnader for installasjon og drift av mange separate enkeltsystemer som skal ha mobil tilknytning, og at kommunikasjonsressursene FRMCS vil representere utnyttes mere effektivt.

TOBA-enheten skal altså være et knutepunkt som kobles til alle systemer som skal kommunisere, samle trafikken, og sørge for radiokommunikasjon mot omverdenen. Dette vil dermed være:

- Datatrafikk for ETCS
- Taletrafikk for togfører og ombordpersonell
- Fremtidig datakommunikasjon for ATO
- Monitoreringsfunksjoner for tekniske systemer i toget

- Alle øvrig ikke-driftskritiske systemer i toget, alt fra passasjertelling, kundeinformasjon for reisende og til salgsautomater i toget



Figur 14 TOBA - telecom onboard architecture

En av hoved-ideene for TOBA, og for FRMCS som system, er at det gjøres en «frakobling» av selve telekommunikasjonen i forhold til det som er øvrig utrustning for styring av toget. Meningen er å designe et modulbasert system hvor selve kommunikasjonsmodulene, det vil si radioenhetene, skal kunne byttes ut. Med den raske utviklingen vi ser for mobilteknologi, kan nye generasjoners radioutstyr lett settes inn i TOBA-utrustningen i toget. Også andre typer bærere er aktuelle, som wifi og satellittkommunikasjon. Med tydelig definerte grensesnitt mellom kommunikasjonsmoduler og resten av TOBA, kan dette oppnås.

Derneft vil også TOBA-enheten ha en MCx-funksjonalitet. Trafikk til og fra toget vil være av ulik karakter. Noen trafikkstrømmer er virksomhetskritisk, og trenger prioritet, lav forsinkelse og ulike former for «spesialbehandling». TOBA-enheten vil ha en innebygget MCx-funksjonalitet som «snakker» med MCx sentralt plassert i nettet – trackside - ref Figur 14 ovenfor, samt skisse over systemarkitektur vist på Figur 13 på forrige side. MCx-funksjonaliteten i TOBA om bord i toget «sorterer» trafikk og opptre på vegne av applikasjoner i utstyret om bord som skal sende og motta virksomhetskritisk trafikk. Men applikasjoner og utstyr om bord i toget kan også ha *egen* MCx-funksjonalitet innebygget. Da bruker de ikke den felles MCx-funksjonaliteten i TOBA. Disse to tilfellene benevnes gjerne henholdsvis «tight coupled» og «loose coupled», avhengig om applikasjonene har egen MCx-funksjonalitet eller om de bruker felles MCx-funksjonalitet i TOBA.

Arbeidsgruppen for standardisering av ombordutrustningen, TOBA working group i UIC, arbeider med spesifikasjonene for ombordutrustning i tog. Dette arbeidet pågår fortsatt, og Bane NOR er representert. Det er fortsatt detaljer i utformingen selve TOBA-enheten, og av installasjonene forøvrig. Et spørsmål er om det skal legges opp kabling gjennom hele toget, for tilkobling av ulike utstyrsenheter hvor som helst om bord. Det vil være nyttig å følge utviklingen i dette spesifikasjonsarbeidet.

Ombygging av tog er både svært kostbart og tidkrevende. Dette vil mest sannsynlig også gjelde ombygging for FRMCS. Når tog i alle europeiske land må bygges om med TOBA, er det tanken at dette gjøres «en gang for alle», og at det ikke er nødvendig å bygge om på grunn av utvikling i mobilteknologien. Delen av TOBA som blir «fast», skal altså inneholde kabling og grensesnitt mellom alle enheter i toget som trenger kommunikasjon, også ETCS-styringsenheten for selve toget. På denne måten skal fremtidige endringer bare skje ved oppgradering av programvare, og ved bytte av radiomoduler.

Det kan også synes som om utforming og ombygging av ombordutrustningen i togene, og dermed kostnaden, blir relativt lik uavhengig av eierskap til FRMCS-nettet. Vi vil drøfte dette nærmere etter at vi har utviklet ferdige alternativer for grundig evaluering, men det synes nødvendig å etablere TOBA-utrustning i alle tog uavhengig av hvilken eierskapsstruktur det skal være for infrastrukturen i det stasjonere FRMCS-nettet.

Siden TOBA-enheten skal bestykkes med radiomoduler avhengig av valgt nettstruktur og eierskap, men ellers vil være lik i de ulike alternativene, vil ombordutrustning hverken skal påvirke valg av løsning for mobilnettet. Det synes heller ikke som at kostnadene for implementering av ny ombordutrustning vil variere veldig mye med valgt eierskap og nettstruktur i FRMCS-nettet. Alternativene er i utgangspunktet helt uavhengige av TOBA.

Erfaringen fra det norske ERTMS-prosjektet så langt, er at ombygging av tog er tidkrevende og kostbart. Det å få bygget om alle norske tog for FRMCS vil medføre en ny runde med ombygging. Et spørsmål som fort melder seg er om ombygging av tog i Norge skal skje før, samtidig eller etter at mobilnett-infrastruktur langs linjenettet bygges ut for FRMCS.

I tillegg til den fastmonterte TOBA-utrustningen, trengs det også håndholdte terminaler. Dette brukes i dag med GSM-R, og behovet vil også være der med FRMCS. Selv om ERTMS/ ETCS blir tatt i bruk i Norge, vil det fortsatt være et behov for håndholdte terminaler for både personell om bord, og personell som utfører ulike andre oppgaver for jernbanen. Ombordpersonell og konduktører bruker håndholdte terminaler. I nød- og faresituasjoner er dette til stor hjelp. Ved spesielle situasjoner under opphold på stasjoner kan det også være til hjelp at ombordpersonell kan snakke sammen med PTT-funksjonalitet. Videre bruker hovedsikkerhetsvakter GSM-R -telefoner for å kommunisere med tog og togledere når de har oppsyn og sikkerhetsansvar under arbeid på eller nært jernbanesporet. Under skjøting og deling av togsett er det også viktig at personell utenfor toget kan kommunisere effektivt med togfører.

Håndholdte terminaler må kunne kommunisere like sømløst over FRMCS-nettet som fastmonterte terminaler. Ombordpersonell må kunne sende og motta nødalarmer og delta i gruppesamtaler på lik linje med togfører, som bruker fastmontert brukerstyr. Håndholdte terminaler vil også ha innebygget MCx-funksjonalitet i form av en klient for dette. De må også være frekvensmessig kompatible med det systemet som blir bygget for FRMCS i Norge.

Kort oppsummert skal altså Ombordutrustningen TOBA være skal altså være kommunikasjonssentralen all trafikk skal gå gjennom. Dette gjelder data og tale, både kritisk og ikke-kritisk trafikk for togfremføringen. Derfor må TOBA sortere og prioritere trafikken, før den sendes over radio til infrastrukturen. Den driftskritiske trafikken må prioriteres foran annen trafikk. Håndholdte terminaler er en viktig del av terminalutstyret som trengs for FRMCS, selv om kostnadene disse utgjør blir beskjedne i det store bildet.

6.3.1.7 Applikasjoner

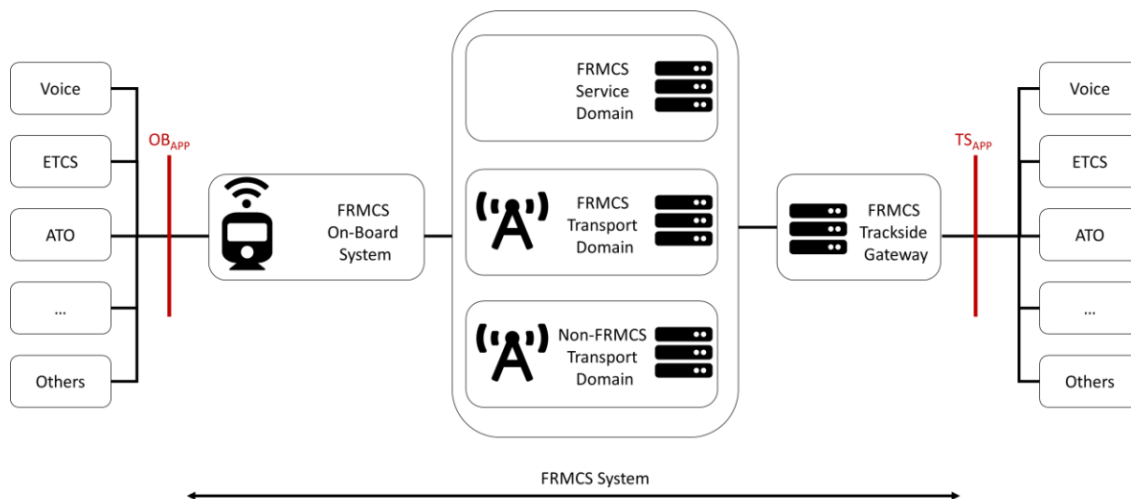
Applikasjonene er viktige - de er i det hele tatt årsaken til at vi trenger et kommunikasjonssystem. FRMCS skal overta rollen til GSM-R, nemlig å være kommunikasjonssystem for alle applikasjoner og systemfunksjoner som trenger kommunikasjon. De virksomhetskritiske applikasjonene er de mest betydningsfulle – applikasjoner og tjenester som er nødvendige for togfremføringen legger føringer for hvordan resten av kommunikasjonssystemet må virke.

ETCS, tale og ATO vil være de oppdragskritiske applikasjonene for at togfremføring skal kunne skje. Det vil være applikasjoner om bord i toget for disse, og på sentralt hold vil det være applikasjoner som kommuniserer med disse. Trafikkstyringen for ERTMS/ ETCS vil ha applikasjoner som kjører på servere tilknyttet trafikkstyringssentraler. Togledere og operatører vil bruke applikasjonene, og kommunikasjonssystemet vil sørge for at nødvendig informasjon når sin motpart-applikasjon om bord i toget. Rask, pålitelig og sikker kommunikasjon med nok kapasitet er nødvendig for at systemet skal virke som det skal.

Tale betrakter man kanskje normalt ikke som en applikasjon, men det er nok riktig å gjøre dette her. Dette fordi tale trenger å overføres med en del spesiell funksjonalitet her, med gruppeanrop og samtalegrupper, nødalarmer, PTT (push to talk – alle hører alle) og funksjonelle nummer. Operatører som bruker taletjenester, vil betjene en applikasjon som styrer dette. Selve talesignalene kan ses på som datastrømmer, som bare

skal rutes til en eller flere korrekte mottakere, avhengig av hvilken taletjeneste som brukes. Også her vil sentrale applikasjoner kommunisere med applikasjoner i brukerterminaler, som enten er fastmontert i førerkabin i toget, eller i håndholdte terminaler.

Figuren nedenfor, som er hentet fra et av spesifikasjonsdokumentene for FRMCS, viser hvordan applikasjoner om bord i tog (On-board) kommuniserer med applikasjoner som er sentralt plassert (Trackside). De røde strekene representerer det felles grensesnittet applikasjonene må ha mot kommunikasjonssystemet på begge sider. Alt mellom disse strekene er altså kommunikasjonssystemet FRMCS, som skal formidle informasjonsflyt fra ende til ende.



Figur 15 Illustrasjon hentet fra UIC-dokument System Requirement Specification v1.0.0, kapittel 6.1.3

6.3.1.8 Systemarkitektur for FRMCS

En litt mere teknisk vinklet måte å sette informasjonen vi har drøftet ovenfor, er å forklare virkemåten til systemet ut fra en lagdelt kommunikasjonsmodell.

Innenfor kommunikasjonsteori er dette en vanlig måte å betrakte hele systemet på. Ulike lag – eller stratum – har ulike oppgaver. UIC har valgt å benytte en modell med tredelt lagstruktur sine spesifikasjonsdokumenter. Dette er:

- Transport-stratum
- Tjeneste-stratum
- Applikasjon-stratum

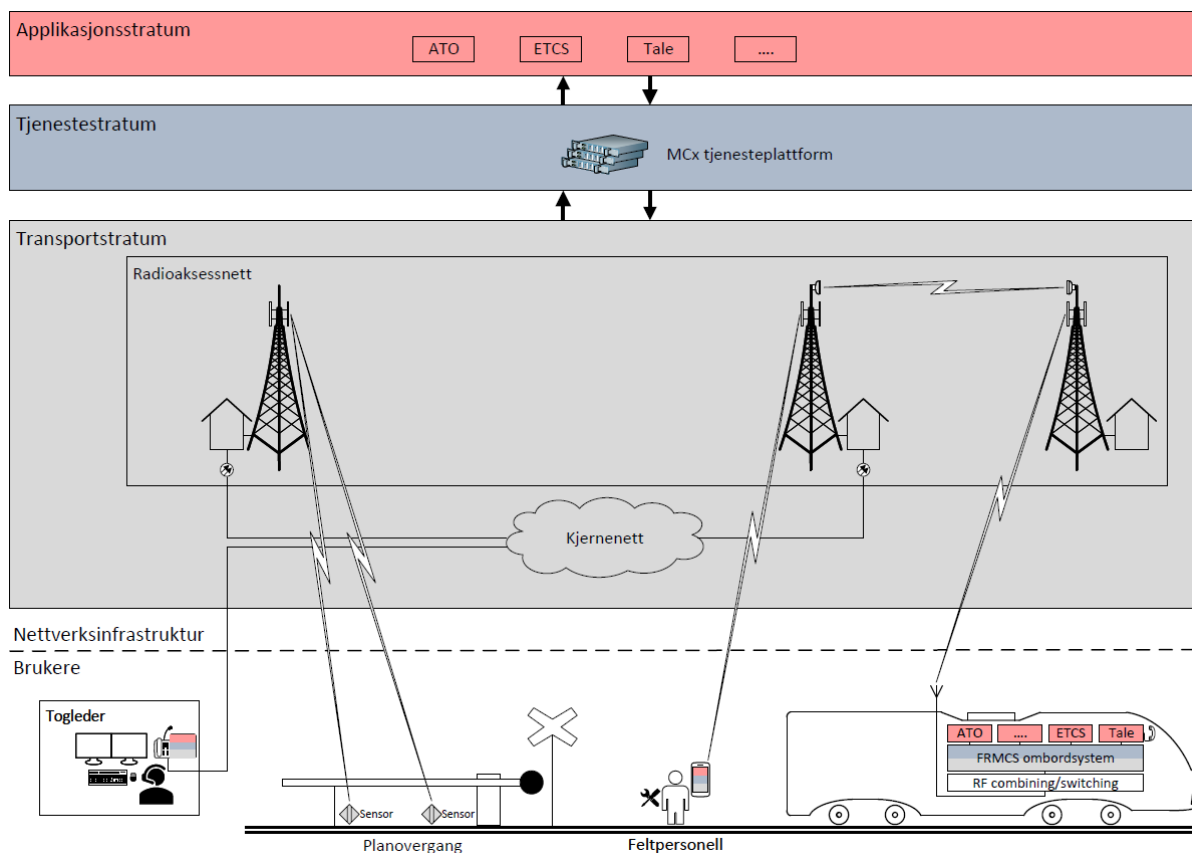
Dette er illustrert i Figur 16 nedenfor.

Transport-stratum har som oppgave å sørge for transport av tale og data fra ende til ende i FRMCS-nettet. Nettverksinfrastruktur som radioaksess, kjernenett og transmisjon er komponenter som gjør det mulig å tilby transport. I et 5G-nett skjer transport ved hjelp av IP-basert kommunikasjon. Transport-stratum tilbyr transport til overliggende lag, tjeneste-stratum.

Tjeneste-stratum skal tilby teletjenester. Tjeneste-stratum produserer tjenestene som trengs. MCx er den viktige komponenten her, og sørger for at virksomhetskritiske «spesialtjenester» blir produsert med riktig teknisk kvalitet. Tjeneste-stratum tilbyr tjenester til overliggende lag, applikasjons-stratum.

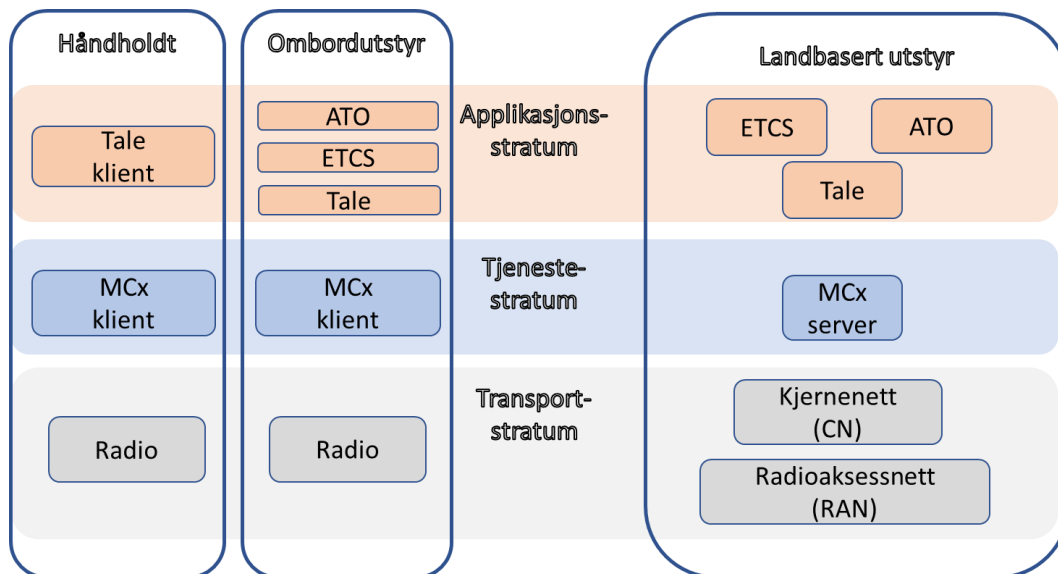
Applikasjonsstratum er det «øverste» laget i den lagdelte modellen, og er laget hvor applikasjonene befinner seg, jamfør forrige kapittel. Når applikasjonene trenger å kommunisere på tvers av systemet, ber applikasjonslaget om hjelp til dette fra tjenestelaget. Tjenestelaget sørger for at tjenesten leveres, ved å benytte transportlaget.

Figuren viser også sluttbrukere av systemet, som kan være togledere, togførere eller ombordpersonell, men også maskiner, som ETCS kjørecomputer om bord i toget, eller styring av en planovergang.



Figur 16 FRMCS - transportstratum, tjenestestratum, applikasjonsstratum

En lignende fremstilling av den lagdelte modellen, som inneholder mye av den samme informasjonen, ser slik ut:



Figur 17 FRMCS – alternativ fremstilling av transportstratum, tjenestestratum, applikasjonsstratum

6.3.2 Ulike mulige eierskapsmodeller for FRMCS

Med gjennomgangen av de ulike systemkomponentene i et 5G-nett for FRMCS i foregående kapittel, har vi bakgrunnskunnskap nok til å drøfte hvordan mulige konstellasjoner for eierskap kan se ut. Med utgangspunkt i eierskaps- og ansvarsstruktur ønsker vi å få frem sannsynlige konsepter som kan vurderes videre som alternativer i selve alternativanalysen.

Vi starter altså med en eierskapsvurdering for å studere hva som vil være aktuelle konsepter, og disse vil videre bli vurdert også med tanke på alle øvrige vurderingskriterier nevnt i kapittel 6.2. Målet med denne delen av utredningen er å ha god nok informasjon til å gjøre en grovsiling. Dermed kan vi sile bort de minst aktuelle konseptene og stå igjen med de konseptene som er aktuelle for den mer grundigere alternativanalysen.

I den foregående drøftingen har vi redegjort for hvordan FRMCS-nettet bygges opp, og hvilke systemkomponenter som inngår. Når vi skal vurdere mulige eierskapsmodeller for fremtidig nett, er det noen komponenter som vi har valgfrihet for, mens andre ikke har det. Ombordutrustning og applikasjoner er to slike.

Vi har altså et FRMCS-nett som består av følgende 5 komponenter:

- Passiv infrastruktur
- Radioaksess-nett (RAN)
- Transmisjon
- Kjernenett
- MCx

Ombord-utrustningen er ikke tatt med i denne vurderingen. Ombordutrustning og terminaler er vurdert til å være uavhengig av infrastrukturen i mobilnettet, og holdes utenfor. Eierskapet vil etter all sannsynlighet være hos eiere av kjøretøy og hos andre virksomheter som utfører aktiviteter langs sporet, og eventuelle spørsmål om dette vil uansett ikke ha noen kobling mot resten av nettet. Applikasjons-delen av systemet er heller ikke tatt med. Vi forutsetter som et utgangspunkt at en hvilken som helst type applikasjon eller programvare kan benytte FRMCS-nettet som bærer. Det er derfor ikke grunn til å ta dette med i betraktninger om eierskap.

Med en struktur bestående av de nevnte 5 elementene, vil vi kunne stille opp et gitt antall mulige kombinasjoner. Det er i prinsippet to mulige former for eierskap for hvert element, nemlig eierskap i regi av Bane NOR, eller eierskap i regi av en kommersiell operatør/ tilbyder. Riktignok kan flere parallelle tilbydere eksistere for noen systemelementer, dette kommer vi tilbake til.

Den passive infrastrukturen kan eies av Bane NOR som i dag, eller den kan overtas av en kommersiell operatør, Det samme kan sies om radioaksess-nettet. Transmisjon kan også betraktes slik. Samtidig er transmisjon i større grad et produkt som kan kjøpes eller leies uten at eierskap har så stor innvirkning på operasjon, drift og kostnader som for de øvrige delene av nettet. Dessuten er det slik at Bane NOR har et fibernet som stort sett dekker hele jernbanenettet. Samtidig er Bane NOR i mange tilfeller den eneste tilbyder av fiber langs jernbanen, slik at på mange strekninger vil fiber eid av Bane NOR uansett være eneste alternativ. Transmisjon kan derfor etter vårt syn sies å være mindre viktig når eierskap skal vurderes.

Kjernenettet kan vurderes på samme måte som radioaksessnett og passiv infrastruktur; også her kan Bane NOR ha eierskapet, eller en kommersiell aktør kan ha det. Samme tankegang kan også anvendes for MCx. Imidlertid kan det synes interessant at et Bane NOR- eierskap kan vurderes opp mot et felles statlig eierskap ettersom det kan tenkes at Nødnnett også kommer til å etablere en MCx med statlig eierskap.

6.3.2.1 *Kombinasjoner med en kommersiell tilbyder*

Med en analytisk tilnærming ved hjelp av kombinatorikk, vil vi se at vi vil ha $2^5 = 32$ ulike måter å stille opp eierskaps-konstellasjoner på. Dette er visualisert i Tabell 6 nedenfor. Dette kan sies å være en metode som er grundig og analytisk vinklet, men som samtidig er svært nyttig for å kartlegge det hele og fulle mulighetsrommet på en grundig måte.

Tabell 6 Ulike kombinasjoner for eierskap

	Passiv infrastruktur Master, hytter, strøm	Radioaksessnett Basestasjoner og antenner	Transmisjon	Kjernetett	Tjenesteplattform MCx-plattform
1	BN	BN	BN	BN	BN
2	BN	BN	BN	BN	Kommerseill
3	BN	BN	BN	Kommerseill	BN
4	BN	BN	BN	Kommerseill	Kommerseill
5	BN	BN	Kommerseill	BN	BN
6	BN	BN	Kommerseill	BN	Kommerseill
7	BN	BN	Kommerseill	Kommerseill	BN
8	BN	BN	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill
9	BN	Kommerseill	BN	BN	BN
10	BN	Kommerseill	BN	BN	Kommerseill
11	BN	Kommerseill	BN	Kommerseill	BN
12	BN	Kommerseill	BN	Kommerseill	Kommerseill
13	BN	Kommerseill	Kommerseill	BN	BN
14	BN	Kommerseill	Kommerseill	BN	Kommerseill
15	BN	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	BN
16	BN	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill
17	Kommerseill	BN	BN	BN	BN
18	Kommerseill	BN	BN	BN	Kommerseill
19	Kommerseill	BN	BN	Kommerseill	BN
20	Kommerseill	BN	BN	Kommerseill	Kommerseill
21	Kommerseill	BN	Kommerseill	BN	BN
22	Kommerseill	BN	Kommerseill	BN	Kommerseill
23	Kommerseill	BN	Kommerseill	Kommerseill	BN
24	Kommerseill	BN	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill
25	Kommerseill	Kommerseill	BN	BN	BN
26	Kommerseill	Kommerseill	BN	BN	Kommerseill
27	Kommerseill	Kommerseill	BN	Kommerseill	BN
28	Kommerseill	Kommerseill	BN	Kommerseill	Kommerseill
29	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	BN	BN
30	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	BN	Kommerseill
31	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	BN
32	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill	Kommerseill

Grønn = Bane NOR / statlig eid

Blå = kommersiell operatør eller tjeneste

Oversikten gir altså en binær kombinatorisk oversikt over alle mulige kombinasjoner av nevnte 5 nettelementer. Kombinasjonene er nummerert fra 1 til 32. Måten å behandle dette videre på, er å plukke ut kombinasjonene som er aktuelle og realistiske konsepter. På denne måten sikrer vi at alle mulige kombinasjoner er tatt med i det som er utgangspunktet for videre behandling.

Dette har vi gjort i Tabell 7.

Tabell 7 Utvalgte kombinasjoner for eierskap

	Passiv infrastruktur Master, hytter, strøm	Radioaksessnett Basestasjoner og antenner	Transmisjon	Kjernetett	Tjenesteplattform MCx-plattform
1	BN	BN	BN	BN	BN
2	BN	BN	BN	BN	Kommersisell
3	BN	BN	BN	Kommersisell	BN
4	BN	BN	BN	Kommersisell	Kommersisell
5	BN	BN	Kommersisell	BN	BN
6	BN	BN	Kommersisell	BN	Kommersisell
7	BN	BN	Kommersisell	Kommersisell	BN
8	BN	BN	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell
9	BN	Kommersisell	BN	BN	BN
10	BN	Kommersisell	BN	BN	Kommersisell
11	BN	Kommersisell	BN	Kommersisell	BN
12	BN	Kommersisell	BN	Kommersisell	Kommersisell
13	BN	Kommersisell	Kommersisell	BN	BN
14	BN	Kommersisell	Kommersisell	BN	Kommersisell
15	BN	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	BN
16	BN	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell
17	Kommersisell	BN	BN	BN	BN
18	Kommersisell	BN	BN	BN	Kommersisell
19	Kommersisell	BN	BN	Kommersisell	BN
20	Kommersisell	BN	BN	Kommersisell	Kommersisell
21	Kommersisell	BN	Kommersisell	BN	BN
22	Kommersisell	BN	Kommersisell	BN	Kommersisell
23	Kommersisell	BN	Kommersisell	Kommersisell	BN
24	Kommersisell	BN	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell
25	Kommersisell	Kommersisell	BN	BN	BN
26	Kommersisell	Kommersisell	BN	BN	Kommersisell
27	Kommersisell	Kommersisell	BN	Kommersisell	BN
28	Kommersisell	Kommersisell	BN	Kommersisell	Kommersisell
29	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	BN	BN
30	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	BN	Kommersisell
31	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	BN
32	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell	Kommersisell

Grønn = Bane NOR / statlig eid

Blå = kommersiell operatør eller tjeneste

Vi har her merket alle alternativer som vi ser på som aktuelle med rød ramme. En kort forklaring sammen med vår analytiske begrunnelse for å velge disse er oppsummert nedenfor.

De mest aktuelle kombinasjonene som vi har valgt å ta med, er:

Kombinasjon 1: Dette er det heleide Bane NOR -alternativet, hvor alle deler av nettet er i Bane NOR sitt eierskap. Dette minner om GSM-R i dag. Bane NOR eier den passive

infrastrukturen (der man ikke er innplassert eller leier plass på rooftop-lokasjoner). Videre har Bane NOR eierskap til både radioaksessnett, transmisjon, kjernenett og MCx. Dette vil si at Bane NOR, eier, opererer og drifter samtlige ledd i verdikjeden.

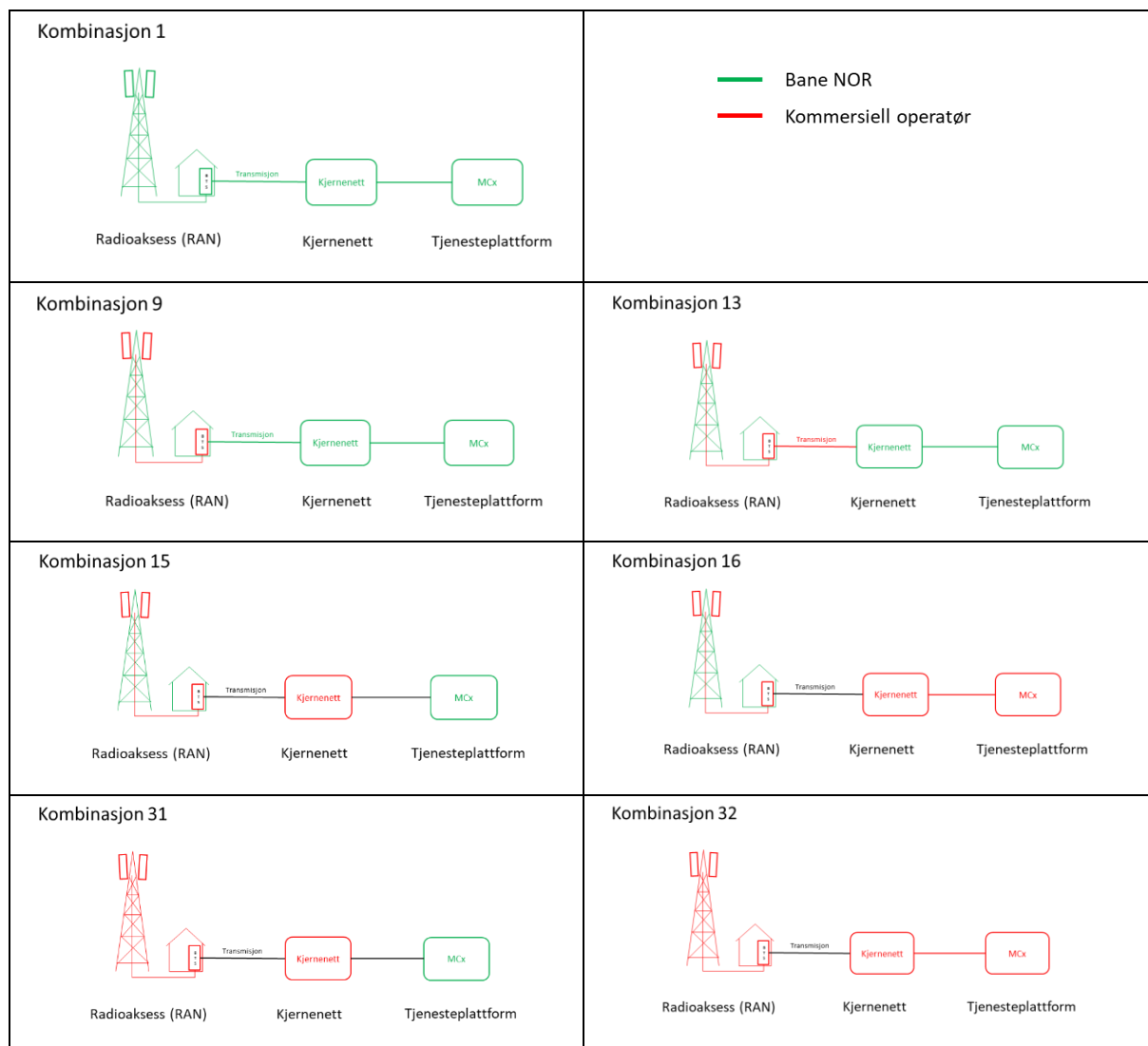
- Kombinasjon 9:** Denne kombinasjonen er som kombinasjon 1, med unntak av at operasjon av radioaksessnettet settes ut til en kommersiell operatør. Radioaksess kjøpes som en tjeneste fra denne operatøren. Passiv infrastruktur, samt transmisjon, kjernenett og MCx er fortsatt eid, operert og driftet Bane NOR. Kombinasjonen er aktuell fordi det kan synes aktuelt å outsource denne delen av nettet. Radioaksessnettet er den mest omfattende og kostbare delen av nettet, og det å sette ut driften til en kommersiell aktør kan være kostnadseffektivt.
- Kombinasjon 13:** Denne kombinasjonen tar tanken bak kombinasjon 9 et steg videre. Her er også transmisjon satt ut som et tjenestekjøp fra en kommersiell aktør. Ellers er alt det andre likt alternativ 9. Kjernenett, MCx og passiv infrastruktur eies, opereres og driftes av Bane NOR.
- Kombinasjon 15:** Denne kombinasjonen viderefører tanken bak kombinasjon 9 og 13. Her er i tillegg til radioaksessnett og transmisjon, også kjernenettet operert av en kommersiell aktør. Dermed vil alt fra og med radioaksess til og med og kjernenett-tjenester være kjøpte tjenester, MCx fortsatt vil være eid, operert og driftet Bane NOR, i likhet med passiv infrastruktur. Kombinasjonen er aktuell fordi det kan synes hensiktsmessig å outsource radioaksess og kjernenett samlet. Radionett og kjernenett «spiller sammen» i stor grad i 5G. og det kan være fordelene med å ikke splitte dem. Riktignok kan man også se for seg at to ulike aktører tar seg av hver av disse tjenestene. Dette kommer vi imidlertid tilbake til.
- Kombinasjon 16:** Her tas tanken bak kombinasjonene 9,13 og 15 ytterligere et steg videre ved at MCx-funksjonen også ivaretas ved tjenestekjøp. Dermed er altså hele verdikjeden i nettet, fra radioaksess til MCx, satt ut som et tjenestekjøp. Dette kan skje ved at tjenestene kjøpes av den samme operatøren, men også ved at ulike operatører ivaretar operasjon av de ulike delene av nettet. Dette kommer vi også tilbake til i videre drøfting. Kombinasjonen er aktuell fordi det må sies å være aktuelt å utsette samtlige av nettverksfunksjonene for konkurranse i form av et tjenestekjøp. Samtidig vil Bane NOR ikke lenger stå ansvarlig for operasjon av noen deler av nettet, men vil fortsatt eie og ha ansvar for den passive infrastrukturen.
- Kombinasjon 31:** Denne kombinasjonen er så å si identisk med kombinasjon 15, med unntak av at den passive infrastrukturen her vil bli overtatt av en kommersiell operatør. I praksis betyr dette et salg av Bane NOR sine lokasjoner. Denne operatøren har også eierskap til radioaksessnettet, og i tillegg transmisjon og kjernenettet. MCx vil imidlertid være eid, operert og driftet Bane NOR. Kombinasjonen er også her aktuell fordi det kan synes hensiktsmessig å outsource radioaksess og kjernenett samlet. Samtidig er MCx med sine virksomhetskritiske funksjoner muligens verdt å beholde, operert av Bane NOR. Dette er en aktuell kombinasjon, siden salg av alle lokasjoner definitivt bør vurderes som en del av mulighetsrommet.
- Kombinasjon 32:** Her er også MCx-operasjon satt ut som et tjenestekjøp. Denne kombinasjonen er så å si identisk med kombinasjon 16, med unntak av den passive infrastrukturen. Her vil også den passive infrastrukturen overtas av en kommersiell aktør. Dermed vil samtlige deler av nettet være outsourcet, Dette må også sies å være en kombinasjon som må vurderes, som et ytterpunkt i det totale mulighetsrommet.

Alle de øvrige kombinasjonene – 26 i alt, kategoriseres dermed som uaktuelle i denne fasen av analysen. Begrunnelse for dette er kort som følger:

- Kombinasjon 2: Dette er en lite aktuell kombinasjon, det gir ikke mye mening å ha kommersiell operasjon av MCx når alt annet er Bane NOR -eid.
- Kombinasjon 3: Ikke en aktuell kombinasjon, det gir ikke mye mening å ha kommersielt kjernenett når alt annet er Bane NOR -eid.
- Kombinasjon 4: Alternativet synes å være en lite aktuell kombinasjon - det gir ikke mye mening å ha kommersielt kjernenett og MCx, når radioaksessnettet er Bane NOR -eid. Dette begrunnes med at radioaksessnettet representerer den mest kostnadskrevede delen av nettet, og med at det også ellers kan synes lite hensiktsmessig å organisere operasjon av nettet på denne måten.
- Kombinasjon 5: Utenom transmisjon, er kombinasjonen lik kombinasjon 1, som er tatt med som aktuell. Transmisjon er en tjeneste, som kan kjøpes eller leies i det kommersielle markedet. Transmisjon må sies å være ukomplisert sammenlignet med øvrige deler av nettet, og om denne tjenesten er levert av Bane NOR eller av kommersielle operatører synes mindre viktig. Siden kombinasjon 1 er tatt med, og transmisjon anses som delvis likegyldig med tanke på leverandør, forkastes kombinasjon 5.
- Kombinasjon 6: Transmisjon må også her kunne ses på som likegyldig mhp. leverandør. Videre synes det å være lite aktuelt å ha en kommersiell MCx når alt annet er Bane NOR -eid. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 7: Transmisjon ses også her på som likegyldig mhp. leverandør. Videre synes det å være lite aktuelt å ha et kommersielt kjernenett, når radioaksessnett og MCx er Bane NOR -eid (som kombinasjon 3). Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 8: Utenom transmisjon er kombinasjonen som nummer 4. Det gir ikke mye mening å ha kommersielle kjernenett og MCx, når radioaksessnettet er Bane NOR -eid. Dette begrunnes tilsvarende som for kombinasjon 4. Transmisjon anses som likegyldig. Kombinasjonen anses å være lite aktuell.
- Kombinasjon 10: Her er radioaksess kommersiell. Det er også MCx. Da synes det lite hensiktsmessig å ha et Bane NOR -eid kjernenett «imellom» disse. Transmisjon anses som likegyldig. Kombinasjonen anses å være lite aktuell.
- Kombinasjon 11: Kombinasjonen er aktuell, men er med unntak av transmisjon lik kombinasjon 15, som er tatt med. Siden vi betrakter transmisjon som likegyldig, er kombinasjonen allerede ivaretatt gjennom nummer 15.
- Kombinasjon 12: Her har vi tilsvarende likhet med kombinasjon 16, som vi har mellom kombinasjonene 11 og 15. Med unntak av transmisjon, har vi likhet med kombinasjon 16, og kombinasjonen er allerede ivaretatt gjennom sistnevnte.
- Kombinasjon 14: Denne er lik kombinasjon 10, om vi igjen ser bort fra transmisjon. Det synes lite aktuelt å ha et Bane NOR -eid kjernenett «imellom» et kommersielt radioaksessnett og en kommersiell MCx. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 17: Det er lite aktuelt og hensiktsmessig å overdra passiv infrastruktur til kommersiell aktør når Bane NOR skal eie både radioaksess og øvrige deler av nettet. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 18: Det er lite aktuelt å overdra passiv infrastruktur til kommersiell aktør når Bane NOR skal eie både radioaksess og kjernenett. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 19: Det er lite aktuelt å overdra passiv infrastruktur til kommersiell aktør når Bane NOR skal eie både radioaksess og MCx. Kombinasjonen anses som uaktuell.

- Kombinasjon 20: Det er lite aktuelt å overdra passiv infrastruktur til kommersiell aktør når Bane NOR skal eie radioaksessnettet. Det er dessuten lite aktuelt med både kommersielt kjernenett og MCx når radionettet er Bane NOR sitt (som for kombinasjon 4). Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 21: Som for kombinasjon 17 er det lite aktuelt å overdra passiv infrastruktur til kommersiell aktør når Bane NOR skal eie både radioaksess og øvrige deler av nettet. Transmisjon anses som likegyldig. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 22: Som for kombinasjon 18 er det lite aktuelt å overdra passiv infrastruktur til kommersiell aktør når Bane NOR skal eie både radioaksess og kjernenett. Transmisjon anses som likegyldig. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 23: Som for kombinasjon 19; det gir ingen mening å ha et kommersielt kjernenett når radioaksess og også MCx er Bane NOR-eid. Transmisjonsleverandør er fortsatt likegyldig. Kombinasjonen anses som uaktuell,
- Kombinasjon 24: Som for kombinasjon 20; det er lite aktuelt å overdra passiv infrastruktur til kommersiell aktør når Bane NOR skal eie radioaksessnettet. Det er også lite aktuelt med både kommersielt kjernenett og MCx når radionettet er Bane NOR sitt. Transmisjonsleverandør er fortsatt betraktet som likegyldig. Kombinasjonen anses som uaktuell,
- Kombinasjon 25: Alternativet kan i utgangspunktet vurderes. Her er passiv infrastruktur overtatt av kommersiell operatør som også har radioaksessnettet. Kombinasjonen er bortsett fra for passiv infrastruktur, ellers lik kombinasjon 9, som tas med som aktuell, Vi velger å notere oss dette momentet i videre drøfting av kombinasjon 9, men også for en grunnleggende og generell drøfting av fremtidig eierskap av passiv infrastruktur. Kombinasjonen legges derfor til side her.
- Kombinasjon 26: Kombinasjonen er, med unntak av passiv infrastruktur, lik kombinasjon 10. Også her er radioaksess og MCx kommersielle. Da synes det lite hensiktsmessig å ha et Bane NOR -eid kjernenett «imellom» disse. Kombinasjonen anses å være lite aktuell.
- Kombinasjon 27: Kombinasjonen er, med unntak av transmisjon, lik kombinasjon 31, som anses som aktuell. Siden vi betrakter transmisjon som likegyldig, er kombinasjonen allerede ivaretatt gjennom nummer 31.
- Kombinasjon 28: Kombinasjonen er, med unntak av transmisjon, lik kombinasjon 32, som anses som aktuell.. Siden vi betrakter transmisjon som likegyldig, er kombinasjonen allerede ivaretatt gjennom nummer 32.
- Kombinasjon 29: Kombinasjonen er, med unntak av passiv infrastruktur, lik kombinasjon 13, som anses som aktuell. Siden vi betrakter transmisjon som likegyldig, er kombinasjonen også identisk med kombinasjonene 9 og 25. Vi noterer oss momentet med eierskap av passiv infrastruktur som vi har omtalt for 29, og anser kombinasjonen ivaretatt av nummer 13, men den bør også ses opp mot nummer 31 og 32.
- Kombinasjon 30: Kombinasjonen er mindre aktuell, da det er lite aktuelt å ha BN-kjernenett når radioaksess og MCx er kommersielle.

Kort oppsummert har denne gjennomgangen belyst en del sider av hvordan ulike deler av nettet kan settes sammen til realistiske og aktuelle alternativer. Vi har ved en analytisk gjennomgang kommet til at vi tar med oss 7 kombinasjoner videre – kombinasjon 1, 9, 13, 15, 16, 31 og 32.



Figur 18 Kombinasjoner

Gjennom drøftingen kan vi oppsummere noen grunnleggende observasjoner:

- Om passiv infrastruktur skal overtas av en kommersiell aktør er et viktig og prinsipielt valg. Vi vil senere drøfte hvorvidt dette er både mulig og hensiktsmessig. Hvis dette gjøres, er det sannsynligvis ikke noen grunn til å la Bane NOR operere et radioaksessnett.
- Dersom radioaksess, som er en stor og kostnadskrevende del av nettet, outsources, kan kjernenett være enten Bane NOR-eid, eller eid av kommersiell aktør.
- Det spiller en mindre rolle hvem som er tilbyder av transmisjon fra basestasjoner og inn i kjernenettet. Transmisjon kan betraktes som en enkel funksjon – nesten på linje med kraftforsyning – med tanke på hvem leverandør er. Det er enkle grensesnitt mot henholdsvis radioaksessnett og kjernenett. Derfor mener vi det er riktig å betrakte eierskap av transmisjon som likegyldig, eller som et «wildcard». Man vil i de fleste tilfellene uansett ikke komme unna en bruk av Bane NOR sin fiberinfrastruktur, som mange steder er den eneste langs jernbanestrekningene. Dette vil igjen redusere antallet kombinasjoner, faktisk halveres dette tallet. Ut fra disse vurderingene, velger vi herved å betrakte transmisjon som en del av nettet vi i liten grad trenger å vurdere eierskap/ tilbyder av.

6.3.2.2 *Kombinasjoner med flere samtidige kommersielle tilbydere*

Vi har nå gjort en analyse av aktuelle og uaktuelle kombinasjoner med en tilbyder for hver del av nettet. Men hva om man tillater flere tilbydere for en eller flere deler av nettet?

Radioaksessnettet er den delen av det totale nettet hvor denne tanken sannsynligvis gir mest mening. Vi kan lett tenke oss at både to og tre kommersielle operatører kan dele på denne oppgaven. Flere enn tre aktører er det imidlertid vanskelig å tenke seg, så lenge det i Norge bare eksisterer tre operatører med eget nett. Det er heller ikke noe som tyder på at det på lang sikt kommer til å bli flere enn dette. En slik fordeling kan skje ved at to eller tre operatører kan være parallelt til stede langs jernbanenettet, eller at operatører enkeltvis har ansvar for geografiske soner eller strekninger.

Videre kan man også for kjernenett-delen av nettet kan ivaretas av flere enn en aktør. På samme måte som man kan ha to eller tre operatører som deler på å tilby radioaksess, kan man også ha to eller tre kjernenett. Det mest nærliggende vil da være at hver operatør som tilbyr radioaksess, også har sitt eget kjernenett.

Imidlertid kan radioaksess gis på to ulike måter, med hensyn på hvordan terminalene i nettet fungerer. Det kan nemlig gjøres på disse måtene:

- Nasjonal gjesting: terminaler kan tilbys radioaksess fra alle tilgjengelige nasjonale mobilnett, selv om SIM-kort er utstedt av kun en av disse. Dette kalles også nasjonal roaming. Terminalen har ett SIM-kort, men dersom radioaksessnettet terminalen hører hjemme i ikke har dekning, vil terminalen gjeste et av de andre tilgjengelige nettene. Dette skjer ved at nettet som gjestes kommuniserer med terminalen sitt «hjemmenett» om re-ruting av samtale- og datatrafikk.
- Flere SIM-kort i terminal: Terminalen kan utstyres med ett SIM-kort for hvert mobilnett som den skal kunne fungere i. Dermed kan den samtidig registrere seg i flere av de tilgjengelige nettene, uten at det gjøres gjesting som krever re-ruting av trafikk via eget hjemme-kjernenett. Dette vil si at terminalen må ha to SIM-kort for å operere i to nett samtidig. Dette er i dag vanlig for mange kommersielt tilgjengelige mobiltelefoner i flere land i verden. For samtidig tilgang til tre nett, må terminalen være tre SIM-kort. Dette er ikke vanlig i dag, men det forventes at det med mere utstrakt bruk av e-SIM vil komme terminaler som kan fungere på denne måten.

For den siste delen av nettet, MCx, vil det imidlertid ikke være aktuelt å ha flere samtidige tilbydere. Vi ser ingen tilfeller hvor dette kan synes hensiktsmessig. MCx er en entitet i nettet som godt kan operere og samvirke opp mot flere radio- og kjernenett. Men det vil ikke gi noen verdi å ha flere parallelle tilbydere av MCx-tjenesten, snarere vil dette bare komplisere ting. Hvis man ser på hva redundans kan bety for MCx, vil man ved hjelp av dubberte maskinvare- og programvare-løsninger kunne gi ønsket grad av oppetid med en tilbyder. Med andre ord trengs det bare en MCx-tilbyder i et 5G-nett. Denne vil da være enten Bane NOR, en annen statlig aktør, eller en kommersiell aktør.

Hvis vi skal lage en oversikt over mulige kombinasjoner med flere samtidige kommersielle tilbydere av nett, vil vi videreføre metoden vi allerede har brukt. Ved å på nytt stille opp en tabell med alle tenkelige kombinasjoner skaffer vi en oversikt som gjør oss i stand til å plukke ut de aktuelle kombinasjonene, og forkaste de uaktuelle. Vi velger å gjøre dette først med to mulige tilbydere av henholdsvis radioaksessnett og kjernenett. Radioaksess vil som sagt kunne gjøres med både nasjonal gjesting, og med terminaler med flere SIM-kort, slik at vi tar med begge disse mulighetene.

For å forenkle prosessen, tar vi ikke med transmisjon, siden vi allerede har konstatert at denne kan betraktes som likegyldig innenfor mulighetsrommet av kombinasjoner. Videre har vi allerede drøftet flere sider av eierskap av passiv infrastruktur. Det vil ikke være nødvendig å ta med dette på nytt, så vi anser også dette for å være likegyldig i den oppstilte oversikten. Vi får dermed en enklere oppstilling med færre alternativer.

Dette har vi gjort med to samtidige tilbydere på denne måten, i Tabell 8:

Tabell 8 Ulike kombinasjoner for eierskap - kombinatorisk mulighetsrom med to kommersielle tilbydere

	Passiv infrastruktur Master, hytter, strøøm	Radioaksessnett Basestasjoner og antenner	Transmisjon	Kjernenett	Tjenesteplattform MCx-plattform
33	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	BN	BN
34	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
35	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	2 kommersielle	BN
36	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	2 kommersielle	Kommersiell
37	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	BN	BN
38	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
39	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	2 kommersielle	BN
40	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	2 kommersielle	Kommersiell
41	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Dual SIM"	Ikke spesifisert	BN	BN
42	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Dual SIM"	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
43	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Dual SIM"	Ikke spesifisert	2 kommersielle	BN
44	Ikke spesifisert	2 kommersielle "Dual SIM"	Ikke spesifisert	2 kommersielle	Kommersiell

Grønn = Bane NOR / statlig eid

Blå = en kommersiell operatør eller tjenestetilbyder

Fiolett = to kommersielle operatører/ tjenestetilbydere

Det totale bildet blir nå litt mere komplekst. Vi må se deler av dette opp mot informasjonen i Tabell 8. Vi gjør derfor en kronologisk gjennomgang av kombinasjonene, ved å kommentere og vurdere om disse er aktuelle eller ikke.

- Kombinasjon 33:** Denne kombinasjonen er den samme som kombinasjon 1 ovenfor. Alt er Bane NOR -eid her, det er ikke relevant å snakke om to kommersielle tilbydere. Kombinasjonen er allerede tatt med som aktuell.
- Kombinasjon 34:** Kombinasjonen er den samme som kombinasjon 2 ovenfor. Den er allerede vurdert som uaktuell med begrunnelse som angitt ovenfor.
- Kombinasjon 35:** Denne kombinasjonen er ny. Den inneholder to kommersielle kjernenett. Men dette gir ikke så mye mening. To kommersielle kjernenett vil ikke gi noen nytte så lenge både radioaksess og MCx er Bane NOR -eid. Kombinasjonen er uaktuell.
- Kombinasjon 36:** Denne kombinasjonen er også ny. Den er med unntak av MCx lik kombinasjon 35. Fortsatt vil to kommersielle kjernenett ikke gi noen nytte så lenge radioaksess er Bane NOR -eid. Kombinasjonen er uaktuell.
- Kombinasjon 37:** Denne kombinasjonen er ny, og mere interessant. Kombinasjonen inneholder to parallelle radioaksessnett istedenfor ett. Her kan brukere veksle mellom de to nettene ved hjelp av nasjonal gjesting. Dette gir redundans og økt kapasitet. Samtidig tilhører både kjernenett og MCx Bane NOR. Kombinasjonen er aktuell, og tas med i videre vurdering.
- Kombinasjon 38:** Denne kombinasjonen er lik den forrige, med unntak av at MCx nå er kommersiell. Da gir det ikke så veldig stor mening å ha et Bane NOR -kjernenett mellom

radioaksess og MCx. Det kan tenkes at en situasjon med en annen kommersiell tilbyder av MCx enn de som opererer radioaksessnettene kan gjøre en slik situasjon aktuell, og vi noterer oss dette. Ellers vurderer vi kombinasjonen som mindre aktuell.

- Kombinasjon 39: Denne kombinasjonen har nasjonal gjesting og to kommersielle kjernenett. Dette illustrerer en situasjon som gir liten mening, siden man i radioaksessnettene opererer med nasjonal gjesting. Det er nemlig ikke bruk for to kjernenett i en slik situasjon, hvor brukere kun trenger sitt «hjemme-kjernenett» for at løsningen skal fungere. Dersom man skal ha to kjernenett som angitt, kan man like godt utstyre terminalene med to SIM-kort, slik at vi da har samme situasjon som for kombinasjon 43 nedenfor. Kombinasjon 39 anses som uaktuell.
- Kombinasjon 40: Her har vi samme situasjon som for den foregående, nummer 39. Det gir ingen mening med to kommersielle kjernenett når man baserer seg på nasjonal gjesting. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 41: For de to neste kombinasjonene, 41 og 42, er situasjonen omvendt. Her er det slik at man baserer seg på to SIM-kort i terminaler («dual SIM»). Da er det slik at hvert av de to radioaksessnettene trenger sitt eget kjernenett for å bære trafikken inn mot MCx. Derfor gir det ikke mening å operere med ett kjernenett som er eid av Bane NOR. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 42: Jamfør forklaringen for kombinasjon 41, så er også denne kombinasjonen uaktuell. Dette gjelder selv om MCx nå er kommersiell.
- Kombinasjon 43: Denne situasjonen er aktuell. Her har vi, med referanse til forklaringer av kombinasjoner ovenfor, det vi trenger for at terminaler kan operere med to SIM-kort. Kombinasjonen, med to kommersielle radio- og kjernenett, og Bane NOR -eid MCx, er aktuell.
- Kombinasjon 44: Denne situasjonen er i lik het med nummer 43 aktuell. Kombinasjonen, med to kommersielle radio- og kjernenett, samt kommersiell MCx, er aktuell.

Etter å ha gått gjennom disse 12 kombinasjonene, har vi kommet til at det er 3 av dem som er aktuelle, og som tas med for videre vurdering. Dette er nummer 37, som innebærer nasjonal gjesting mellom to radioaksessnett, og nummer 43 og 44, som er kombinasjoner med kommersielle tilbydere som opererer både radioaksess og kjernenett samtidig. MCx kan være både Bane NOR -eid og kommersielt eid. Vi tar med oss disse tre videre, i tillegg til de 7 vi valgte ut i den første bolken i Tabell 7 ovenfor.

Før vi gjør en endelig oppsummering av eierskapskombinasjoner, må vi også gjøre en gjennomgang av hvilke mulige kombinasjoner vi kan ha dersom vi ønsker å bruke tre kommersielle nett-tilbydere. Vi tar kan stille opp følgende tabell som angir kombinatorisk mulighetsrom for dette i Tabell 9:

Tabell 9 Ulike kombinasjoner for eierskap - kombinatorisk mulighetsrom med tre kommersielle tilbydere

	Passiv infrastruktur Master, hytter, strøm	Radioaksessnett Basestasjoner og antenner	Transmisjon	Kjernenett	Tjenesteplattform MCx-plattform
45	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	BN	BN
46	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
47	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	3 kommersielle	BN
48	Ikke spesifisert	BN	Ikke spesifisert	3 kommersielle	Kommersiell
49	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	BN	BN
50	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
51	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	3 kommersielle	BN
52	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Nasjonal gjesting"	Ikke spesifisert	3 kommersielle	Kommersiell
53	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Tripple SIM"	Ikke spesifisert	BN	BN
54	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Tripple SIM"	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
55	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Tripple SIM"	Ikke spesifisert	3 kommersielle	BN
56	Ikke spesifisert	3 kommersielle "Tripple SIM"	Ikke spesifisert	3 kommersielle	Kommersiell

Grønn = Bane NOR / statlig eid

Blå = en kommersiell operatør eller tjenestetilbyder

Fiolett = tre kommersielle operatører/ tjenestetilbydere

Vi ser ganske fort at denne oppstillingen følger samme mønster som den forrige, Kombinatorisk utfallsrom er det samme, bortsett fra at radioaksess nå kan foregå med tre kommersielle operatører, enten basert nasjonal gjesting, eller med terminaler utstyrt med tre SIM-kort (trippel SIM). En kort gjennomgang av kombinasjonene gir oss et tilsvarende mønster som for kombinasjonene 33-44.

- Kombinasjon 45: Denne kombinasjonen er den samme som kombinasjon 1 ovenfor. Kombinasjonen er allerede tatt med som aktuell.
- Kombinasjon 46: Kombinasjonen er den samme som kombinasjon 2 ovenfor. Den er allerede vurdert som uaktuell.
- Kombinasjon 47: Kombinasjonen tilsvarer nummer 35. Den inneholder tre kommersielle kjernenett, men dette vil ikke gi noen nytte så lenge både radioaksess og MCx er Bane NOR - eid. Kombinasjonen er uaktuell.
- Kombinasjon 48: Med tilsvarende begrunnelse som for kombinasjon 47, så er også denne uaktuell.
- Kombinasjon 49: På tilsvarende måte som for kombinasjon 37, er denne kombinasjonen aktuell og interessant. Med tre parallelle radioaksessnett kan brukerne veksle mellom nettene ved hjelp av nasjonal gjesting. Dette gir redundans og økt kapasitet. Samtidig tilhører både kjernenett og MCx Bane NOR. Kombinasjonen er aktuell, og tas med i videre vurdering.
- Kombinasjon 50: Denne kombinasjonen er lik den forrige, med unntak av at MCx nå er kommersiell. Da gir det ikke så veldig stor mening å ha et Bane NOR -kjernenett mellom radioaksess og MCx. Det kan tenkes at en situasjon med en annen kommersiell

tilbyder av MCX enn de som opererer radioaksessnettene kan gjøre en slik situasjon aktuell, og vi noterer oss dette. Ellers vurderer vi kombinasjonen som mindre aktuell.

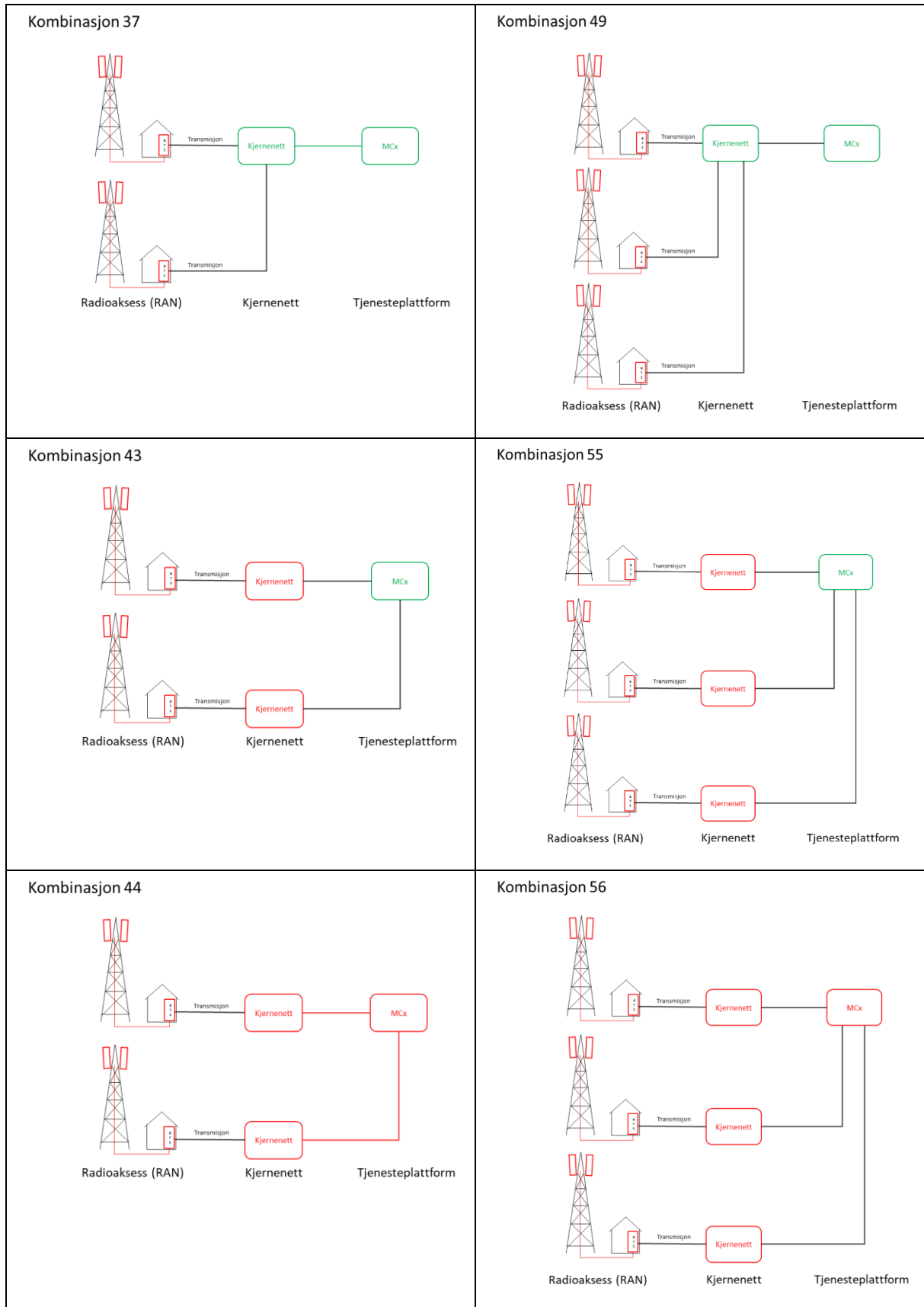
- Kombinasjon 51: Denne kombinasjonen har nasjonal gjesting og tre kommersielle kjernenett. Dette illustrerer en situasjon som gir liten mening. Siden det i radioaksessnettene opereres med nasjonal gjesting, er det nemlig ikke bruk for to kjernenett. Brukere trenger kun sitt «hjemme-kjernenett» for at løsningen skal fungere. Dersom man skal ha tre kjernenett som angitt, kan man like godt utstyre terminalene med tre SIM-kort, slik at vi da har samme situasjon som for kombinasjon 55 nedenfor. Kombinasjon 51 anses som uaktuell.
- Kombinasjon 52: Her har vi samme situasjon som for den foregående, nummer 51. Det gir ingen mening med tre kommersielle kjernenett når man baserer seg på nasjonal gjesting. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 53: For de to neste kombinasjonene, 53 og 54, er situasjonen omvendt. Her er det slik at man baserer seg på tre SIM-kort i terminaler («triple SIM»). Da er det slik at hvert av de tre radioaksessnettene trenger sitt eget kjernenett for å bære trafikken inn mot MCx. Derfor gir det ikke mening å operere med ett kjernenett som er eid av Bane NOR. Kombinasjonen anses som uaktuell.
- Kombinasjon 54: Jamfør forklaringen for kombinasjon 41, så er også denne kombinasjonen uaktuell. Dette gjelder selv om MCx nå er kommersiell.
- Kombinasjon 55: Denne situasjonen er aktuell, på samme måte som for nummer 43. Her har vi, med referanse til forklaringer av kombinasjoner ovenfor, det vi trenger for at terminaler kan operere med tre SIM-kort. Kombinasjonen, med tre kommersielle radio- og kjernenett, og med Bane NOR -eid MCx, er aktuell.
- Kombinasjon 56: Denne situasjonen er i likhet med nummer 56 aktuell. Kombinasjonen, med tre kommersielle radio- og kjernenett, samt med kommersiell MCx, er aktuell.

Denne gjennomgangen de 12 kombinasjonene, har tydeliggjort at vi ser samme mønster om vi øker antallet aktuelle tilbydere av radioaksessnett og kjernenett fra to til tre. Mønsteret i Tabell 9 er det samme som for Tabell 8. Kombinasjonene 49, 55 og 56 tas dermed med som aktuelle, med samme begrunnelse som for 37, 43 og 44,

Vi har dermed sett at det er mulig med en, to og tre kommersielle tilbydere for både radioaksessnettet og for kjernenettet. For MCx, derimot, ser vi ingen praktiske grunner til at man skal ha mere enn en kommersiell tilbyder.

En oppsummerende sammenstilling viser disse aktuelle kombinasjonene, med henholdsvis to og tre aktuelle kommersielle tilbydere:

Tabell 10 Kombinasjoner med kommersielle tilbydere



6.3.2.3 Hybride kombinasjoner

Hittil har vi betraktet eierskap og ansvar for nettoperasjon på en «binær» måte. Vi har sett på ulike kombinasjoner med enten Bane NOR, eller en (eller flere) av de etablerte norske mobiloperatørene som ansvarlig for hver del av FRMCS-nettet.

Er dette da hele mulighetsrommet? Eller kan vi se for oss andre kombinasjoner, hvor andre aktører kan komme inn og ta ansvar for noen deler av nettet?

Vi ser ingen slike aktuelle aktører. Vi har i dag et landsdekkende Nødnett basert på Tetra, med egne lokasjoner og med eget radioaksessnett. Vi vet at det nye nødnettet ikke skal videreføres som et eget og statlig eid nett (jfr oppdragsbrev for KVVU/forprosjekt nødnett). Det er bestemt at nytt Nødnett skal realiseres i ett eller flere kommersielle nett, og at Tetra-nettet skal avvikles. Derfor er ikke en aktuell mulighet at statlig eid infrastruktur tilhørende Nødnett, enten det er snakk om radioaksessnett, kjernenett eller passiv infrastruktur, skal kunne tilbys brukt for FRMCS. Mulig samvirke og synergier ved implementering av nytt Nødnett i kommersielle nett er noe annet – her snakker vi utelukkende om tilbyderrollen. Vi ser dermed ikke at det landsdekkende nødnettet kan tilføre flere muligheter. Vi ser heller ikke andre aktuelle muligheter som kan gi et fornuftig tilbud av infrastruktur der den trengs langs jernbanen. Forsvaret har installasjoner over hele landet, men vi kan ikke se at militære installasjoner har plassering eller infrastruktur langs jernbanenettet som gir det man trenger. Det eksisterer dessuten mange andre praktiske hindringer for at forsvarsinfrastruktur skal kunne tillates brukt for jernbaneformål.

Det eksisterer muligens et unntak fra ovennevnte vurdering av mulighetsrom for eierskap når det gjelder MCx. Her kan vi se for oss at andre aktører enn de rent kommersielle tilbyderne og Bane NOR selv kan være aktuelle. Vi vet at det nye nødnettet skal etablere en MCx for bruk sammen med et eller flere kommersielle mobilnett. Det er aktuelt å se på om denne aktiviteten kan samordnes med jernbanen sitt behov for MCx. Det er en del som tyder på at Nødnett kan komme til å etablere sin egen MCx, istedenfor å kjøpe dette som en tjeneste fra en kommersiell tilbyder. Det blir da desto mere aktuelt om kostnaden dette representerer, kan deles med en annen statlig aktør med lignende behov – jernbanen.

Det kan også tenkes at andre statlige etater eller organisasjoner fremtidig kan ha behov for MCx-plattform. Forsvaret kan muligens tenkes å få slike fremtidige behov, selv om vi oppfatter at det ikke er særlig stort fokus på dette i dag, selv om Forsvaret har et program for utprøving av 5G-teknologi for taktisk militær bruk.

Så vi konkluderer med at den «binære» tilnærmingen vi har brukt for analysen så langt, favner hele mulighetsrommet med hensyn på eierskap. Enten kan operasjon skje i regi av Bane NOR, eller den kan skje i regi av kommersielle mobiloperatører. Ingen andre aktører, virksomheter eller organisasjoner kan etter vår oppfatning ta på seg oppgaven med å tilby å eie og operere hele eller deler av FRMCS-nettet, med et unntak av MCx.

Har vi med det vi har gjort ovenfor, favnet og beskrevet det hele og fulle mulighetsrommet med hensyn på mulige kombinasjoner av eierskap?

Svaret på dette er nei, fordi det kan settes sammen kombinasjoner hvor «parallele» nett kan etableres for enkelte deler av verdikjeden mobilnettet eksisterer. Dette kan for eksempel gjøres ved at det etableres radioaksess med både Bane NOR -nett og kommersielle nett samtidig. Vi ser at dette er mulig å realisere, og vi vil utforske dette mulighetsrommet ved å analysere det på en lignende måte som ovenfor. Vi velger å kalle dette hybride nett, og stiller opp en oversikt over dette i Tabell 11.

Med den kunnskapen vi har etter gjennomgang ovenfor, kan vi gjøre noen antakelser og valg som reduserer antallet mulige kombinasjoner. Skal mulighetsrommet for hybride nett inneholde alle tenkelige kombinasjoner blir dette temmelig omfattende. Fra tidligere, ved utarbeidelse av Tabell 8 og Tabell 9, besluttet vi at eierskap til passiv infrastruktur og til transmisjon ikke skulle spesifiseres. Dette reduserte antallet kombinasjoner vesentlig. I denne vurderingen gjør vi også dette. Videre har vi også slått fast at vi trenger bare en MCx, og at denne kan være kommersielt eid, eller eid av Bane NOR (eller i et felles statlig eierskap sammen med Nødnett).

Hvis vi videre vurderer radioaksessnett, kan vi tenke oss følgende situasjoner hvor vi kan ha:

- Både Bane NOR -nett og et eller flere kommersielle nett samtidig til stede langs hele jernbanenettet,
- Bane NOR -nett til stede langs hele jernbanenettet, og ett eller flere kommersielle nett til stede langs deler av jernbanenettet.
- Ett eller flere kommersielle nett langs hele jernbanenettet, og Bane NOR -nett til stede langs deler av jernbanenettet.
- Bane NOR -nett til stede langs en gitt andel av jernbanenettet, og ett eller flere kommersielle nett til stede langs den resterende delen. Dette vil dermed være en geografisk deling.

Dette illustrerer hvordan et Bane NOR -nett og et eller flere kommersielle nett kan supplere hverandre på ulike måter. Dette vil si at Bane NOR vil eie og drive eget nett, og at man samtidig vil benytte kommersielle nett ved tjenestekjøp. Dette vil gi kostnader som muligens er større enn bare å gjøre en av delene, men det kan også vise seg å ha noen fordeler. Derfor bør vi utforske dette videre.

Snakker vi om kjernenett vil ikke geografisk tilstedeværelse eller deling ha noen betydning. For kjernenettfunksjonene handler det mere om i hvilken grad det er nødvendig eller hensiktsmessig om en tilbyder med radioaksessnett også har eget kjernenett. Vi kan her også ha ulike situasjoner:

- Samtidig radioaksess med både Bane NOR og en eller flere kommersielle operatører, hvor alle involverte aktører benytter et felles kjernenett eid av Bane NOR.
- Samtidig radioaksess med både Bane NOR og en eller flere kommersielle operatører, hvor alle involverte aktører eier og benytter sine egne kjernenett.
- Samtidig radioaksess med både Bane NOR og en eller flere kommersielle operatører kan også gjøres ved at bare de kommersielt eide kjernenettene benyttes (ett, to eller tre av disse). Dermed vil Bane NOR ikke ha eget kjernenett, og Bane NOR -radioaksessnettet vil knyttes til kommersielle kjernenett. Dette er imidlertid en nettstruktur vi tror ikke vil være så hensiktsmessig. Dersom det etableres et radioaksessnett eid av Bane NOR, vil det sannsynligvis være best om Bane NOR også har sitt eget kjernenett. Dette fordi kjernenettet blant annet vil inneholde abonnentdatabasen og fordi styring og kontroll av eget radioaksessnett i stor grad skjer gjennom kjernenettet.

I lys av dette er det mye som taler for at det for 5G generelt, men også for FRMCS, ikke er særlig aktuelt at ulike aktører deler kjernenett. En aktør som skal operere et 5G-nett bør ha et eget kjernenett, men har valget mellom å eie eget dedikert radioaksessnett, og å dele radioaksessnett med andre aktører. Dette kan igjen skje ved at aktøren disponerer egne radiofrekvenser, som benyttes gjennom via felles fysisk infrastruktur – eller ved at man får bruke frekvensressurser tilhørende en annen operatør. I det sistnevnte tilfellet er aktøren en MVNO, en virtuell operatør (Mobile Virtual Network Operator).

Med denne bakgrunnsinformasjonen og forutsetningene kan vi stille opp følgende oversikt i Tabell 12:

Tabell 11 Kombinasjoner av hybride nett

	Passiv infrastruktur Master, hytter, strøm	Radioaksessnett Basestasjoner og antenner	Transmisjon	Kjernenett	Tjenesteplattform MCx-plattform
57	Ikke spesifisert	BN 1 kommersielt	Ikke spesifisert	BN	BN
58	Ikke spesifisert	BN 1 kommersielt	Ikke spesifisert	BN 1 kommersielt	BN
59	Ikke spesifisert	BN 2 kommersielle	Ikke spesifisert	BN	BN
60	Ikke spesifisert	BN 2 kommersielle	Ikke spesifisert	BN 2 kommersielle	BN
61	Ikke spesifisert	BN 3 kommersielle	Ikke spesifisert	BN	BN
62	Ikke spesifisert	BN 3 kommersielle	Ikke spesifisert	BN 3 kommersielle	BN
63	Ikke spesifisert	BN 1 kommersielt	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
64	Ikke spesifisert	BN 1 kommersielt	Ikke spesifisert	BN 1 kommersielt	Kommersiell
65	Ikke spesifisert	BN 2 kommersielle	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
66	Ikke spesifisert	BN 2 kommersielle	Ikke spesifisert	BN 2 kommersielle	Kommersiell
67	Ikke spesifisert	BN 3 kommersielle	Ikke spesifisert	BN	Kommersiell
68	Ikke spesifisert	BN 3 kommersielle	Ikke spesifisert	BN 3 kommersielle	Kommersiell

Grønn = Bane NOR / statlig eid

Blå = en kommersiell operatør eller tjenestetilbyder

Lys fiolett = to kommersielle operatører/ tjenestetilbydere

Fiolett = tre kommersielle operatører/ tjenestetilbydere

Vi har dermed delt inn dette på en slik måte at de 6 første kombinasjonene er varianter med en Bane NOR - MCx, mens de siste 6 er med en kommersiell MCx. Bortsett fra MCx-eierskapet er disse to grupperingene like.

Videre kan kommersielt basert radioaksess etableres med en, to eller tre kommersielle tilbydere som eksisterer samtidig med Bane NOR -radionettet. Derneft kan disse kommersielle radioaksessnettene ha hvert sitt tilhørende kjernenett, eller de kan tenkes å bruke Bane NOR -kjernenettet.

Vi kommenterer dermed hver enkelt kombinasjon med tanke på hvor aktuell den er:

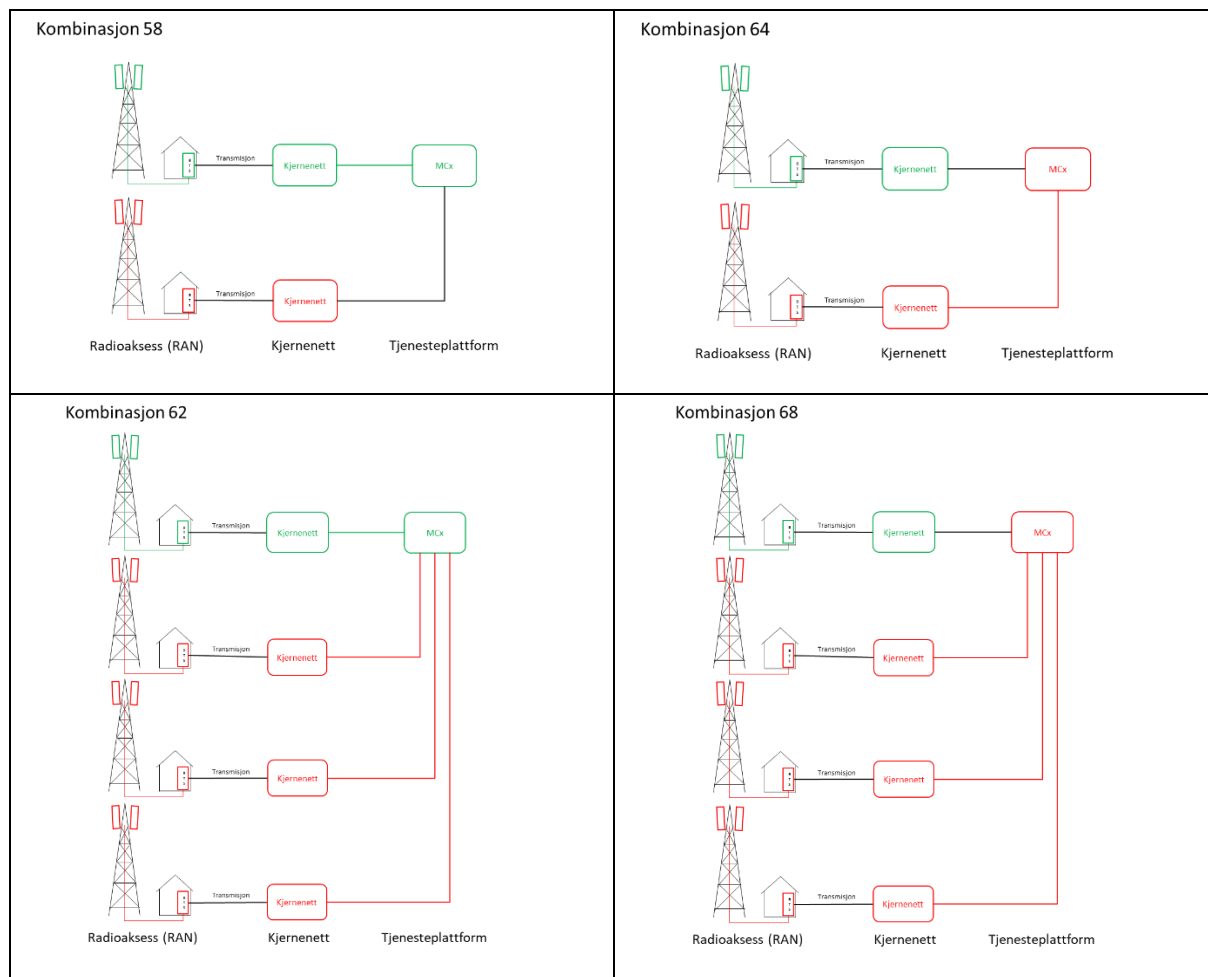
Kombinasjon 57: Denne kombinasjonen har en kommersiell operatør samtidig til stede med Bane NOR -nettet. Dette kan være tilfelle enten langs hele jernbanenettet eller deler av det. Akkurat dette tar vi ikke stilling til her. Det kommersielle radioaksessnettet har ikke eget kjernenett, men er tilknyttet Bane NOR -kjernenettet. MCx er Bane NOR -eid. Dette alternativet kunne vært aktuelt, hvis det ikke var for at vi har mer tro på at et kommersielt kjernenett tilknyttet det kommersielle radionettet vil være en bedre løsning. Dette fordi knytning mellom radioaksess og kjernenett er sterk, og fordi grensesnittet mellom en kommersiell operatør sitt radionett og et Bane NOR -kjernenett vil være vanskelig å administrere avtalemessig og i en praktisk driftsituasjon. Kombinasjonen vurderes som uaktuell.

- Kombinasjon 58: Denne kombinasjonen har det som den forrige mangler, et eget kjernenett tilhørende det kommersielle radioaksessnett. Dermed har de to kjernenettene likestilt og parallell tilknytning til MCx. Vi vurderer denne løsningen som aktuell.
- Kombinasjon 59: Kombinasjonen tilsvarer nummer 57, men nå med to kommersielle radioaksessnett. Med samme begrunnelse mener vi at kombinasjonen er lite aktuell fordi de kommersielle radionettene ikke er knyttet til egne kjernenett. Trafikken må istedenfor rutes via Bane NOR -kjernenettet. Dette kan synes lite hensiktsmessig og praktisk, og det også kan sås tvil om de kommersielle aktørene vil gå akseptere en slik løsning. Kombinasjonen vurderes som uaktuell.
- Kombinasjon 60: Kombinasjonen har her også det som den forrige mangler, to egne kjernenett tilknyttet de to kommersielle radioaksessnettene. Dermed har samtlige tre kjernenett likestilt og parallell tilknytning til MCx. Vi vurderer denne hybride løsningen som aktuell. Men samtidig er kombinasjon 62 nedenfor er også den samme, med unntak av at det da er snakk om tre kommersielle aktører. Vi ser det herved mest hensiktsmessig å betrakte 60 og 62 samlet, for å ikke ta med oss flere kombinasjoner enn nødvendig. Siden to eller tre kommersielle aktører med både radioaksess og kjernenett ikke representerer så stor prinsipiell forskjell, velger vi å ta med begge som en samlet kombinasjon, som dermed er aktuell.
- Kombinasjon 61: På tilsvarende måte som for kombinasjon 57 og 59 mangler de kommersielle radionettene tilknytning til egne kjernenett. Trafikken må gå via Bane NOR -kjernenettet. Med samme begrunnelse som for nevnte to kombinasjonene vurderes kombinasjonen som uaktuell.
- Kombinasjon 62: Som allerede nevnt, vurderes denne som aktuell på lik linje med nummer 60. Dette siden tre kommersielle tilbydere, i sameksistens med et Bane NOR -nett vil representere en løsning som er aktuell. 60 og 62 videreføres samlet som en felles kombinasjon 62. Som vi har antydnet tidligere, kan kommersiell dekning, med to eller tre skje på ulike måter, enten helt eller delvis parallelt langs jernbanenettet, eller geografisk delt. Vi har dette i bakhodet frem mot videre vurderinger.
- Kombinasjon 63: Kombinasjonen tilsvarer nummer 57, bortsett fra at MCx nå leveres av kommersiell tilbyder. Av samme årsaker som for nummer 57; mangel på eget kjernenett tilknyttet det kommersielle radioaksessnett, anses kombinasjonen som uaktuell.
- Kombinasjon 64: Kombinasjonen har, i likhet med nummer 58, ett kommersielt radioaksessnett tilknyttet et kjernenett fra samme aktør. Sammen med Bane NOR -nettet knyttes disse opp mot en kommersiell MCx. Løsningen anses som aktuell med samme begrunnelse som for 58.
- Kombinasjon 65: Denne kombinasjonen tilsvarer nummer 59, bare at MCx nå er kommersiell. Med samme begrunnelse som ovenfor, vurderes løsningen som uaktuell på grunn av manglende kjernenett for de to kommersielle nettene.
- Kombinasjon 66: Her har vi likhet nummer 60, men imidlertid med kommersiell MCx. Som vi valgte å gjøre for kombinasjonene 60 og 62, velger vi også her å betrakte 66 og 68 som en felles kombinasjon med to eller tre radioaksessnett som begge/ alle har sine egne kjernenett. Disse virker da sammen med Bane NOR -nettet, knyttet til felles kommersiell MCx. Kombinasjonen er aktuell.
- Kombinasjon 67: Denne situasjonen anses som ikke aktuell, med samme begrunnelse som for nummer 61. På tilsvarende måte som for kombinasjonene 57, 59, 61, 63 og 65 mangler de kommersielle radionettene tilknytning til egne kjernenett. Trafikken må organiseres til å gå via Bane NOR -kjernenettet, noe vi ser på som vanskelig og urealistisk. Kombinasjonen vurderes som uaktuell.

Kombinasjon 68: Som allerede nevnt, er denne kombinasjonen ansett som aktuell, som en felles kombinasjon med nummer 66. Med unntak av at MCx nå er kommersiell, er kombinasjonene 66 og 68 også like kombinasjons-paret 60 og 62. Nummer 66 og 68 videreføres som nummer 68.

En oppsummerende sammenstilling av de aktuelle kombinasjonene av sammensatte, eller «hybride» nett, med både Bane NOR -nett og med aktuelle kommersielle tilbydere:

Tabell 12 Sammenstilling "hybride nett"



Vi har nå vært gjennom alle de ulike kombinatoriske mulighetene vi klarer å se med tanke på eierskap og operasjonsansvar, og gjort en vurdering av disse. En oppsummering av denne gjennomgangen viser at vi sitter med følgende 17 kombinasjoner som vi anser som aktuelle, og som vi vil ta med videre i mulighetsstudien.

Med referanse til oversikter tidligere i kapitlet er dette dermed:

- En tilbyder for hver del av nettet: 1, 9, 13, 15,16, 31, 32
- Flere samtidige kommersielle nett-tilbydere: 37, 43, 44, 49, 55, 56
- Sammensatte/ «hybride nett»: 58, 62, 64, 68

6.4 Videre utvikling av konsepter

Det er hittil vurdert ulike eierskapsmodeller som et utgangspunkt for utvikling av konsepter. Selv om andre innfallsvinkler kunne ha blitt valgt, er det vurdert som formålstjenlig å utforske dette mulighetsrommet først. Når dette er gjort, går det videre inn i vurderinger av hvilke ytterligere mulighetsrom som eksisterer innenfor hver av de kombinasjonene vurdert som aktuelle. Som nevnt i avsnitt 6.2, er det et større spekter av både tekniske og ikke-tekniske vurderingskriterier som bør anvendes i vurderingene og arbeidet med å utvikle fullverdige konsepter.

Vi vil nå gå videre i studien av mulighetsrommet ved å anvende disse ulike vurderingskriteriene på de eierskapsmessige kombinasjonene vi allerede har funnet. Dette vil forhåpentlig kaste mere lys over hele det aktuelle spekteret av muligheter, og hjelpe oss å tydeligere kunne se de mest aktuelle og hensiktsmessige kombinasjonene. Forhåpentlig vil også anvendelse av disse kriteriene også hjelpe til med å sjalte ut kombinasjoner som av ulike grunner vil være uaktuelle for videre studie i utredningen.

6.4.1 Frekvensbruk for FRMCS

Et svært viktig tema for vurderingene er frekvensbruk. Å operere nett for mobilkommunikasjon er umulig uten bruk av radiofrekvenser. I denne naturressursen ligger det som gjør det mulig å overføre signalene i lufta mellom sender og mottaker.

For moderne digital kommunikasjon vil hvor stort spekter av radiofrekvenser man kan benytte, dvs. tilgjengelig frekvensspektrum, avgjøre hvor mye kapasitet man har til å overføre tale- og datatrafikk. Forholdet mellom tilgjengelig frekvensspektrum, og hvor mye trafikk målt i bitrater systemet samlet kan håndtere, er ganske proporsjonalt.

Hvor mye spektrum en aktør har til rådighet, vil avgjøre hvor store datahastigheter og datamengder en basestasjon i nettet samlet har kapasitet til å håndtere. Dette vil videre påvirke hvor store datahastigheter enkeltbrukere kan oppnå.

Når vi vurderer et 5G-nett eid av Bane NOR opp mot kommersielle norske 5G-nett, er det stor forskjell i tilgangen på spektrumsressurser, det vil si frekvenser.

Spektrum til kommersiell bruk tildeles operatørene ved frekvensauksjoner, og noen ganger kombineres auksjoner med at operatørene må tilfredsstille gitte krav til utbygging. De norske operatørene Telenor, Telia og ICE har gjennom auksjoner fått tildelt spektrumsblokker i ulike frekvensbånd. Disse disponeres da fritt av den enkelte operatør, og spektrumsblokkene kan brukes teknologinøytralt. Det vil si at de ikke er øremerket en bestemt teknologi-generasjon, som 2G, 3G, 4G eller 5G.

Dette har ført til at man har måttet se etter muligheter for å skaffe mere spektrumsressurser til FRMCS i Europa for å fortsatt bruke den samme 900 MHz frekvensblokken. Dette har lyktes gjennom dialog og påvirkning mot CEPT, det felleseuropeiske post- og teletilsynet. Selv om det er kamp om frekvensressursene i Europa, har man lyktes i å få økt 900 MHz frekvensblokken til 5,6 MHz. Dette er da nok til å romme minste frekvensblokk-byggekløssen i 5G på 5MHz. I tillegg har man lyktes i å få avsatt 10 MHz i 1900 MHz -båndet. Dette er imidlertid tidsdelt multiplleksing (TDD), som fungerer litt annerledes enn FDD, som må brukes i 900 MHz-båndet. Vi kommer litt tilbake til denne forskjellen senere. Vi benevner disse to frekvensblokkene som Jernbanefrekvenser (JB-frekvenser) i denne rapporten.

Noen land i Europa, med Tyskland og Frankrike som de fremste representantene, har vært forkjempere for at FRMCS skal bli implementert med JB-frekvenser. Det ser ikke ut til at disse to landene har noe ønske om å bygge FRMCS med kommersielle frekvenser (MNO-frekvenser). Andre land har tatt til orde for at de ønsker at FRMCS skal implementeres i kommersielle nett, og kan gjerne se for seg at JB-frekvenser ikke blir obligatorisk. Landene som argumenterer for dette er først og fremst de nordiske landene; Finland, Sverige, Norge og Danmark, og i tillegg Nederland og Spania.

UIC, som leder spesifikasjonsarbeidet, har argumentert sterkt for at FRMCS skal implementeres med JB-frekvenser, og ikke benytte MNO-frekvenser, ikke engang som et supplement til JB-frekvensene.

Det synes å være to syn på saken som er i en viss konflikt med hverandre, både mellom grupper av enkeltland, men også mellom ulike organisasjoner og fora som har påvirkningskraft for det som skal endelig skal besluttes for standarden.

For å belyse saken bedre, kan vi liste opp en del argumenter for begge typer syn på saken.

Argumenter for å kun bruke JB-frekvenser kan være:

- Noen land har regelverk og lovgivning som tilsier at infrastrukturen som jernbanen benytter skal være eid av jernbanen selv, og ikke en kommersiell aktør. Det sies blant annet at dette gjelder i Tyskland, men vi har ikke sett noe klart og tydelig bevis på at Tyskland har en slik jernbanelovgivning.
- Interoperabilitet mellom land blir lett å få til dersom alle land benytter de samme JB-frekvensene. Grensekryssende togtrafikk som benytter samme sett av frekvensressurser på begge sider av landegrensen vil gjøre interoperabilitet forholdsvis enkelt. Overgang fra JB-frekvenser til kommersielle frekvenser på grensen vil være noe mer krevende å få til.
- Det at man i mindre grad stoler på kommersielle mobiloperatører sine nett kan gjøre at man ønsker å bygge sitt eget nett med JB-frekvenser. Dersom det er tvil om oppetiden og kvaliteten i kommersielle nett er god nok, vil man kunne hevde at det gir bedre oppetid og ytelse ved å bygge et eget dedikert nett med JB-frekvenser.

Motsvarende kan følgende argumenter ta til orde for at det er fordelaktig å bruke kommersielle frekvenser:

- Det vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt å benytte kommersielle nett der disse allerede eksisterer. Å bygge et helt nytt nett for FRMCS for 5G, vil være mindre nødvendig når det allerede eksisterer kommersielle 5G-alternativer. Operatørene har også stordriftsfordeler som kan gjøre driften mindre kostnadskrevenne enn for et eget nett.
- Kommersielle frekvenser har mye større spektrumsressurser, og tillater mye større kapasitet i form av høye bitrater.
- Det vil være mere fremtidsrettet å bruke kommersielle nett, siden operatørene hyppig oppgraderer disse, slik at nettene er i fremste linje i den teknologiske utviklingen.
- Terminaler og basestasjonsutstyr vil koste mindre, fordi disse vil være hyllevare hos leverandørene. 5G med JB-frekvenser vil bety at både terminaler og basestasjonsutstyr vil kreve komponenter som ikke produseres i like store volum som for de kommersielle frekvensene. Dette kan gjøre utstyr og terminaler dyrere. «Chipset» for terminaler, det vil si elektroniske brikker som inngår i telefonene, har vist seg vanskelig å skaffe for JB-frekvensene. Slike problemstillinger kan gjøre utstyret mere «proprietært», og dermed mere kostbart.

Denne korte drøftingen av meningsforskjeller illustrerer at det er debatt som fortsatt pågår i Europeiske jernbanefora og i de enkelte land rundt dette. Disse temaene har vært oppe til debatt nylig, blant annet under FRMCS-konferansen UIC arrangerte i Paris i juni, og i ERIG-møtet som ble arrangert i Stockholm i juli. Det knyttes spenning til om bruk av MNO-frekvenser vil bli med i versjon 2 av FRMCS-spesifikasjonen som skal utgis i 2024, og om dette senere kommer med i TSI CCS som etter planen skal utgis i slutten av 2026.

Vi registrerer at det er ulike krefter som arbeider for sitt syn. Kritikere av det å bruke kun JB-frekvenser advarer mot å spesifisere et «5G-R», med referanse til at GSM-R har vært et ganske proprietært system. Forkjemperne for JB-frekvenser mener at JB-frekvensene er tilstrekkelig for formålet med systemet, nemlig å fremføre tog. I tillegg argumenteres det med at et FRMCS med full interoperabilitet med både JB-frekvenser og MNO-frekvenser vil bli mer krevende å både spesifisere og implementere.

Vår vurdering av saken er at det er for tidlig å konkludere. Vi mener at det kan være gode grunner til å la FRMCS benytte kommersielle frekvenser. Samtidig er det ikke sikkert at dette vil skje. Det vil være viktig å følge med på den internasjonale europeiske utviklingen i denne saken.

Tabell 13 nedenfor gir en full oversikt over spektrum og hvilke bånd som de tre norske mobiloperatørene Telenor, Telia og ICE disponerer i dag. Størrelsen av en spektrumsblokk kalles her båndbredde.

Tabell 13 Frekvensspektrum disponert av norske mobiloperatører pr august 2023

	Telenor	Telia	ICE
Frekvensbånd	Båndbredde	Båndbredde	Båndbredde
450 MHz*			2 x 5 MHz
700 MHz*	2 x 10 MHz	2 x 10 MHz	2 x 10 MHz
800 MHz*	2 x 10 MHz	2 x 10 MHz	2 x 10 MHz
900 MHz*	2 x 15 MHz	2 x 15 MHz	2 x 5 MHz
1800 MHz*	2 x 30 MHz	2 x 25 MHz	2 x 20 MHz
2100 MHz*	2 x 20 MHz	2 x 20 MHz	2 x 20 MHz
2600 MHz*	2 x 40 MHz	2 x 30 MHz	
3400-3800 MHz**	120 MHz	100 MHz	180 MHz

* FDD (Frequency Division Duplex) - sending og mottak i separate frekvensbånd

** TDD (Time Division Duplex) - sending og mottak i samme frekvensbånd, men tidsinndelt

Til sammenligning viser tabellen nedenfor hvilke frekvensressurser som er reservert for jernbaneformål i Europa, og som er aktuelle for FRMCS om kommersielle frekvenser ikke kan benyttes.

	BaneNOR
Frekvensbånd	Båndbredde
900 MHz*	5,6 MHz
1900 MHz**	10 MHz

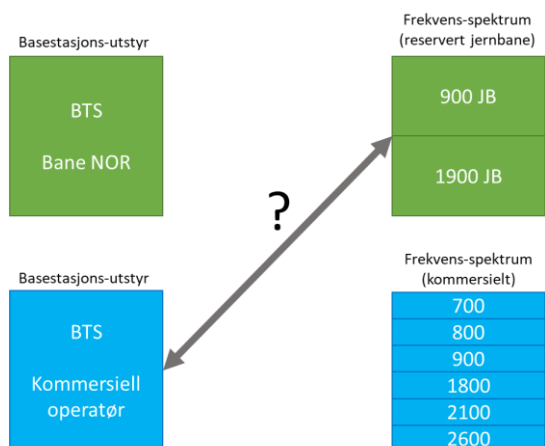
* FDD (Frequency Division Duplex) - sending og mottak i separate frekvensbånd

** TDD (Time Division Duplex) - sending og mottak i samme frekvensbånd, men tidsinndelt

Figur 19 Frekvensspektrum disponert av Bane NOR for fremtidig bruk for FRMCS – JB-frekvenser

Kommersielle operatører må altså benytte egne, tildelte frekvensbånd for bruk i sine radioaksessnett. Tilsvarende kan Bane NOR kun bruke spektrumsressurser avsatt til jernbanebruk og tildelt til Bane NOR for dette.

Det som har slått oss, er om det er mulig at en kommersiell aktør kan få lov til å benytte seg av JB-frekvensene? Og motsvarende; kan Bane NOR -nettet under noen omstendighet benytte seg av frekvenser som er tildelt en av de norske operatørene for kommersiell bruk?



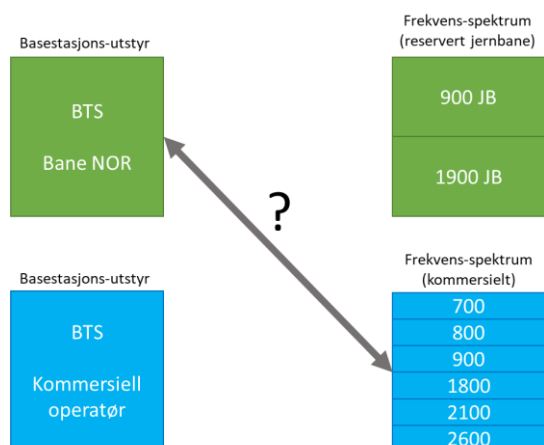
Figur 20 Illustrasjon av mulig bruk av JB-frekvenser i kommersielle nett

Vi ønsket å være helt sikre på dette, slik at vi ikke utelater muligheter som kan realiseres. Derfor har vi konsultert Nkom i denne saken, slik at vi kunne få et helt sikkert svar fra den regulerende myndigheten. Det er ekom-loven som regulerer bruk av radiospektrum, og frekvenstildelingsbrev og juridisk praksis gir føringer for ulike sider av frekvensforvaltningen.

Vår henvendelse til Nkom resulterte i følgende svar på om en kommersiell operatør kan benytte jernbane-frekvenser i sitt nett:

«Svaret på det er ja, det er ingen begrensninger på hvilken infrastruktur som benyttes, det som er avgjørende er hvem som bruker frekvensene. Altså om Bane Nor har fått direktetildelt frekvenser til FRMCS etter §6-4 (altså uten konkurranse), så skal disse ressursene kun benyttes til Bane Nor og FRMCS. Akkurat hvem som leverer selve tjenesten eller hvilken infrastruktur den er levert på er ikke relevant. Dette er slik dagens Nødnett er levert.» (Espen Slette, fagsjef spektrumsavdelingen i Nkom i epost av 30. mars 2023)

Med andre ord kan en kommersiell operatør sine basestasjoner brukes til å formidle signaler som benytter JB-frekvensene. Forutsetningen er at frekvensene bare brukes til jernbaneformål, og ikke til kommersiell bruk. Så lenge spektrumsressursene utelukkende brukes til det de er ment for, kan en kommersiell aktør være den som står for formidling av signalene. Sammenligningen med Nødnett er et godt eksempel – for Nødnett i Norge i dag, er det staten ved Nødnett som disponerer frekvensressursene, mens det er Motorola som opererer nettet og basestasjonene som sender og mottar signaler.



Figur 21 Illustrasjon av mulig bruk av kommersielle frekvenser i Bane NOR -eid nett

Den motsatte situasjonen, illustrert i Figur 21, med at et nett eid av Bane NOR benytter frekvenser som er tildelt en kommersiell operatør, er etter alt å dømme mindre aktuell. Det er vanskelig å se for seg at en

kommersiell operatør vil la sine frekvenser bli brukt i et nett eid og operert av Bane NOR. Dette vil for så vidt være mulig, da man har anledning til å få tillatelse til fremleie av frekvenser. Men det er normalt ikke noe en operatør vil ønske å gjøre, siden de samme frekvensene ikke vil kunne brukes av operatørens egne basestasjoner hvor dette skjer. Dette vil kunne gi en situasjon hvor operatøren ikke kan tilby kapasiteten til sine kommersielle kunder, og i de fleste tilfeller representerer det en uønsket situasjon, selv om operatøren kan tenkes å få økonomisk gevinst av å bruke frekvensene til jernbaneformål. Det la en aktør med et annet nett disponere ens egne frekvenser, vil i seg selv være en lite ønsket situasjon for en netteier.

Svaret på vår henvendelse til Nkom for denne situasjonen underbygger også det vi sier;

«Om dere spør om kommersielle frekvensressurser kan brukes til en ikke-kommersiell tjeneste så er svaret på det ja. Dette vil være et tjenestekjøp som Bane Nor gjør på kommersielt grunnlag. Frekvensressursene som mobiloperatørene har anskaffet er uten noen bruksbegrensninger, så de kan i utgangspunktet selv velge hvem de vil selge tjenestene sine til – dette blir en situasjon som vil være lik det som nå diskutere for neste generasjons mobiltjeneste for blålysetatene. Her er det noen unntak og det at innehaver av frekvenstillatelsen skal underrette myndigheten om bruken kan ha konkurranseskadelig virkning». (Espen Slette, fagsjef spektrumsavdelingen i Nkom i epost av 30. mars 2023)

Her sies det at frekvensspektrum tildelt en operatør kan brukes til en ikke-kommersiell tjeneste, men her som et tjenestekjøp. Det er noe annet enn å la en annen aktør sitt nett benytte frekvensene for å tilby den samme tjenesten. Vi konkluderer dermed med at denne måten å bruke kommersielt tildelt frekvensspektrum på, ikke er aktuelt.

Dermed kan vi oppsummere dette med følgende:

- Jernbanefrekvensene kan tillates brukt til FRMCS i en kommersiell operatør sitt nett.
- Frekvenser tildelt kommersielle operatører er ikke aktuelle for bruk i et Bane NOR -eid nett.

Frekvensbruk for FRMCS har vært, og er fortsatt et tema som skaper sterk debatt rundt i Europa. Ulike land viser seg å ha ganske ulike syn på dette. GSM-R har alltid hatt en egen, dedikert frekvensblokk i 900-båndet. Med FRMCS basert på 5G har det oppstått debatt om ikke kommersielle frekvensbånd, eller MNO-bånd, også kan brukes for FRMCS. Frekvensblokken på 4 MHz i 900 MHz -båndet, som har vært tilgjengelig for GSM-R, er ikke spesielt mye spektrum. Den kanskje største utfordringen med dette har vært at den minste kanalbåndbredden 5G har støttet frem til nå, er 5MHz. 4 MHz ble dermed for lite.

Dette har ført til at man har måttet se etter muligheter for å skaffe mere spektrumsressurser til FRMCS i Europa for å fortsatt bruke den samme 900 MHz frekvensblokken. Dette har lyktes gjennom dialog og påvirkning mot CEPT, det felleseuropeiske post- og teletilsynet. Selv om det er kamp om frekvensressursene i Europa, har man lyktes i å få økt 900 MHz frekvensblokken til 5,6 MHz. Dette er da nok til å romme minste frekvensblokk-byggeklossen i 5G på 5MHz. I tillegg har man lyktes i å få avsatt 10 MHz i 1900 MHz -båndet. Dette er imidlertid tidsdelt multiplleksing (TDD), som fungerer litt annerledes enn FDD, som må brukes i 900 MHz-båndet. Vi kommer litt tilbake til denne forskjellen senere.

Lobbyvirksomhet og tele-politisk påvirkning

Etter en innledende drøfting av spektrums-relaterte forutsetninger og muligheter, ønsker vi å se på hvilke muligheter vi har for frekvensbruk som eksisterer med kombinasjonene vi har valgt å ta med som aktuelle. Dermed utvider vi de ulike eierskapsmodellene vi har kommet frem til, til også å omfatte frekvensbruk.

Vi har i grunnen også her en binær situasjon som ligner den vi har drøftet med tanke på eierskap:

- FRMCS-nettet kan benytte frekvensbånd avsatt og tildelt for jernbanebruk – heretter benevnt JB-frekvenser. (Vi ønsker bevisst å unngå begrepet RMR-frekvenser – ta med i fotnote, med forklaring/ begrunnelse?) Frekvensene kan brukes i et Bane NOR -eid nett, eller i kommersielle nett.
- FRMCS kan benytte kommersielt tildelte frekvensbånd, det vil si spektrum tildelt til de kommersielle operatørene i Norge. Det er ikke mulig å benytte disse frekvensene i et Bane NOR -eid nett.
- Men; som vi har sett ovenfor, så kan man også bygge opp «hybride nett» som er kombinasjoner av kommersielle nett og et Bane NOR—eid nett. Dermed kan de to kategoriene av frekvenser benyttes i disse nettene som angitt i de to første kulepunktene.

Å la en kommersiell operatør benytte JB-frekvensene til sending og mottak i sitt nett, krever visse tiltak – dette kan ikke gjøres helt uten videre. Vår dialog med mobiloperatørene har avdekket at de tre norske operatørene ICE, Telenor og Telia, i dag ikke har støtte for å benytte JB-frekvensene i 900- og 1900-båndet i sine nett. Dette dreier seg om at radiomoduler som håndterer sending og mottak i basestasjonene ikke har støtte for dette. Dersom man ønsker å gi basestasjonsutstyret støtte for dette, er det nødvendig å bestikke selve basestasjonen med ekstra radiomoduler for disse frekvensene. Antennene støtter imidlertid de to JB-frekvensbåndene.

Sammenkobling av signaler har en del tekniske konsekvenser som vi ikke trenger å drøfte i detalj her, men det er noen utfordringer knyttet til en slik utvidelse av utstyret. Blant annet må signaler fra de eksisterende radiomodulene kobles sammen – kombineres – med de eksisterende signalene i kommersielle frekvensbånd før alt sendes inn på antennene. Dette fører til signaltap, siden en slik sammenkobling fysisk sett gir et tap av effekt på 3 dB for signalene, som faktisk er en halvering. Dette er ugunstig. I tillegg er 1900-frekvensene basert på TDD – tidsdelt dupleks. Det er ikke klarlagt for oss om det er problemfritt å sende og motta med 1900 MHz TDD, samtidig som man sender og mottar med FDD i kommersielt 1800 MHz -bånd med de samme dual-band -antennene. Bruk av TDD har inntil nylig ikke vært i bruk i norske mobilnett, og det er en del tekniske forhold ved bruk av TDD som vi ikke har oversikt over.

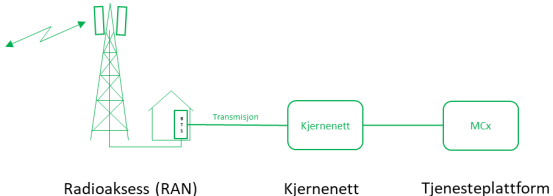
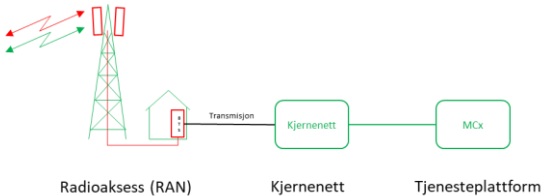
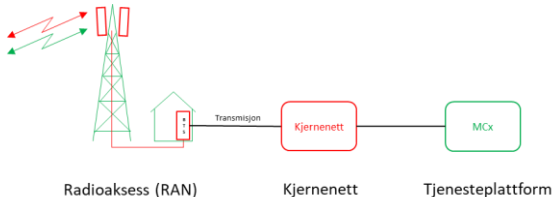
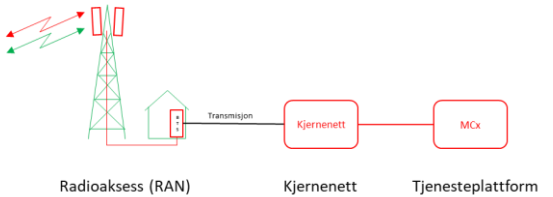
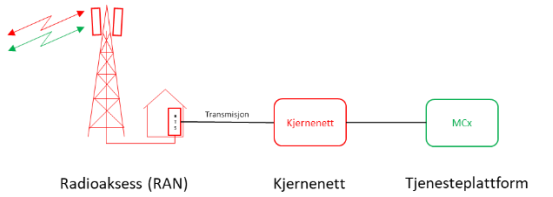
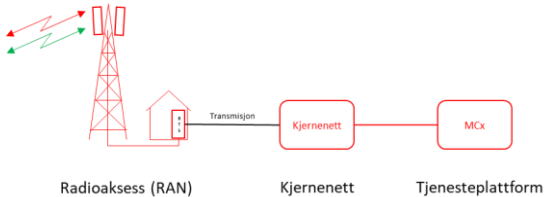
Denne sammenkoblingen gir altså et uønsket tap av effekt i signalene som går i begge retninger, for begge de to båndene. Dette effekttapet vil man ikke komme utenom. Ved siden av at dette er en ulempe, er det også en ulempe at det må gjøres en mindre radioteknisk omkobling/ ombygging på lokasjonene.

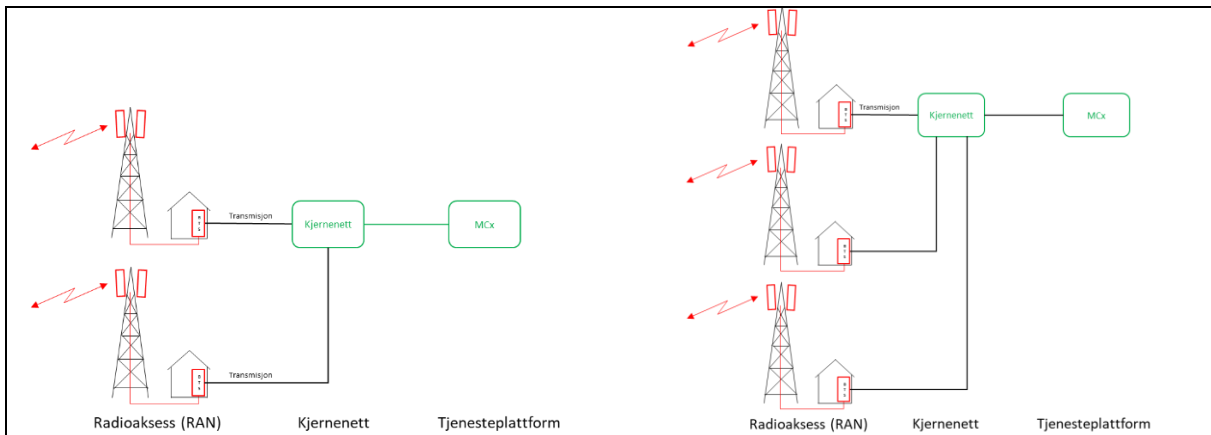
Med bakgrunn i drøftingen vi har gjort av frekvensbruk og tilgjengelige spektrumsressurser ovenfor, kan vi dermed studere mulighetsrommet for frekvensbruk.

Dette velger vi å gjøre ved å innlemme mulighetsrommet for frekvensbruk inn i de eierskapskombinasjonene vi allerede har funnet som aktuelle. Vi finner det naturlig å stille opp de aktuelle kombinasjonene i en ny oversikt, nå også med frekvensbruk tatt med i den visualiserte oversikten vi har laget nedenfor i Tabell 14. Samtidig har vi besluttet å slå sammen kombinasjoner som involverer enten 2 eller 3 kommersielle aktører samtidig. Dette gjelder kombinasjonene 37 og 49, 43 og 55 samt 44 og 56. Disse er i prinsippet like, selv om antallet tilstedeværende kommersielle operatører vil både kunne være to og tre. Vi mener at disse kan drøftes sammen som felles kombinasjoner.

Med frekvensbruk inkludert i modellene, vil de i alt 13 kombinasjonene dermed se slik ut:

Tabell 14 Oppsummering av aktuelle kombinasjoner

<p>1. Kombinasjon 1</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Det er kun mulig å benytte JB-frekvenser.</p>	<p>2. Kombinasjon 9 og 13</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Både kommersielle frekvenser og JB-frekvenser kan benyttes.</p>
<p>3. Kombinasjon 15</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Både kommersielle frekvenser og JB-frekvenser kan benyttes.</p>	<p>4. Kombinasjon 16</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Både kommersielle frekvenser og JB-frekvenser kan benyttes.</p>
<p>5. Kombinasjon 31</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Både kommersielle frekvenser og JB-frekvenser kan benyttes.</p>	<p>6. Kombinasjon 32</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Både kommersielle frekvenser og JB-frekvenser kan benyttes.</p>
<p>7. Kombinasjon 37 og 49</p>	

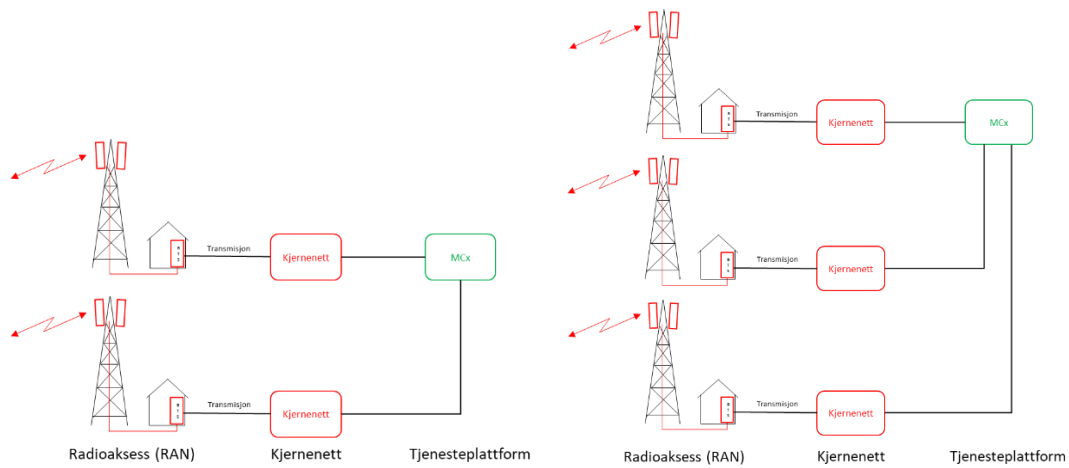


Frekvensbruk:

Kun kommersielle frekvenser kan benyttes.

Det er ikke realistisk at JB-frekvenser kan benyttes av flere kommersielle aktører samtidig. Dette gjelder selv om man kunne sett for seg en fordeling for hvem operatørene som strekningsvis brukte JB-frekvensene.

8. Kombinasjon 43 og 55

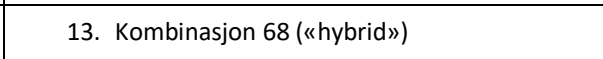
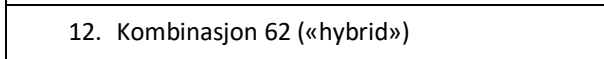
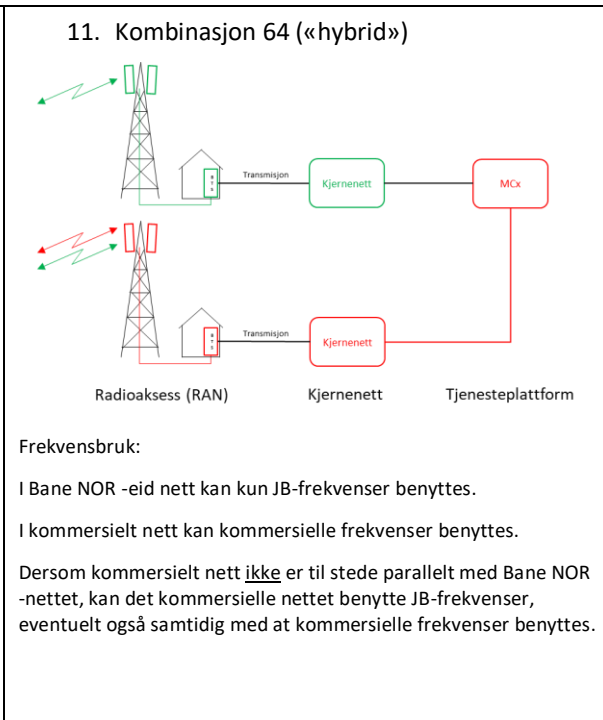
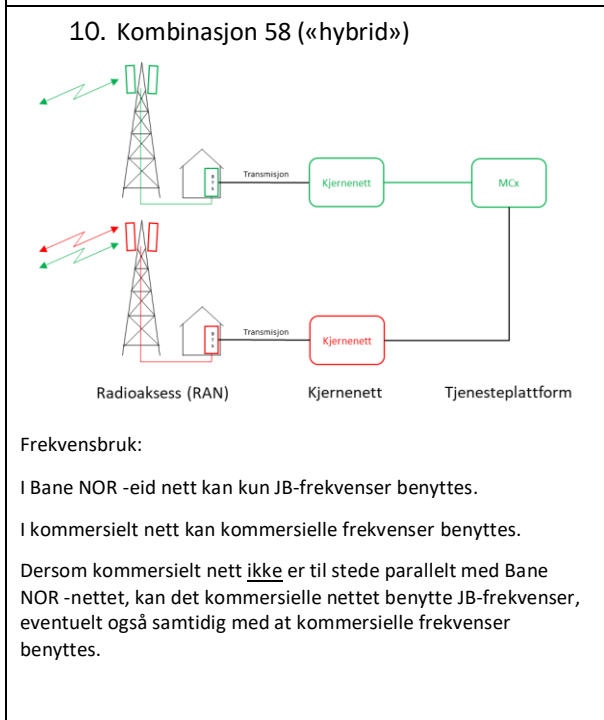
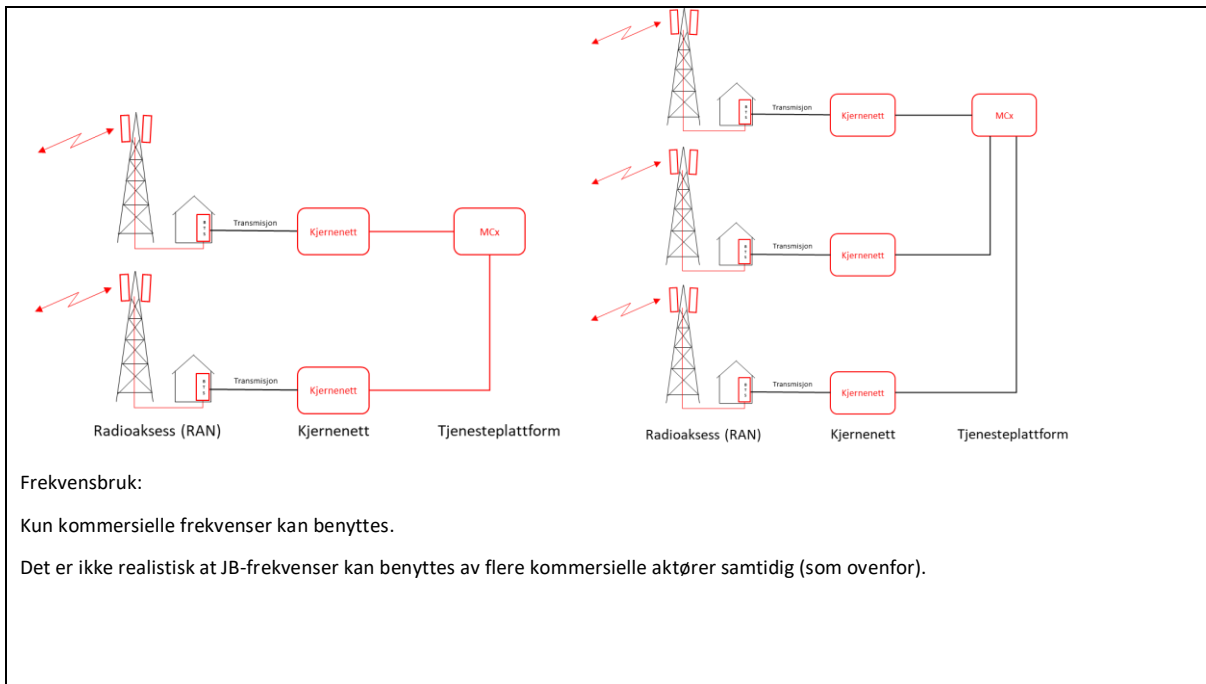


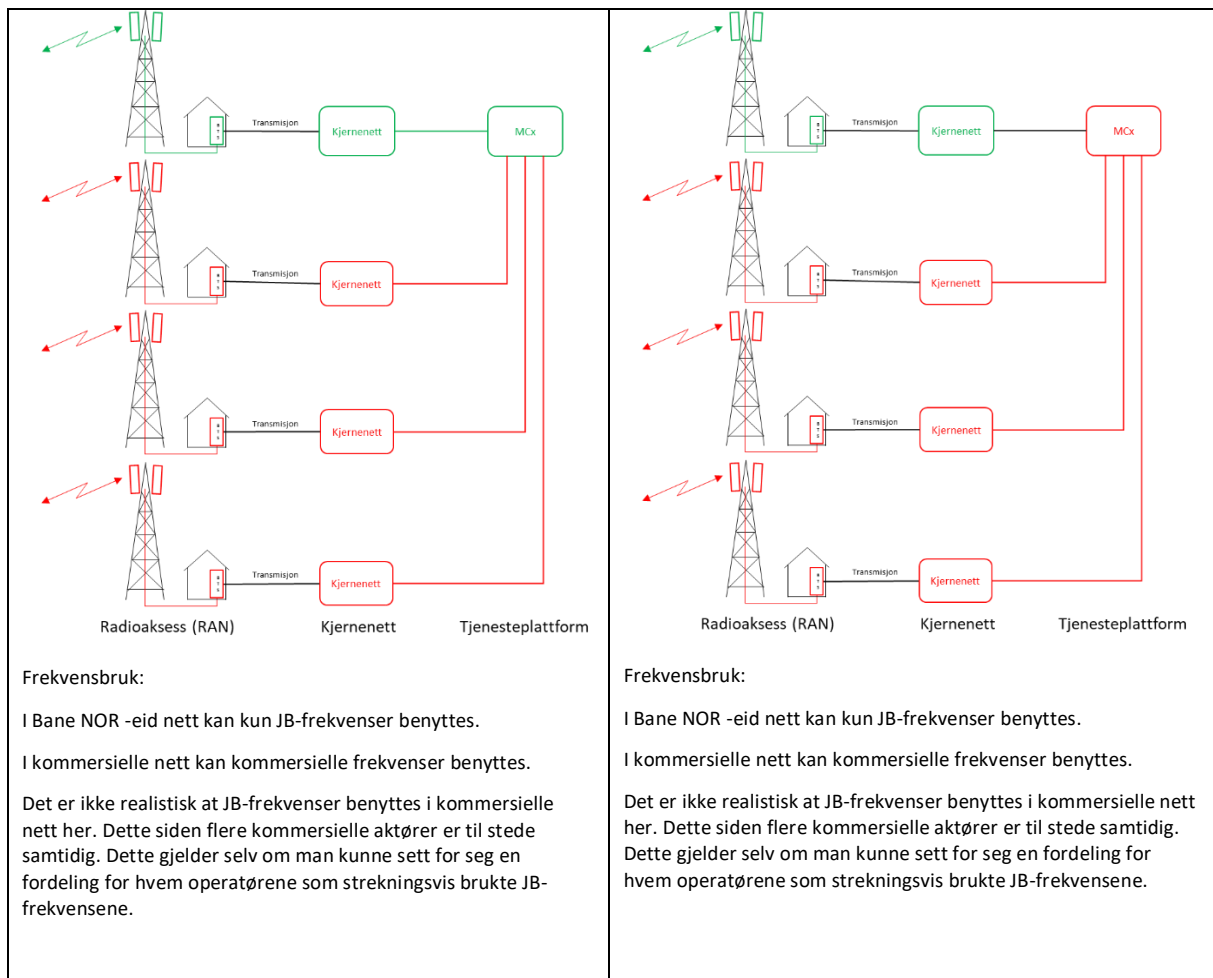
Frekvensbruk:

Kun kommersielle frekvenser kan benyttes.

Det er ikke realistisk at JB-frekvenser kan benyttes av flere kommersielle aktører samtidig (som ovenfor).

9. Kombinasjon 44 og 56





Vi ser at noen av de 13 kombinasjonene vi nå har beskrevet, inneholder flere mulige valg for bruk av frekvensspektrum. Vi vil forsøke å beskrive og drøfte dette utover det som er kommentert under hver kombinasjon ovenfor.

Vi ønsker å innsnevre antallet mulige kombinasjoner, slik at vi får et fornuftig antall alternativer som skal bli gjenstand for siling inn mot alternativanalysen vi senere skal gjøre. Denne innsnevringen må skje uten at vi gir slipp på diversiteten og spennet i det mulighetsrommet vi skal beskrive og drøfte i alternativanalysen.

For ulike valg for frekvensbruk under ett og samme alternativ, kan vi gruppere kombinasjonene og gjøre en drøfting som er felles. Vi kan gjøre en oppdeling med hensyn på frekvensbruk på denne måten:

1. Kombinasjon 1 kan kun bruke JB-frekvenser. Det er ikke aktuelt å bruke kommersielle frekvenser i et Bane NOR -eid nett.
2. Kombinasjonene 9/13, 15, 16, 31 og 32 har alle det til felles at de har et kommersielt radioaksessnett, som kan bruke enten kommersielle frekvenser tilhørende aktuell eier og operatør, eller JB-frekvenser. Utenom dette skiller kombinasjonene seg fra hverandre med hensyn på eierskap av både passiv infrastruktur og MCx. Bruk av JB-frekvenser forutsetter ombygging av basestasjonsutstyr, slik at disse frekvensene kan benyttes. Helst bør de kunne være i drift samtidig med operatørens egne frekvenser, selv om ikke disse nødvendigvis skal brukes til togfremføring.

Hvilke kombinasjoner er det da naturlig å ta med? For at vi skal få med det som skal kunne være aktuelle og realistiske alternativ med en kommersiell tilbyder av radioaksessnettet, er det mye som taler for at begge kategorier av frekvensbruk bør tas med videre. Vi tenker at både en kombinasjon som bygger utelukkende på kommersiell frekvensbruk bør tas med, og at en kombinasjon som benytter JB-frekvenser også må det.

Med tanke på reduksjon av antallet kombinasjoner og silingsprosess, er det videre mulig å tenke at eierskap til både passiv infrastruktur og MCx kan betraktes ganske uavhengig av hvordan radioaksess gjøres. Dermed kan det tas til orde for at disse to vurderingene gjøres som separate, og mer generelle vurderinger. Vi vil for de nevnte alternativene argumentere for at både «ren» kommersiell frekvensbruk må med, og at en kombinasjon med bruk av JB-frekvenser også må med. Sistnevnte kan da altså enten benytte kun JB-frekvensene til togfremføring, eller den kan benytte kommersielle frekvensbånd i tillegg til JB-frekvensene.

3. Kombinasjonene 37/49, 43/55 og 44/56 inneholder som sagt to eller tre kommersielle nett som eksisterer samtidig. Hvert av disse benytter sine egne frekvensressurser. Selv om det er mulig, kan vi ikke se at det vil være hensiktsmessig å benytte JB-frekvensene her. Dette ville i så fall vært som et supplement til de kommersielle frekvensene.

Med de to eller tre nettene samtidig til stede, ville JB-frekvensene enten måtte deles i sub-bånd til disse, eller så måtte operatørene geografisk alternere på å benytte frekvensene. Begge deler synes å være urealistisk. En deling av 900 FDD-båndet vil medføre at 5,6 MHz delt på to eller tre, og vil gi en kanalbåndbredde som blir lav, og som dermed sannsynligvis vanskelig vil kunne brukes til noe. Båndbredden vil være svært begrenset, og dermed også bitratekapasiteten. Minste kanalbåndbredde i 5G er i dag 5 MHz. Selv om det snakkes om implementering av kanalbåndbredde på 3 MHz gjennom 3GPP, vil deling på to eller tre bety 2,8 eller 1,87 MHz på hver aktør, og dette vil i praksis ikke kunne brukes til noe. For deling av 1900 MHz TDD-båndet vil nettene operere på en annen måte siden vi har tidsdeling. Imidlertid ser vi ikke på det at flere operatører skal kunne danne et felles TDD-nett som en realistisk løsning. Dette vil rett og slett bli vanskelig, og ville gitt en begrenset nytte.

Videre vil ikke en alternerende bruk av JB-frekvensene heller synes gjennomførbare. Hensikten med å ha flere samtidige kommersielle nett til stede langs jernbanen, kan være større samlet kapasitet tilgjengelig, skjerpede konkurranseforhold samt en god synergi-virkning med tanke på dekning for de reisende. Sett i lys av dette, vil en samtidig bruk av JB-frekvensene, men på en alternerende måte, ikke gi vesentlig bidrag kapasitetsmessig. En alternerende bruk ville medført at operatørene på en alternerende måte måtte ha bygget om sine nett for å støtte frekvensene. Dette kunne blitt brukt til at togfremføringen skjedde med bruk av JB-frekvensene, hvor det altså ble vekslet på hvilket nett som ble brukt. Vi kan ikke se at dette kunne tilført særlig grad av nytte, og mener at dette ville utgjort en litt merkelig nettstruktur som ikke ga noen gevinst som kunne forsvare utbyggingskostnadene.

Derfor konkluderer vi med at ren kommersiell frekvensbruk er den eneste aktuelle måten å operere nettene på med to eller tre samtidige kommersielle aktører.

4. De hybride kombinasjonene 58/64 og 62/68 har det til felles at de inneholder et Bane NOR -eid nett. Samtidig inneholder de enten ett kommersielt nett (kombinasjonene 58/64), eller flere kommersielle nett (kombinasjonene 62/68). De skiller seg videre fra hverandre ved at MCx kan være enten eid av Bane NOR, eller kommersielt eid. For Bane NOR -delen av kombinasjonene er JB-frekvensene eneste mulige alternativ. For den kommersielle delen av hver kombinasjon vil situasjonen stort sett være den samme som vi har beskrevet ovenfor i pkt 3 og 4.

For kombinasjonene med ett kommersielt nett (58 og 64) vil det imidlertid ikke være aktuelt å la et kommersielt nett med støtte for JB-frekvenser eksistere side om side med et Bane NOR -nett som benytter de samme frekvensene. Derfor er det nok at det kommersielle nettet bare støtter kommersielle frekvenser. Derimot er det slik at dersom Bane NOR -nettet ikke skulle eksistere overalt hvor det kommersielle nettet gjør det, kunne det kommersielle nettet her hatt støtte for JB-frekvensene. Dette kunne vært aktuelt dersom man ikke kunne eller ville bygge et Bane NOR -nett i hele landet, og man samtidig ble tvunget til å kun bruke JB-frekvenser til togdrift. Samtidig ser vi på dette som en litt «odde» løsning - vi tviler på om man vil komme i en situasjon hvor dette vil være den mest aktuelle eller mest kostnadseffektive løsningen.

For kombinasjonene med flere kommersielle nett (58 og 64) er situasjonen identisk med det som er beskrevet under pkt 3 ovenfor. Det vil ikke være aktuelt å realisere bruk av JB-frekvenser i flere kommersielle nett samtidig, hverken ved deling i sub-bånd, eller ved å alternere.

Vi konkluderer derfor med at for det ikke er aktuelt å bruke JB-frekvenser i de kommersielle nettene i kombinasjonene 58/64 og 62/68.

Dermed har vi drøftet de 13 aktuelle kombinasjonene våre med hensyn på frekvensbruk og redegjort på en overordnet måte for hvordan de dedikerte JB-frekvensene og kommersielle frekvensene kan benyttes for hver kombinasjon. Vi kan dermed utelate noen muligheter som i utgangspunktet kunne synes aktuelle. Det vi derimot ikke har gjort, er å detaljert gå inn i diskusjonen om hvilke eksakte frekvensbånd som skal eller kan benyttes. Vi snakker da om 900 FDD eller 1900 TDD når det gjelder JB-frekvensene, og de enkelte delbåndene 700, 800, 900, 1800, 2100, 2600 eller 3400-3800 MHz når det gjelder de kommersielt tildelte frekvensene.

6.4.2 Evaluering av aktuelle konsepter

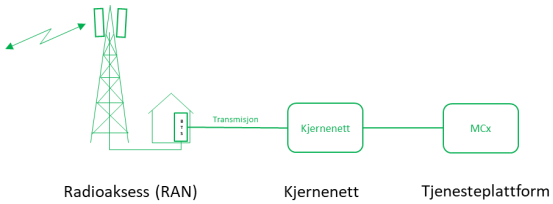
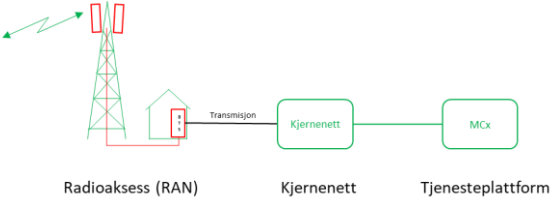
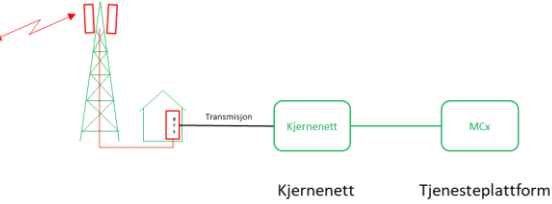
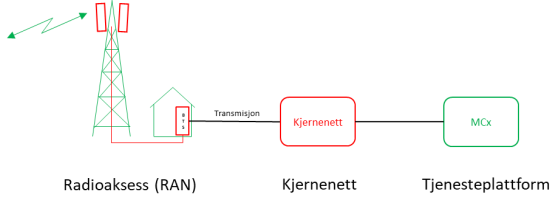
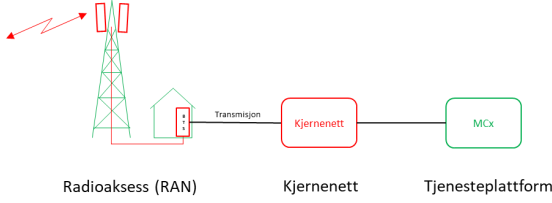
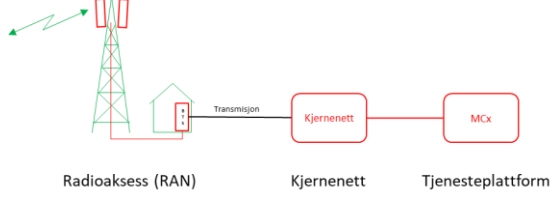
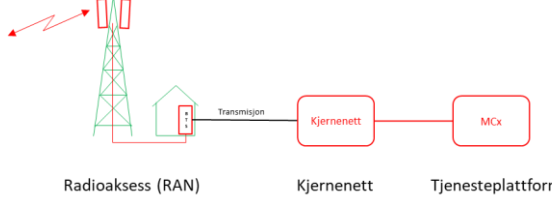
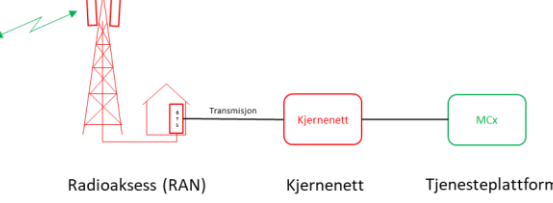
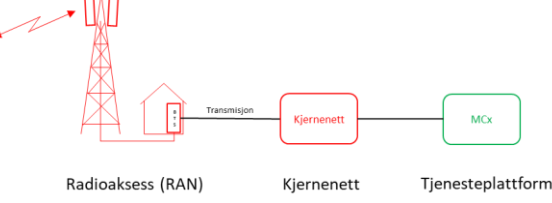
Vårt arbeid med alternative måter å realisere et FRMCS-nett på begynner å gi oss konkrete kombinasjoner av eierskap og frekvensbruk som vi kan ta videre til en grundigere sammenligning i alternativanalysen. Vi har angrepet dette analytisk ved å vurdere alle tenkelige kombinatoriske muligheter, og valgt ut kombinasjoner som vi mener er aktuelle. Deretter har vi trukket inn frekvensbruk i dette bildet, og redegjort for hvordan kommersiell frekvensbruk og JB-frekvensbruk kan være aktuelt innenfor dette mulighetsrommet.

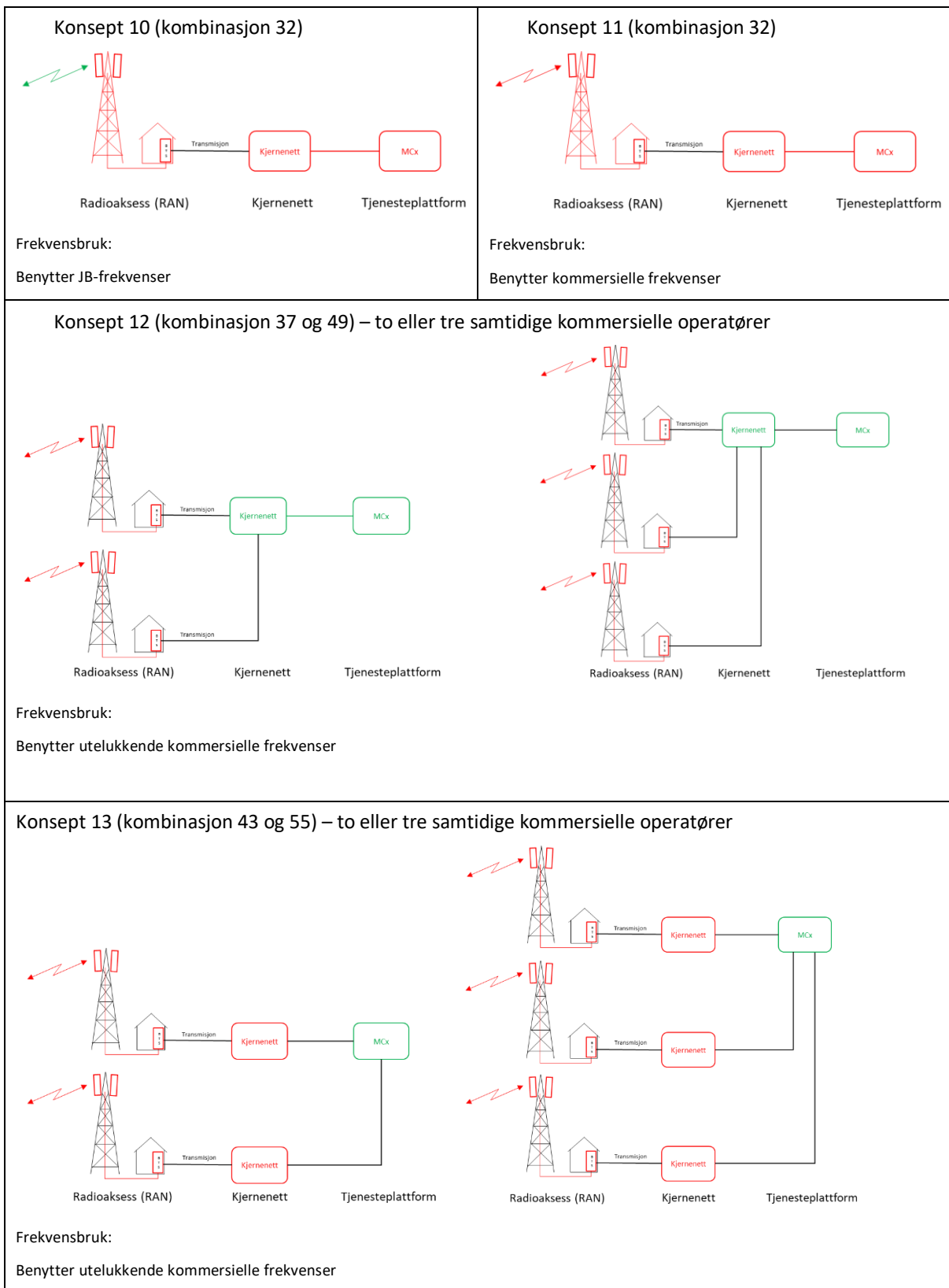
Målet er at vi skal kunne gjennomføre en seleksjon av de aller mest aktuelle kombinasjonene gjennom en grovsilingsprosess. Vi ønsker å stå igjen med 4-6 alternativer som skal vurderes grundig i alternativanalysen. Alternativene skal vurderes med tanke på både prissatte og ikke-prissatte konsekvenser. Både tekniske, økonomiske og øvrige konsekvenser av alternativet skal vurderes for at vi skal komme til en endelig anbefaling. Et bredest mulig spenn i alternativene er som tidligere nevnt ønskelig.

Imidlertid må vi før vi kan gjøre en grovsiling, gjøre en bredere evaluering av de kombinasjonene vi nå har utviklet, hvor vurderingskriteriene nevnt innledningsvis i kapittelet blir benyttet. For å komme videre i denne prosessen, velger vi å etablere begrepet *konsept* for alternative kombinasjoner vi skal ta med inn i grovsilingsprosessen.

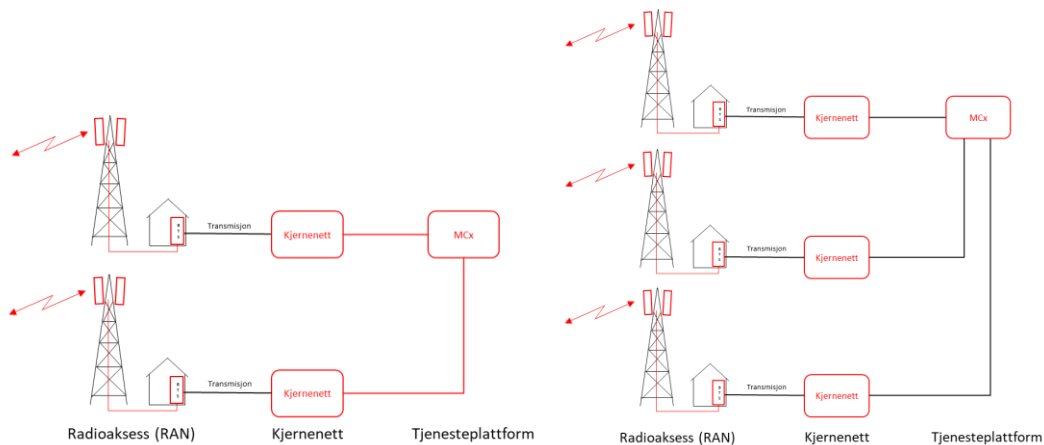
Konseptene bygger på kombinasjoner av eierskap og frekvensbruk slik vi allerede har drøftet det. Vi øker imidlertid antallet konsepter i forhold til antallet kombinasjoner vi har, ved at vi tar med noen kombinasjoner to ganger. Der både kommersiell frekvensbruk og JB-frekvensbruk er aktuell, tar vi med begge.

Vi oppsummerer herved konseptene vi vil ha med i tabell nedenfor.

<p>Konsept 1 (kombinasjon 1)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter JB-frekvenser.</p>	
<p>Konsept 2 (kombinasjon 9/13)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter JB-frekvenser</p>	<p>Konsept 3 (kombinasjon 9/13)</p>  <p>Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter kommersielle frekvenser</p>
<p>Konsept 4 (kombinasjon 15)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter JB-frekvenser</p>	<p>Konsept 5 (kombinasjon 15)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter kommersielle frekvenser</p>
<p>Konsept 6 (kombinasjon 16)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter JB-frekvenser</p>	<p>Konsept 7 (kombinasjon 16)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter kommersielle frekvenser</p>
<p>Konsept 8 (kombinasjon 31)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter JB-frekvenser</p>	<p>Konsept 9 (kombinasjon 31)</p>  <p>Radioaksess (RAN) Kjernenett Tjenesteplattform</p> <p>Frekvensbruk: Benytter kommersielle frekvenser</p>



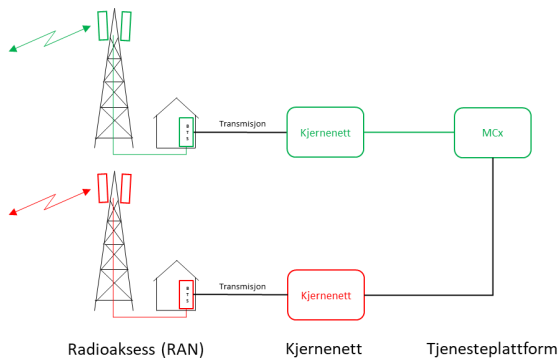
Konsept 14 (kombinasjon 44 og 56) – to eller tre samtidige kommersielle operatører



Frekvensbruk:

Benytter utelukkende kommersielle frekvenser

Konsept 15 (kombinasjon 58) - «hybrid»

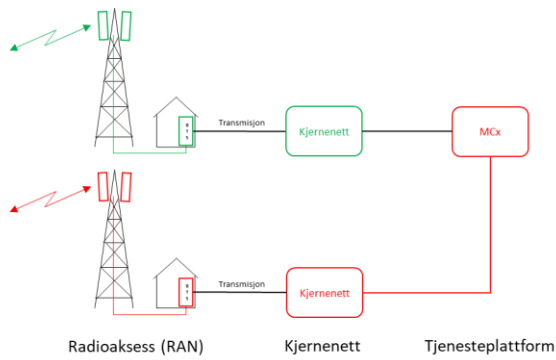


Frekvensbruk:

JB-frekvenser i Bane NOR -eid nett.

Utelukkende kommersielle frekvenser i kommersielt nett.

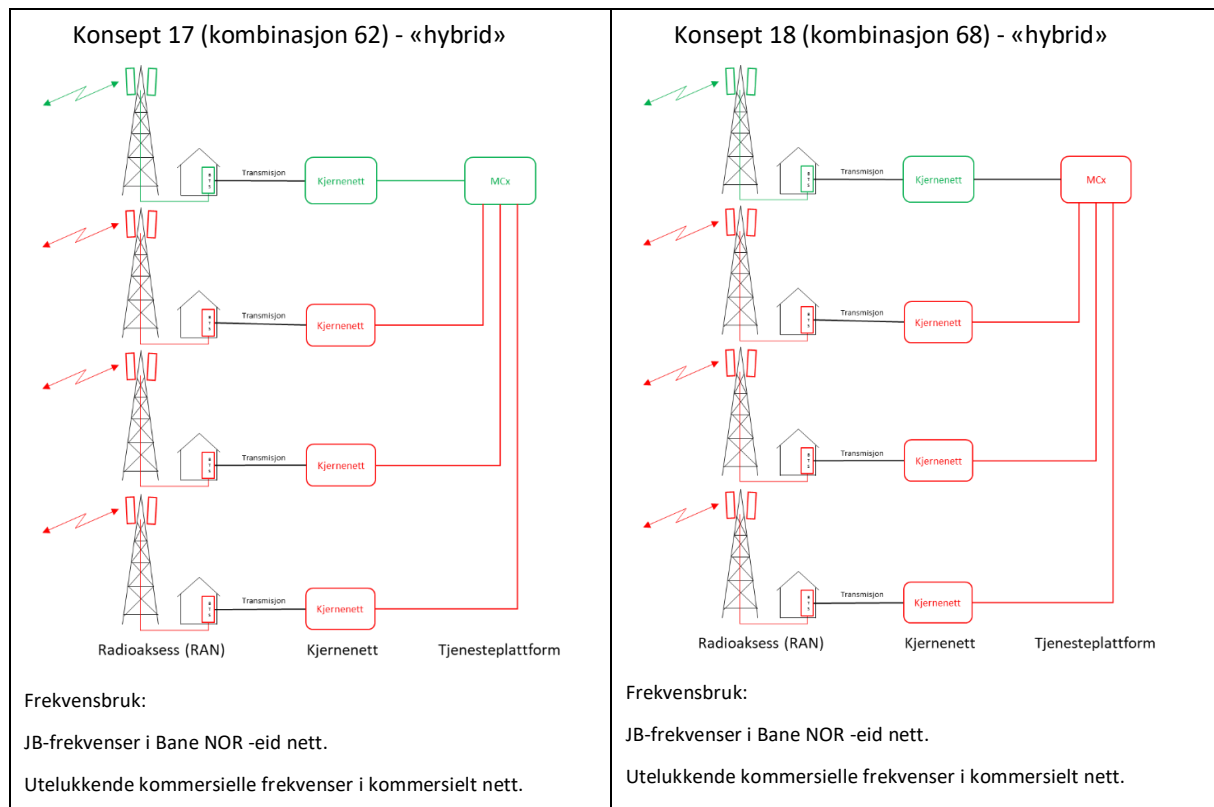
Konsept 16 (kombinasjon 64) - «hybrid»



Frekvensbruk:

JB-frekvenser i Bane NOR -eid nett.

Utelukkende kommersielle frekvenser i kommersielt nett.



Med de i alt 18 konseptene som omfatter ulike sannsynlige eierskapskonstellasjoner, med tilhørende aktuell frekvensbruk, har vi kommet et stykke på videre i mulighetsstudien. Vi har utviklet alternative løsninger som vi tror er aktuelle konsepter, samtidig som vi ivaretar et størst mulig spenn innenfor det totale mulighetsrommet. Samtidig har vi lagt til side kombinasjoner som vi mener ikke er aktuelle. Vi har resonnet og argumentert for våre valg, for i størst mulig grad kunne dokumentere våre valg.

På vei mot en grovsilingsprosess, hvor vi skal sitte igjen med 4-6 alternativer, må vi evaluere ytterligere en rekke sider av disse 18 konseptene. Innledningsvis i kapittel 6.2 nevnte vi et antall aktuelle vurderingskriterier av både teknisk og ikke-teknisk art.

Vi ønsker å gå videre i mulighetsstudien ved å anvende disse kriteriene enkeltvis for å drøfte og evaluere hvert av konseptene. Vi har kommet frem til følgende 16 vurderingskriterier eller områder som vi ønsker å benytte. Disse kan oppsummere slik, med en kort forklaring for hvert punkt:

1 Evne til å gi kostnadseffektiv radiodekning. Hvordan vil det å realisere radiodekning med aktuell bruk av frekvenser kunne vurderes med tanke på kostnader og kostnadseffektivitet for de ulike konseptene?

2 Data-bitrater og trafikk-kapasitet. Hvor høy dataoverføringskapasitet man kan oppnå over en radioforbindelse har en klar sammenheng med tilgjengelig spektrums-båndbredde. Hvordan vurderes datahastigheter (bitrater) og total kapasitet for de ulike konseptene?

3 Tidsforsinkelse/ responstid. Tidsforsinkelse, eller delay, er en teknisk parameter som er med på å bestemme ytelsen i et kommunikasjonsnett. 5G har vesentlig mindre tidsforsinkelse enn tidligere generasjoner mobilnett, som bidrar til at det kan tilbys tjenester med raskere responstid og bedre ytelse. Er det forskjell på konseptene med tanke på tidsforsinkelse?

4 Tjenesteportefølje Basistjenester. Vi har valgt å dele opp tjenestene som FRMCS skal tilby i to kategorier – basistjenester og tilleggstjenester. Dette med bakgrunn i behovsanalysen. Kategoriene skiller seg med tanke på krav til bitrater og til kapasitet. Basistjenester kan oppsummeres som de tjenestene som er nødvendig for at togfremføring skal kunne skje – at de er virksomhetskritiske. Disse kan oppsummeres som tale, datatrafikk for ETCS og for ATO opp til

GoA2. Disse krever ikke høyere bitrater enn 50-100 kb/s, og kan dermed ikke omtales som bredbåndstjenester, I hvilken grad gir de de ulike konseptene støtte for basistjenestene?

5 Tjenesteportefølje Tilleggstjenester. Dette er tilleggstjenester, som av natur er ikke-virksomhetskritiske siden de ikke er nødvendige for togfremføring. Tjenestene omfatter et datatjenester som benyttes av et vidt spekter av anvendelser både om bord i tog og langs jernbaneinfrastrukturen. Disse har det til felles at de krever høy datakapasitet. Eksempel på dette kan være data for tilstandsovervåkning, drift og vedlikehold fra et stort antall enheter, som til sammen har betydelig behov for båndbredde. Det kan også være video-overføring, som også krever høye bitrater (3-4 Mbit/s for en videostrøm). I hvilken grad gir de de ulike konseptene støtte for tilleggstjenester?

6 Sikkerhetsmessige aspekter. Siden togkommunikasjonssystemet er virksomhetskritisk, er sikkerhet viktig. Dette er også eksplisitt nevnt i oppdragsbeskrivelsen for KVUen. Med sikkerhet menes både cybersikkerhet og fysisk sikkerhet. Hvordan skiller de ulike konseptene seg fra hverandre med hensyn på dette?

7 Dekning i tunneler. Radiodekning i jernbanetunnelene er viktig for togfremføringen, i like stor grad som på fritt land. Å bygge radiodekning er kostnadskrevenende, både i nye tunneler og ved oppgradering av eksisterende anlegg. Hvordan vurderes tiltak for å gi tunneldekning, og på hvilken måte skiller konseptene seg fra hverandre?

8 Drift- og forvaltningsmessig konsept. Ulike former for organisering av eierskap vil gi forskjellige ansvarsforhold for operasjon, drift, vedlikehold og forvaltning av nettet. For å operere et mobilnett trengs det både sentraliserte driftsfunksjoner, feltdrift- og vedlikehold, samt administrativ forvaltning av nett og infrastruktur. Hvordan vil drift- og forvaltningsmessige konsekvenser være for de ulike konseptene?

9 Ombordutrustning i tog. Ombordutrustningen i tog skal i størst mulig grad standardiseres for FRMCS. Men med ulike alternativer for bruk av frekvensressurser, avhengig av om systemet utelukkende skal bruke JB-frekvenser, eller om kommersielle frekvensbånd skal tas i bruk, vil ombordutrustningen måtte bestykkes forskjellig. Det må installeres radiomoduler for aktuelle frekvensbånd, og antenner på toget må også støtte de samme frekvensene. Hvordan vil ombordutrustningen måtte bestykkes for de ulike konseptene?

10 Migrasjon. For å få til en overgang fra GSM-R til FRMCS, må det nødvendigvis bli en tidsperiode hvor togoperasjon i Norge foregår med begge systemer i drift. Dette er et viktig tema for drøfting i KVUen. Hvor lang denne interimperioden blir, avhenger av mange faktorer. Ulike eierskapsformer og ulik bruk av frekvenser, vil legge føringer for hvordan migrasjonen skal kunne gjennomføres. Hvordan påvirker de ulike konseptene muligheter og begrensninger for migrasjonen?

11 Samvirke og synergi med nytt Nødnett. Vi har i oppdragsbrevet for KVUen blitt bedt om å vurdere muligheter for samordning og synergier med nytt Nødnett, som skal realiseres i kommersielle mobilnett. De 18 konseptene benytter kommersielle nett i ulik grad og på forskjellige måter. Hvilke muligheter og potensiale har konseptene med hensyn på å hente synergieffekter?

12 Samvirke og synergi med prosjektet «Bedre nettdkning langs jernbanen». Oppdragsbrevet for KVUen ber oss også se på samordning med dette prosjektet, som skal realiseres med dekning fra alle de 3 kommersielle operatørene i Norge. Hvilke muligheter gir konseptene med hensyn på synergieffekter her?

13 Konkurransvridende påvirkning i markedet. Ulike måter å gjøre tjenestekjøp fra de kommersielle mobiloperatørene på, kan gi ulik påvirkning av det norske mobilmarkedet. I verste fall kan statlig tjenestekjøp hos en operatør påvirke konkurransen i markedet, og dermed virke konkurransvridende. Kan vi se uheldige konkurransvridende konsekvenser ved noen av konseptene? Og er det andre konkurransmessige momenter som bør belyses?

14 Innelåsings-effekt, Med dette mener vi forhold som kan være til hinder for å lett kunne bytte leverandør, sett fra kjøpers ståsted, Dersom en leverandør vanskelig kan byttes ut, fordi kontraktuelle forhold, markedsforhold eller andre forhold gjør dette vanskelig, kan man sies å være

innelåst. En leverandør av tjenester eller utstyr kan få stor makt over kjøper, dersom det gir store kostnader eller ulemper å skifte til en annen tilbyder. Dette kan igjen føre til at leverandøren priser sine tjenester eller produkter unaturlig høyt. Vi ønsker å finne ut i hvilken grad de ulike konseptene kan gi en innelåsende effekt.

15 I hvilken grad det nye systemet er fremtidsrettet og fleksibelt. FRMCS vil representere en stor investering for den norske staten. Det bør legges stor vekt på at investering i det nye nettet gjøres slik at levetiden blir lengst mulig. Telekommunikasjon har en rask teknologisk utviklingstakt, hvor nye generasjoner av produkter og tjenester hyppig avløser de gamle. Selv om dette er tilfelle må utredningsarbeidet i KVUen legge vekt på at det anbefales løsninger som er fremtidsrettede og fleksible. Løsninger som i størst mulig grad er tilpasset forventet teknisk utvikling vil være å foretrekke, fordi dette minsker og utsetter behov for nye investeringer i nettet. Selv om vi vet at FRMCS skal utvikles på 5G-«lest» og i samsvar med 3GPP-spesifikasjonene, er det ulike måter å realisere nettet, med ulik grad av både fleksibilitet, skalerbarhet og tilpasningsgrad mot sannsynlige fremtidige behov. Kapasitet og datahastigheter er svært sentralt her, og har en nær sammenheng med tilgjengelig frekvensspektrum for alternative løsninger, I hvilken grad skiller konseptene seg med hensyn på dette?

16 Overordnet vurdering av kostnader for investering og drift. KVUen skal i alternativanalysen gjøre en grundig samfunnsøkonomisk analyse av de 4-6 alternativene som slipper gjennom grovsiling. Her i mulighetsstudien har vi ikke anledning til å gjøre grundige vurderinger av kostnader og økonomi. Imidlertid ser vi i denne fasen av evalueringen gode grunner for å også å se helt overordnet på kostnader forbundet med både investering og drift. Dette er nyttig informasjon, som på linje med punktene ovenfor, hjelper oss når vi skal grovsile konseptene. Kostnadsbildet vil være forskjellig, avhengig av hvordan eierskap og dermed driftsansvar organiseres. På hvilken måte, helt overordnet sett, skiller konseptene seg fra hverandre?

Med disse 16 punktene har vi et omfattende sett med vurderingskriterier som vi kan anvende for å synliggjøre forskjeller og likheter mellom de i alt 18 konseptene. Dette er til hjelp i prosessen med å grovsile konseptene. En slik bred, men grovt utført analyse gjør at vi ser det samlede bildet tydeligere.

Vi vil lettere kunne se om to konsepter er svært like, og at det ene derfor kan forkastes. Eller vi kan også se om noen konsepter bør forkastes fordi en eller flere konsekvenser er helt uakseptable. Vi må også sørge for å opprettholde et spenn i de ferdig grovsilte konseptene, slik at alternativene vi sitter igjen med representerer hele mulighetsrommet. Det kan godt sies at «ytterpunktene» i mulighetsrommet bør beholdes inn i alternativanalysen, slik at man har et bredest mulig grunnlag for å gi en anbefaling.

Tabellene nedenfor oppsummerer 16-punktsvurderingen for alle konseptene med en kort forklarende vurdering. Vi har fargekodet hver celle i tabellen for å gi en karakter, som er kvantifisert etter denne skalaen:

God
Mindre god
Dårlig
Svært dårlig

Konsept nr	Evne til å gi kostnadseffektiv radiodekning	Data-bitrater og trafikk-kapasitet (gitt av spektrums-båndbredde)	Tidsforsinkelse/ responstid (delay)	Tjenesteportefølje Basistjenester for togfremføring (Tale, ETCS, ATO GoA2)	Tjenesteportefølje Tilleggstjenester - båndbreddekrevende ikke-kritiske tjenester (Høy kapasitet data, video-overføring)
Konsept 1	God nok med 900 MHz med dagens tetthet av BN-lokasjoner. Skal 1900 benyttes, må det bygges tettere.	Begrenset 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	Ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater
Konsept 2	God nok med 900 MHz med dagens tetthet av BN-lokasjoner. Skal 1900 benyttes, må det bygges tettere.	Begrenset 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	Ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater
Konsept 3	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 4	God nok med 900 MHz med dagens tetthet av BN-lokasjoner. Skal 1900 benyttes, må det bygges tettere.	Begrenset 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	Ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater
Konsept 5	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 6	God nok med 900 MHz med dagens tetthet av BN-lokasjoner. Skal 1900 benyttes, må det bygges tettere.	Begrenset 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	Ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater
Konsept 7	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas

Konsept 8	God nok med 900 MHz med dagens tetthet av BN-lokasjoner. Skal 1900 benyttes, må det bygges tettere.	Begrenset 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	Ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater
Konsept 9	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 10	God nok med 900 MHz med dagens tetthet av BN-lokasjoner. Skal 1900 benyttes, må det bygges tettere.	Begrenset 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	Ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater
Konsept 11	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 12	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg til høye bånd. I tillegg redundant dekning med flere parallelle nett.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 13	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd. I tillegg redundant dekning med flere parallelle nett.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 14	God 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd. I tillegg redundant dekning med flere parallelle nett.	God	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas	OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 15	God i BN-nett med 900 MHz med dagens tetthet, ikke så god på 1900. God i kommersielle nett. 700, 800 og 900 MHz -bånd kan	Begrenset kapasitet i BN-nett. 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas i BN-nett og i kommersielt nett.	BN-nett: ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater Kommersielt nett: OK Tilleggstjenester ivaretas

	benyttes, i tillegg høye bånd.	nok til togfremføring. God kapasitet i kommersielt nett.			
Konsept 16	God i BN-nett med 900 MHz med dagens tetthet, ikke så god på 1900. God i kommersielle nett. 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	Begrenset kapasitet i BN-nett. 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring. God kapasitet i kommersielt nett.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas i BN-nett og i kommersielt nett.	BN-nett: ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater Kommersielt nett: OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 17	God i BN-nett med 900 MHz med dagens tetthet, ikke så god på 1900. God i kommersielle nett. 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	Begrenset kapasitet i BN-nett. 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring. Svært god kapasitet i kommersielle nett, siden flere nett benyttes.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas i BN-nett og i kommersielt nett.	BN-nett: ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater Kommersielle nett: OK Tilleggstjenester ivaretas
Konsept 18	God i BN-nett med 900 MHz med dagens tetthet, ikke så god på 1900. God i kommersielle nett. 700, 800 og 900 MHz -bånd kan benyttes, i tillegg høye bånd.	Begrenset kapasitet i BN-nett. 5,6 MHz i 900-båndet og 10 MHz TDD ved eventuell bruk av 1900-båndet gir en begrenset kapasitet, men nok til togfremføring. Svært god kapasitet i kommersielle nett, siden flere nett benyttes.	OK Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Basistjenester ivaretas i BN-nett og i kommersielt nett.	BN-nett: ikke OK Vil ikke kunne tilby høye bitrater Kommersielle nett: OK Tilleggstjenester ivaretas

Konsept nr	Sikkerhetsmessige aspekter	Dekning i tunneler (eksisterende og nye)	Drift- og forvaltningsmessig konsept	Ombordutrustning i tog	Migrasjon
Konsept 1	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK Eksisterende tunneler har BN-dekning på 900, men ikke på 1900. 1900 TDD en mulig utfordring i tunneler, men trengs sannsynligvis ikke. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm «Bedre nettdekning langs jernbanen»	OK- Bane NOR må ha full driftsorganisasjon, for: - Sentral operasjonell drift (RAN, kjernenett, MCx) - RAN feltdrift - Forvaltning av nett og infrastruktur	Ombordutstyr må støtte kun JB-frekvensbånd.	Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder. Å bygge 1900 kun for migrasjonsperioden fremstår som uhensiktsmessig.
Konsept 2	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Eksisterende tunneler har dekning på 900, men ikke fra kommersielle operatører. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR må ha egen driftsorganisasjon, for: - sentral operasjonell drift (kjernenett, MCx) - forvaltning av infrastruktur RAN-drift satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kun JB-frekvensbånd.	Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder. Å bygge 1900 kun for migrasjonsperioden fremstår som uhensiktsmessig.
Konsept 3	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres selv om det er kostnadskrevede. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR må ha egen driftsorganisasjon, for: - sentral operasjonell drift (kjernenett, MCx) - forvaltning av infrastruktur RAN-drift satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd. Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.	OK Migrasjon vil være enkel. Etter ombygging av lokasjoner vil kommersielle bånd være i drift for FRMCS, og JB-bånd for GSM-R.
Konsept 4	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Eksisterende tunneler har dekning på 900, men ikke fra kommersielle operatører. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR må ha egen driftsorganisasjon, for: - MCx-drift - forvaltning av infrastruktur Drift av RAN og kjernenett satt ut til kommersiell	Ombordutstyr må støtte kun JB-frekvensbånd	Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder. Å bygge 1900 kun for migrasjonsperioden

			operatør, som har stordriftsfordeler.		fremstår som uhensiktsmessig.
Konsept 5	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres selv om det er kostnadskrevenende. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR må ha egen driftsorganisasjon, for: - MCx-drift - forvaltning av infrastruktur Drift av RAN og kjernenett satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd. Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.	OK Migrasjon vil være enkel. Etter ombygging av lokasjoner vil kommersielle bånd være i drift for FRMCS, og JB-bånd for GSM-R.
Konsept 6	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Eksisterende tunneler har dekning på 900, men ikke fra kommersielle operatører. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR trenger kun egen organisasjon for forvaltning av infrastruktur. Drift av RAN, kjernenett og MCx er satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kun JB-frekvensbånd	Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder. Å bygge 1900 kun for migrasjonsperioden fremstår som uhensiktsmessig.
Konsept 7	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres selv om det er kostnadskrevenende. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR trenger kun egen organisasjon for forvaltning av infrastruktur. Drift av RAN, kjernenett og MCx er satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd. Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.	OK Migrasjon vil være enkel. Etter ombygging av lokasjoner vil kommersielle bånd være i drift for FRMCS, og JB-bånd for GSM-R.
Konsept 8	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Eksisterende tunneler har dekning på 900, men ikke fra kommersielle operatører. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR trenger kun egen organisasjon for drift av MCx. Drift av RAN og kjernenett, samt forvaltning av infrastruktur er satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kun JB-frekvensbånd	Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder. Å bygge 1900 kun for migrasjonsperioden fremstår som uhensiktsmessig.
Konsept 9	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres selv om det er kostnadskrevenende.	OK Bane NOR trenger kun egen organisasjon for drift av MCx. Drift av RAN og kjernenett, samt	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd. Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.	OK Migrasjon vil være enkel. Etter ombygging av lokasjoner vil kommersielle bånd være i drift for FRMCS, og JB-bånd for GSM-R.

		Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	forvaltninga av infrastruktur er satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.		
Konsept 10	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Eksisterende tunneler har dekning på 900, men ikke fra kommersielle operatører. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR trenger ikke egen organisasjon for drift eller forvaltning. Drift av RAN, kjernenett og MCx, samt forvaltninga av infrastruktur er satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kun JB-frekvensbånd	Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkfette områder. Å bygge 1900 kun for migrasjonsperioden fremstår som uhensiktsmessig.
Konsept 11	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres selv om det er kostnadskrevene. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR trenger ikke egen organisasjon for drift eller forvaltning. Drift av RAN, kjernenett og MCx, samt forvaltninga av infrastruktur er satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd. Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.	OK Migrasjon vil være enkel. Etter ombygging av lokasjoner vil kommersielle bånd være i drift for FRMCS, og JB-bånd for GSM-R.
Konsept 12	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres med alle operatører selv om det er kostnadskrevene. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR må ha egen driftsorganisasjon, for sentral operasjonell drift av kjernenett og MCx. RAN-drift satt ut til kommersielle operatører, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd. Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.	Migrasjon er uten frekvensmessige konflikter. Men mere utfordrende å bygge ut 3 kommersielle nett samtidig langs jernbanen enn ett. Passiv infrastruktur må sannsynligvis oppgraderes mange steder.
Konsept 13	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres med alle operatører selv om det er kostnadskrevene. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	OK Bane NOR må ha egen driftsorganisasjon, for MCx. Drift av RAN og kjernenett satt ut til kommersielle operatører, som har stordriftsfordeler.	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd. Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.	Migrasjon er uten frekvensmessige konflikter. Men mere utfordrende å bygge ut 3 kommersielle nett samtidig langs jernbanen enn ett. Passiv infrastruktur må sannsynligvis oppgraderes mange steder.
Konsept 14	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres med	OK Bane NOR trenger ikke egen driftsorganisasjon.	Ombordutstyr må støtte kommersielle frekvensbånd.	Migrasjon er uten frekvensmessige konflikter. Men mere utfordrende å bygge ut 3 kommersielle nett samtidig langs

		<p>alle operatører selv om det er kostnadskrevende.</p> <p>Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.</p>	<p>Drift av RAN, kjernenett og MCx satt ut til kommersiell operatør, som har stordriftsfordeler.</p>	<p>Må sannsynligvis også støtte JB-frekvenser for interoperabilitet.</p>	<p>jernbanen enn ett. Passiv infrastruktur må sannsynligvis oppgraderes mange steder.</p>
Konsept 15	<p>OK</p> <p>Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.</p>	<p>OK-</p> <p>BN-nett: Eksisterende tunneler har dekning på 900.</p> <p>Kommersielle nett: Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres selv om det er kostnadskrevende.</p> <p>Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.</p>	<p>«Dobbelt opp» med drift.</p> <p>Bane NOR sitt RAN og kjernenett må forvaltes, opereres og vedlikeholdes i tillegg til kommersielt nett det kjøpes tjenester fra. Oppnår ikke stordriftsfordeler i BN-nettet.</p>	<p>Ombordutstyr må støtte både JB-frekvensbånd og kommersielle frekvensbånd.</p>	<p>BN-nett:</p> <p>Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder.</p> <p>Kommersielt nett:</p> <p>Migrasjon vil være enkel. Etter ombygging av lokasjoner vil kommersielle bånd være i drift for FRMCS, og JB-bånd for GSM-R.</p>
Konsept 16	<p>OK</p> <p>Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.</p>	<p>OK-</p> <p>BN-nett: Eksisterende tunneler har dekning på 900.</p> <p>Kommersielle nett: Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres selv om det er kostnadskrevende.</p> <p>Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.</p>	<p>«Dobbelt opp» med drift.</p> <p>Bane NOR sitt RAN og kjernenett må forvaltes, opereres og vedlikeholdes i tillegg til kommersielt nett det kjøpes tjenester fra. Oppnår ikke stordriftsfordeler i BN-nettet.</p>	<p>Ombordutstyr må støtte både JB-frekvensbånd og kommersielle frekvensbånd.</p>	<p>BN-nett:</p> <p>Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder.</p> <p>Kommersielt nett:</p> <p>Migrasjon vil være enkel. Etter ombygging av lokasjoner vil kommersielle bånd være i drift for FRMCS, og JB-bånd for GSM-R.</p>
Konsept 17	<p>OK</p> <p>Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.</p>	<p>OK-</p> <p>BN-nett: Eksisterende tunneler har dekning på 900.</p> <p>Kommersielle nett: Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres med alle operatører selv om det er kostnadskrevende.</p> <p>Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.</p>	<p>«Dobbelt opp» med drift.</p> <p>Bane NOR sitt RAN og kjernenett må forvaltes, opereres og vedlikeholdes i tillegg til kommersielle nett det kjøpes tjenester fra. Oppnår ikke stordriftsfordeler i BN-nettet.</p>	<p>Ombordutstyr må støtte både JB-frekvensbånd og kommersielle frekvensbånd.</p>	<p>BN-nett:</p> <p>Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder.</p> <p>Kommersielle nett:</p> <p>Migrasjon vil være enkel. Men mere utfordrende å bygge ut 3 kommersielle nett samtidig langs jernbanen enn ett. Passiv infrastruktur må sannsynligvis</p>

					oppgraderes mange steder.
Konsept 18	OK Sikkerhet vil kunne løses. Ingen begrensning i forhold til øvrige alternativer.	OK- BN-nett: Eksisterende tunneler har dekning på 900. Kommersielle nett: Mange tunneler har ikke kommersiell dekning, men dette kan realiseres med alle operatører selv om det er kostnadskrevenende. Mange tunneler vil uansett oppgraderes ifm Nettdekningsprosjektet.	«Dobbelt opp» med drift. Bane NOR sitt RAN og kjernenett må forvaltes, opereres og vedlikeholdes i tillegg til kommersielle nett det kjøpes tjenester fra. Oppnår ikke stordriftsfordeler i BN-nettet.	Ombordutstyr må støtte både JB-frekvensbånd og kommersielle frekvensbånd.	BN-nett: Noe vanskelig, men mulig. 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen. Å bygge 1900 vil være et alternativ i trafikkette områder. Kommersielle nett: Migrasjon vil være enkel. Men mere utfordrende å bygge ut 3 kommersielle nett samtidig langs jernbanen enn ett. Passiv infrastruktur må sannsynligvis oppgraderes mange steder.

Konsept nr	Samvirke og synergi med nytt Nødnett	Samvirke og synergi med prosjektet Bedre Nettdekning langs jernbanen	Konkurranssevridende påvirkning og andre konkurransemessige momenter	Innelåsings-effekt (forhold som er til hinder for å lett kunne bytte leverandør)	I hvilken grad det nye systemet i teknisk forstand er fremtidsrettet og fleksibelt	Overordnet kostnadsvurdering - både investering og drift
Konsept 1	Liten grad av synergi. Begrenser seg til innplassering av nødnett i BN sin passive infrastruktur.	Liten grad av synergi. Begrenser seg til innplassering av operatører i BN sin passive infrastruktur på lik linje med i dag. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Ikke konkurransevridende Nett eid og operert av BN vil ikke bidra til konkurransevridning i mobilmarkedet.	I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på utstyrslleverandør. Bane NOR kan anskaffe RAN, kjernenett og MCx fra ulike leverandører, for i en viss grad motvirke leverandørmonopol. Men langsiktige kontrakter vil være nødvendig.	Begrenset Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum med JB-frekvenser vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Heller ikke nødvendigvis samme innovasjonstakt og oppgraderingstakt som kommersielle nett, siden BN selv må utføre oppgraderinger i HW og SW.	BN må investere i eget fullstendig 5G-nett, og drifte dette. Om 1900-båndet skal benyttes, er et vesentlig spørsmål, og det må i så fall bygges tettere. Kostnader mhp passiv infrastruktur avhenger i stor grad av om 1900 skal brukes eller ikke.
Konsept 2	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnett. Innplassering i BN sin passive infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdekning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Kan skape konkurransevridning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for RAN kan bidra til konkurransevridning dersom operatøren er dominerende i markedet. Ellers ikke.	I ganske stor grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Alle BN-lokasjoner må få inn ny operatør ved bytte. Det vil være kostnadskrevende å bytte tjenesteleverandør når leid RAN er ombygd for JB-frekvenser.	Begrenset Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum med JB-frekvenser vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater RAN-investering og drift til en kommersiell operatør. Vanskelig å estimere kostnad for dette. RAN må bygges om til å håndtere JB-frekvenser. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av kjernenett og MCx.
Konsept 3	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnett. Innplassering i BN sin passive infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdekning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Kan skape konkurransevridning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for RAN kan bidra til konkurransevridning dersom operatøren er dominerende i markedet. Ellers ikke.	I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Alle BN-lokasjoner må få inn ny operatør ved bytte.	Fremtidsrettet og fleksibelt. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater RAN-investering og drift til en kommersiell operatør. Vanskelig å estimere kostnad for dette. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av kjernenett og MCx.

Konsept 4	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnnett. Innplassering i BN sin passive infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdækning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Kan skape konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for RAN og kjernenett kan bidra til konkurransevidning dersom operatøren er dominerende i markedet. Ellers ikke.	I ganske stor grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Alle BN-lokasjoner må få inn ny operatør ved bytte. Det vil være kostnadskrevenende å bytte tjenesteleverandør når leid RAN er ombygd for JB-frekvenser.	Begrenset Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum med JB-frekvenser vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN og kjernenett til en kommersiell operatør. Vanskelig å estimere kostnad for dette. RAN må bygges om til å håndtere JB-frekvenser. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av MCx.
Konsept 5	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnnett. Innplassering i BN sin passive infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdækning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Kan skape konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for RAN og kjernenett kan bidra til konkurransevidning dersom operatøren er dominerende i markedet. Ellers ikke.	I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Alle BN-lokasjoner må få inn ny operatør ved bytte.	Fremtidsrettet og fleksibelt. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN og kjernenett til en kommersiell operatør. Vanskelig å estimere kostnad for dette. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av MCx.
Konsept 6	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnnett. Innplassering i BN sin passive infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdækning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Større potensiale for konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for hele verdikjeden RAN, kjernenett og MCx kan bidra til konkurransevidning dersom operatøren er dominerende i markedet. Ellers ikke.	I ganske stor grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Alle BN-lokasjoner må få inn ny operatør ved bytte. Det vil være kostnadskrevenende å bytte tjenesteleverandør når leid RAN er ombygd for JB-frekvenser. I tillegg krevende å samtidig bytte tjenesteleverandør for MCx.	Begrenset Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum med JB-frekvenser vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN, kjernenett og MCx til en kommersiell operatør. Vanskelig å estimere kostnad for dette. RAN må bygges om til å håndtere JB-frekvenser. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN får kun kostnader til forvaltning av passiv infrastruktur.
Konsept 7	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnnett. Innplassering i BN sin passive infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdækning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Større potensiale for konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for hele verdikjeden RAN, kjernenett og MCx kan bidra til konkurransevidning dersom operatøren er	I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Alle BN-lokasjoner må få inn ny operatør ved bytte. I tillegg krevende å samtidig bytte tjenesteleverandør for MCx.	Fremtidsrettet og fleksibelt. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell	BN overlater investering og drift av RAN, kjernenett og MCx til en kommersiell operatør. Vanskelig å estimere kostnad for dette. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader.

			dominerende i markedet. Ellers ikke.		operatør sitt generelle løp.	BN får kun kostnader til forvaltning av passiv infrastruktur.
Konsept 8	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnett. Innplassering i passiv infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdekning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Stort potensiale for konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for RAN og kjernenett - og i tillegg tar over alle BN-lokasjoner, kan virke konkurransevidende.	I svært stor grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Når passiv infrastruktur er solgt ut til en kommersiell operatør, har man i liten grad garanti for at det kan byttes til ny tjenesteleverandør, siden denne må innplasseres. Det vil være kostnadskrevene å bytte tjenesteleverandør når leid RAN er ombygd for JB-frekvenser.	Begrenset Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum med JB-frekvenser vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN og kjernenett til en kommersiell operatør, som også overtar passiv infrastruktur. Vanskelig å estimere kostnad for tjenestekjøp. RAN må bygges om til å håndtere JB-frekvenser. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av kjernenett og MCx. Salg av passiv infrastruktur vil gi inntekter.
Konsept 9	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnett. Innplassering i passiv infrastruktur er uansett mulig. passive infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdekning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Stort potensiale for konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for RAN og kjernenett - og i tillegg tar over alle BN-lokasjoner, kan virke konkurransevidende.	I svært stor grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Når passiv infrastruktur er solgt ut til en kommersiell operatør, har man i liten grad garanti for at det kan byttes til ny tjenesteleverandør, siden denne må innplasseres.	Fremtidsrettet og fleksibelt. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN og kjernenett til en kommersiell operatør, som også overtar passiv infrastruktur. Vanskelig å estimere kostnad for tjenestekjøp. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av kjernenett og MCx. Salg av passiv infrastruktur vil gi inntekter.
Konsept 10	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnett. Innplassering i passiv infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdekning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Stort potensiale for konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for hele verdikjeden RAN, kjernenett og MCx - og i tillegg tar over alle BN-lokasjoner, kan virke konkurransevidende.	I svært stor grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Når passiv infrastruktur er solgt ut til en kommersiell operatør, har man i liten grad garanti for at det kan byttes til ny tjenesteleverandør, siden denne må innplasseres. Det vil være kostnadskrevene å bytte tjenesteleverandør	Begrenset Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum med JB-frekvenser vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell	BN overlater investering og drift av RAN, kjernenett og MCx til en kommersiell operatør, som også overtar passiv infrastruktur. Vanskelig å estimere kostnad for tjenestekjøp. RAN må bygges om til å håndtere JB-frekvenser. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som

				når leid RAN er ombygd for JB-frekvenser. I tillegg krevende å samtidig bytte tjenesteleverandør for MCx.	operatør sitt generelle løp.	kan påvirke driftskostnader. BN har dermed ikke eierskap til noen del av nettet.
Konsept 11	Begrenset Bare dersom samme kommersielle operatør velges for både FRMCS og Nødnett. Innplassering i passiv infrastruktur er uansett mulig.	Begrenset En operatør til stede, men alle tre operatører er ønsket for prosjektet Nettdekning. Mange BN-lokasjoner har ikke kapasitet til innplassering av 3 operatører.	Stort potensiale for konkurransevidning At <u>en</u> kommersiell aktør velges for hele verdikjeden RAN, kjernenett og MCx - og i tillegg tar over alle BN-lokasjoner, kan virke konkurransevidende.	I svært stor grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør. Når passiv infrastruktur er solgt ut til en kommersiell operatør, har man i liten grad garanti for at det kan byttes tjenesteleverandør, siden denne må innplasseres. I tillegg krevende å samtidig bytte tjenesteleverandør for MCx.	Fremtidsrettet og fleksibelt. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN, kjernenett og MCx til en kommersiell operatør, som også overtar passiv infrastruktur. Vanskelig å estimere kostnad for tjenestekjøp. Kommersiell aktør har stordriftsfordeler som kan påvirke driftskostnader. BN har dermed ikke eierskap til noen del av nettet.
Konsept 12	God synergi Med tre samtidige operatører til stede vil Nødnett lett kunne realiseres med en eller flere av disse.	God synergi Sammenfallende behov med Nettdekning med tre samtidige operatører til stede.	Liten grad av konkurransevidning Med to eller tre aktører som tjenesteleverandører for RAN vil ikke konkurransevidning påvirke markedet negativt. Men med tre aktører blir muligens konkurransen mindre skjerpet, hvis ikke spesielle tiltak gjøres ved utlysning.	Liten grad av «innelåsende effekt» Dette siden to eller tre aktører blir benyttet som tjenesteleverandører for RAN.	Fremtidsrettet og fleksibelt. Flere RAN gir bedre kapasitet enn ett nett. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersielle operatører sine generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN til kommersielle operatører. Må betale årlig pris for leie av 2 eller 3 ulike RAN. Vanskelig å estimere kostnader for tjenestekjøp. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av kjernenett og MCx.
Konsept 13	God synergi Med tre samtidige operatører til stede vil Nødnett lett kunne realiseres med en eller flere av disse.	God synergi Sammenfallende behov med Nettdekning med tre samtidige operatører til stede.	Liten grad av konkurransevidning Med to eller tre aktører som tjenesteleverandører for RAN og kjernenett vil ikke konkurransevidning påvirke markedet negativt. Men med tre aktører blir muligens konkurransen mindre skjerpet, hvis ikke spesielle tiltak	Liten grad av «innelåsende effekt» Dette siden to eller tre aktører blir benyttet som tjenesteleverandører for RAN og kjernenett.	Fremtidsrettet og fleksibelt. Flere RAN gir bedre kapasitet enn ett nett. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser. Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersielle operatører sine generelle løp.	BN overlater investering og drift av RAN og kjernenett til kommersielle operatører. Må betale årlig pris for leie av 2 eller 3 nett. Vanskelig å estimere kostnader for tjenestekjøp. BN må fortsatt ta kostnad for investering og drift av MCx.

			gjøres ved utlysning.			
Konsept 14	<p>God synergi</p> <p>Med tre samtidige operatører til stede vil Nødnett lett kunne realiseres med en eller flere av disse.</p>	<p>God synergi</p> <p>Sammenfallende behov med Nettdekning med tre samtidige operatører til stede.</p>	<p>Liten grad av konkurransevridding</p> <p>Med to eller tre aktører som tjenesteleverandører for RAN vil ikke konkurransevridding påvirke markedet negativt.</p> <p>Men med tre aktører blir muligens konkurransen mindre skjerpet, hvis ikke spesielle tiltak gjøres ved utlysning.</p>	<p>Liten grad av «innelåsende effekt»</p> <p>Dette siden to eller tre aktører blir benyttet som tjenesteleverandører for RAN og kjernenett.</p> <p>Kan sies å være en viss «innelåsende effekt» med <u>en</u> kommersiell leverandør av MCx.</p>	<p>Fremtidsrettet og fleksibelt.</p> <p>Flere RAN gir bedre kapasitet enn ett nett. Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser.</p> <p>Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersielle operatører sine generelle løp.</p>	<p>BN overlater investering og drift av RAN, kjernenett og MCx til kommersielle operatører.</p> <p>Må betale årlig pris for leie av 2 eller 3 nett, samt MCx. Vanskelig å estimere kostnader for tjenestekjøp.</p>
Konsept 15	<p>Geografisk betinget</p> <p>I BN-nett begrenser det seg til innplassering av nødnett i BN sin passive infrastruktur.</p> <p>I kommersielt nett er det mulig, gitt at samme operatør velges for både FRMCS og Nødnett.</p>	<p>Begrenset</p> <p>Geografisk betinget og begrenset av passiv infrastruktur.</p> <p>I BN-nett er det mange lokasjoner som ikke har kapasitet til innplassering av 3 operatører.</p> <p>I kommersielt nett kan også kapasitet for innplassering for ytterligere to aktører være en begrensning.</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke konkurransevridding virkning.</p> <p>Kommersielt nett: En liten grad av konkurransevridding i markedet kan bli resultatet om en dominerende aktør blir valgt. Ellers ikke. Avhenger av omfang av kommersielt nett og mindre konkurransevridding virkning for konseptene 3, 5, 7, 9 og 11.</p>	<p>I en viss grad «innelåsende effekt», men mindre enn for konseptene med utelukkende en kommersiell tjenesteleverandør.</p> <p>BN-nett: I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på utstyrsleverandør.</p> <p>Kommersielt nett: I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør, men mindre effekt enn for konseptene 3, 5, 7, 9 og 11, fordi omfanget nettet er mindre.</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Heller ikke nødvendigvis samme innovasjonstakt og oppgraderingstakt som kommersielle nett, siden BN selv må utføre oppgraderinger i HW og SW.</p> <p>Kommersielt nett: Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser.</p> <p>Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.</p>	<p>BN-nett:</p> <p>BN må investere i eget fullstendig 5G-nett inkludert MCx, og drifte dette.</p> <p>Kostnader avhenger i stor grad av om 1900 skal brukes eller ikke.</p> <p>Kommersielt nett:</p> <p>Innkjøp av RAN- og kjernenett-tjenester kommer i tillegg.</p> <p>Konseptet synes samlet å være kostbart, da BN må bygge eget nett og drifte dette. I tillegg kommer kostnad for leie av kommersielt nett.</p>
Konsept 16	<p>Geografisk betinget.</p> <p>I BN-nett begrenser det seg til innplassering av nødnett i BN sin</p>	<p>Begrenset</p> <p>Geografisk betinget og begrenset av passiv infrastruktur.</p> <p>I BN-nett er det mange lokasjoner som ikke har</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke konkurransevridding virkning.</p> <p>Kommersielt nett: En liten grad av</p>	<p>I en viss grad «innelåsende effekt», men mindre enn for konseptene med utelukkende en kommersiell tjenesteleverandør.</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum vil gi begrensninger i</p>	<p>BN-nett:</p> <p>BN må investere i eget fullstendig 5G-nett, og drifte dette.</p> <p>Kostnader avhenger i stor grad av om 1900 skal brukes eller ikke.</p>

	<p>passive infrastruktur.</p> <p>I kommersielt nett er det mulig, gitt at samme operatør velges for både FRMCS og Nødnnett.</p>	<p>kapasitet til innplassering av 3 operatører.</p> <p>I kommersielt nett kan også kapasitet for innplassering for ytterligere to aktører være en begrensning.</p>	<p>konkurransesvridning i markedet kan bli resultatet om en dominerende aktør blir valgt. Ellers ikke. Avhenger av omfang av kommersielt nett og mindre konkurransevidende effekt enn for konseptene 3, 5, 7, 9 og 11.</p>	<p>BN-nett: I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på utstyrsleverandør.</p> <p>Kommersielt nett: I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på tjenesteleverandør, men mindre effekt enn for konseptene 3, 5, 7, 9 og 11, fordi omfanget nettet er mindre.</p>	<p>oppnåelige bitrater kapasitet. Heller ikke nødvendigvis samme innovasjonstakt og oppgraderingstakt som kommersielle nett, siden BN selv må utføre oppgraderinger i HW og SW.</p> <p>Kommersielt nett: Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser.</p> <p>Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersiell operatør sitt generelle løp.</p>	<p>Kommersielt nett: Innkjøp av RAN-, kjernenett- og MCx-tjenester kommer i tillegg.</p> <p>Konseptet synes samlet å være kostbart, da BN må bygge eget nett og drifte dette. I tillegg kommer kostnad for leie av kommersielt nett.</p>
Konsept 17	<p>Geografisk betinget.</p> <p>I BN-nett begrenser det seg til innplassering av nødnnett i BN sin passive infrastruktur.</p> <p>I kommersielle nett god mulighet. Med tre samtidige operatører til stede vil Nødnnett lett kunne realiseres med en eller flere av disse.</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>I BN-nett er det mange lokasjoner som ikke har kapasitet til innplassering av 3 operatører.</p> <p>I kommersielle nett er situasjonen god, med sammenfallende behov med Nettdekning; tre samtidige operatører til stede.</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke konkurransevidende virkning.</p> <p>Kommersielle nett: Med tre aktører vil ikke konkurransevidning påvirke markedet negativt. Men med tre aktører blir muligens konkurransen mindre skjerpet, hvis ikke spesielle tiltak gjøres ved utlysning.</p>	<p>I en liten grad «innelåsende effekt», mindre enn for konseptene 15 og 16.</p> <p>BN-nett: I en viss grad «innelåsende effekt» med tanke på utstyrsleverandør.</p> <p>Kommersielt nett: Ikke «innelåsende effekt» med tre parallelle kommersielle operatører som tjenestetilbydere.</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Heller ikke nødvendigvis samme innovasjonstakt og oppgraderingstakt som kommersielle nett, siden BN selv må utføre oppgraderinger i HW og SW.</p> <p>Kommersielle nett: Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser.</p> <p>Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersielle operatører sine generelle løp.</p>	<p>BN-nett:</p> <p>BN må investere i eget fullstendig 5G-nett inkludert MCx, og drifte dette. Nettet kan ha begrenset geografisk omfang. Kostnader avhenger i stor grad av om 1900 skal brukes eller ikke.</p> <p>Kommersielt nett:</p> <p>I tillegg til BN-nett kommer innkjøp av RAN- og kjernenett-tjenester fra 3 operatører samtidig, i et område som kan være geografisk avgrenset.</p> <p>Konseptet synes samlet å være kostbart, da BN må bygge eget nett og drifte dette. I tillegg kommer kostnad for leie av 3 kommersielle nett.</p>
Konsept 18	<p>Geografisk betinget.</p> <p>I BN-nett begrenser det seg til innplassering av nødnnett i BN sin</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>I BN-nett er det mange lokasjoner som ikke har kapasitet til innplassering av 3 operatører.</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke konkurransevidende virkning.</p> <p>Kommersielle nett: Med tre</p>	<p>I en liten grad «innelåsende effekt», mindre enn for konseptene 15 og 16.</p> <p>BN-nett: I en viss grad «innelåsende effekt»</p>	<p>Geografisk betinget</p> <p>BN-nett: Ikke like fremtidsrettet som med kommersielle frekvenser, fordi et begrenset frekvensspektrum</p>	<p>BN-nett:</p> <p>BN må investere i eget fullstendig 5G-nett, og drifte dette. Nettet kan ha begrenset geografisk omfang. Kostnader avhenger i</p>

	<p>passive infrastruktur.</p> <p>I kommersielle nett god mulighet. Med tre samtidige operatører til stede vil Nødnett lett kunne realiseres med en eller flere av disse.</p>	<p>I kommersielle nett er situasjonen god, med sammenfallende behov med Nettdekning; tre samtidige operatører til stede.</p>	<p>aktører vil ikke konkurransevridning påvirke markedet negativt. Men med tre aktører blir muligens konkurransen mindre skjerpet, hvis ikke spesielle tiltak gjøres ved utlysning.</p>	<p>med tanke på utstyrsleverandør.</p> <p>Kommersielt nett: Ikke «innelåsende effekt» med tre parallelle kommersielle operatører som tjenestetilbydere.</p>	<p>vil gi begrensninger i oppnåelige bitrater kapasitet. Heller ikke nødvendigvis samme innovasjonstakt og oppgraderingstakt som kommersielle nett, siden BN selv må utføre oppgraderinger i HW og SW.</p> <p>Kommersielle nett: Høye bitrater og god kapasitet er mulig siden kommersielle operatører disponerer store spektrumsressurser.</p> <p>Innovasjonstakt og oppgradering av HW og SW vil følge kommersielle operatører sine generelle løp.</p>	<p>stor grad av om 1900 skal brukes eller ikke.</p> <p>Kommersielt nett:</p> <p>I tillegg til BN-nett kommer innkjøp av RAN-, kjernenett- og MCx-tjenester fra 3 operatører samtidig, i et område som kan være geografisk avgrenset.</p> <p>Konseptet synes samlet å være kostbart, da BN må bygge eget nett og drifte dette. I tillegg kommer kostnad for leie av 3 kommersielle nett.</p>
--	--	--	---	---	--	---

Med denne foreløpig oppsummerende oversikten av i alt 16 ulike vurderingskriterier har vi belyst andre sider av våre 18 konsepter enn det som dreier seg om eierskapskombinasjoner og frekvensbruk.

Dette gir oss et mer utfyllende bilde av hva hvert av de enkelte konseptene vil innebære. Vi har prøvd å favne alle relevante sider ved hvert konsept, slik at vi kan stå bedre rustet til å gjøre grovsilingen. Selv om vurderingen på hvert punkt er på et overordnet nivå, mener vi at dette gir oss informasjon som kan gjøre oss i stand til å sortere og selektare. En grundigere og mer uttømmende drøfting og analyse med de ulike vurderingskriteriene vil uansett bli gjort i neste kapittel, alternativanalysen.

6.4.3 Vurderinger rundt eierskap til passiv infrastruktur

I prosessen med å vurdere eierskapskombinasjonene i konseptene har vi underveis drøftet om den passive infrastrukturen kan overdras til andre aktører enn Bane NOR. Passiv infrastruktur omfatter i hovedsak master, hytter og kraftforsyning. Dette er nærmere beskrevet i avsnitt 6.3.1.2.

Det kan tenkes at Bane NOR kunne selge et utvalg eller samtlige av sine lokasjoner til en kommersiell, eller flere kommersielle aktører. Dette kan hevdes å være aktuelt dersom det besluttes at Bane NOR ikke skal ha et eget radioaksessnett lenger. En kommersiell aktør vil dermed kjøpe og overta hele den passive infrastrukturen sammen med utstyret som gir radioaksess på lokasjonen, og disponere alt dette som han vil. Dette vil kunne skape en inntekt til Bane NOR, og i tillegg gi reduserte driftskostnader for både RAN og den passive infrastrukturen.

Imidlertid ser vi at det både er ulemper og forhold som gjør dette vanskelig på en del lokasjoner. Ulempen er først og fremst at Bane NOR gir fra seg kontrollen med viktig infrastruktur som er nødvendig for å gi dekning langs jernbanen. Videre kan sider av dette som gjør et slikt utfall vanskelig, eller til og med umulig, oppsummeres slik:

- Noen lokasjoner har blitt bygget som følge av ekspropriering av privat eiendom. Det at jernbanen er viktig i et samfunns-perspektiv, kan forsvare ekspropriering. Men det samme ville sannsynligvis ikke ha kunnet skje dersom en kommersiell aktør ville etablere en tilsvarende lokasjon på samme sted. Det er svært sjelden at mobiloperatører forsøker, eller får gjennomført ekspropriering på privat grunn. En grunneier har som regel en legitim rett til å si nei til slike etableringer med dagens konkurransesituasjon, selv om situasjonen var annerledes når Televerket tidligere var alene som statlig tilbyder av teletjenester. Nødnett og FRMCS har som statlige aktører en helt annen

gjennomslagskraft med tanke på å få gjennomført ekspropriering. Dersom eksproprierte lokasjoner blir solgt fra Bane NOR til en kommersiell tilbyder, kan man lett se for seg konflikter mellom grunneiere og kjøper, med rettslige tvister som konsekvens. Dette vil etisk sett være tvilsomt, selv om tvistene vil kunne løses.

- Noen lokasjoner har også blitt bygget inne i nasjonalparker. Også her har jernbanens samfunnsnyttige betydning gjort at myndighetene har gitt byggetillatelse for GSM-R -installasjoner. Nødnett har på tilsvarende måte samfunnsbetydning som forsvarer bygging. Å selge lokasjoner som har blitt bygget i nasjonalparker til kommersielle aktører vil være lite aktuelt. Salg av slike lokasjoner vil kunne uthule prinsipper om restriksjoner for bygging av lokasjoner i nasjonalparker og verneområder. I tillegg vil salg fort kunne fremstå som urettferdige for de som ikke får kjøpe lokasjonen.
- Mange lokasjoner er plassert på Bane NOR sin eiendom, på en slik måte at tilgang blir vanskelig. Eksempelvis er utstysrom en del steder plassert slik at det ikke er lett å gi vedlikeholdspersonell som drifter kommersielle nett tilgang. Det at Bane NOR fortsatt er grunneier, kan løses med en leieavtale, men det er altså praktiske sider ved dette som gjør tilgang og drift vanskelig. Dette er tilfelle for utstysrom tilknyttet tunneler, hvor også driftskritisk transmisjonsutstyr er plassert. I dag organiseres det følgetjeneste med Bane NOR -personell når feltingeniører og montører fra 3. parts entreprenører skal inn på disse lokasjonene. På liknende vis finnes det spornære lokasjoner som er plassert på innsiden av inngjerding for banen. Tilgang vil da ha et sikkerhetsmessig aspekt. I noen tilfeller trengs det hovedsikkerhetsvakt for å sikre trygg tilgang til utstyr og mast. For eksempel kan antenner plassert på taket av en overgangsbru over spor på en stasjon være problematisk, fordi bruk av stige eller lift nær kontaktledning og AT-ledning kan kreve bruk av Leder for EI-sikkerhet (LFS).
- Siden tunnelradioanlegg har blitt definert som passiv infrastruktur i KVVU-arbeidet, må vi også se på hvordan en eventuell overdragelse av disse anleggene til en kommersiell operatør vil slå ut. Siden tunnelradioanleggene består av antennesystemer inne i selve tunnelene kan vi ikke se for oss at dette er mulig. Driftsansvar for anlegg med strålekabel eller antenner i tunnel, og med repeater-enheter plassert i nisjer eller tverrpassasjer, vil gi en uholdbar driftssituasjon hvis en kommersiell aktør skal ha ansvaret for dette. Togtrafikken tillater gjerne bare vedlikehold i hvite timer om natten eller i korte tidsluker på dagtid. Vedlikeholdspersonell må gjerne fraktes til repeaterlokasjoner med skinnegående transport, og hovedsikkerhetsvakt er som regel nødvendig å ha med under slike jobber. Det er vanskelig å tenke seg at det kan være hensiktsmessig eller forsvarlig å la dette styres av en kommersiell operatør, som gjerne bruker underentreprenører til sitt feltvedlikehold. Vi mener derfor at Bane NOR må ha eierskap og ansvar tunnelradioanlegg også i fremtiden..

Hvordan skal et eventuelt salg av Bane NOR sine lokasjoner praktisk gjennomføres? Å selge passiv infrastruktur i forbindelse med en avtaleinngåelse med en kommersiell aktør om radioaksess kunne være en mulig måte. Men en avtale om radioaksess bør, eller må ha en tidsbegrenset varighet. Det er ingen som kan se for seg en evigvarende avtale for kjøp av radioaksess tjenester. Derimot vil et salg av den passive infrastrukturen være en irreversibel prosess – dette kan ikke gjøres om. Når en eller flere kommersielle aktører eier lokasjonene som er nødvendige for å gi dekning langs jernbanenettet, er man i realiteten innelåst med den eller de aktørene det gjelder. Å bytte tilbyder kan i praksis bli vanskelig, fordi eier av lokasjonen fort kan finne grunner for å nekte en konkurrerende operatør innplassering. Dette er for øvrig tatt med som en uheldig konsekvens i vurderingene rundt innlåsing i (figur / tabell xx) ovenfor. Her har vi gitt karakteren «svært dårlig», på grunn av den vanskelige situasjonen dette vil medføre. Dersom målet er å få plass til samtlige tre operatører på lokasjoner som en av operatørene har overtatt fra Bane NOR, kan kostnader med å utvide kapasitet på passiv infrastruktur fort gjøre dette vanskelig, fordi den nye eieren kan motsette seg dette. Det at Bane NOR selv eier lokasjonen, vil etter vårt syn gjøre det lettere å få utvidet passiv infrastruktur slik at innplassering av tre operatører blir mulig. Dette er det som skal til for å oppnå fullgod dekning for de reisende.

Det kan likevel være muligheter for at Bane NOR kan selge enkeltlokasjoner som blir overflødige i sammenheng med at man har god nok dekning og kapasitet uten disse, for eksempel i en situasjon hvor FRMCS implementeres i et eller flere kommersielle nett. Dersom alternativet for en slik lokasjon er sanering, og lokasjonen ligger slik til at tilgang ikke byr på sikkerhetsmessige utfordringer, kan dette gjøres.

Vi mener likevel at dette vil være unntaket mere enn regelen, og at dette ikke vil være aktuelt for et større antall lokasjoner.

Samlet sett er det derfor mange argumenter som taler mot at Bane NOR sin passive infrastruktur kan selges. Vi mener at selv om dette kan gi vesentlige inntekter til Bane NOR, og dermed til Staten, er konsekvensene samlet sett uakseptable. Å selge alle lokasjonene lar seg rett og slett ikke gjennomføre av grunnene vi har nevnt. Å selge ut den andelen av lokasjonene som ikke har denne typen negative konsekvenser, kunne kanskje la seg gjennomføre. Men resultatet ville også her være det samme med hensyn på innlåsing. Man vil ende opp i en situasjon hvor en er i et uønsket avhengighetsforhold til en eller flere kommersielle aktører.

Med denne argumentasjonen som bakgrunn, mener vi dermed at eierskapskombinasjonene – konseptene – som medfører overdragelse av passiv infrastruktur til kommersielle aktører kan utelates fra mulighetsrommet. Dermed beslutter vi at konseptene 8, 9, 10 og 11 grovsiles bort, og utgår.

6.4.4 Vurderinger rundt eierskap - kjernenett sett i forhold til radioaksess

Kjernenettet i et 5G-nett ivaretar en rekke oppgaver. Disse er overordnet beskrevet i kapittel 6.3.1.4. Vi har også gjort noen betraktninger rundt kjernenett og radioaksessnett i kapittel 6.3.2.2. Et spørsmål som fort ble aktuelt da vi begynte å studere eierskapsmodeller på den binære måten vi har gjort, var om et radioaksessnett eid av en aktør kan kobles opp mot et kjernenett fra en annen aktør. Eksempelvis kan et kommersielt RAN kobles til og styres av et kjernenett eid av Bane NOR. Kan dette gjennomføres?

Dette er et forholdsvis komplisert spørsmål, som har mange tekniske sider. Vi har også drøftet dette spørsmålet i våre samtaler med operatørene. Svarene vi har fått på dette, spenner fra at slik deling av kjernenett i 5G er forholdsvis lite utprøvd teknologi, til at dette frarådes, siden deling gjør konfigurasjon og administrasjon av både kjernenett og radionett mere komplisert enn det er uten deling.

For 5G snakkes det i dag om nettkonfigurasjoner som kalles MOCN og MORAN. Dette er også en del av 3GPP-spesifikasjonene for 5G. Dette kan kort oppsummeres slik:

- MOCN står for Multi Operator Core Network. Dette innebærer at et radioaksessnett (RAN) kan benyttes av flere operatører – over de samme radiofrekvens-ressursene. Dette kan gjøres for at operatører skal kunne dele de relativt store kostnadene som det vil innebære å etablere landsdekkende radioaksessnett. Disse operatørene vil da ha hvert sitt eget kjernenett, men deler da radioaksess-nett med en eller flere andre operatører. De samme frekvensressursene brukes altså av alle involverte operatører.
- MORAN står for Multi Operator Radio Access Network. Dette er en litt annen variant, men som også innebærer at et radioaksessnett kan benyttes av flere operatører. Her vil radioaksessnettet ha felles fysiske ressurser som basestasjonsutstyr (gNodeB) og antenner, men hver operatør vil bruke sine egne frekvensressurser for selve radio-aksessen over lufta til brukerne. Dermed deler ikke operatørene på frekvensressursene radiogrensesnittet benytter, slik de gjør med MOCN.

Det som er tydelig ut fra beskrivelse av MOCN og MORAN, er at i begge tilfeller vil operatører som deler nett på en av disse måtene, ha sitt eget kjernenett. Det er, så langt vi kjenner til, ikke vanlig, og sannsynligvis heller ikke mulig at en operatør eier og opererer et radioaksessnett uten at operatøren også eier og opererer et eget kjernenett. MOCN er spesifisert i detalj av 3GPP. MORAN er pr august 2023 ikke like tydelig spesifisert i detalj av 3GPP

Det må imidlertid sies at et kjernenett består av flere ulike funksjoner, ref beskrivelsen i kapittel 6.3.1.4. Det er mulig å skille mellom ulike delfunksjoner i et kjernenett, og se for seg en deling av et kjernenett hvor noen funksjoner, eller entiteter, tilhører en aktør, mens en annen aktør har eierskap til resten av kjernenettet. Eksempelvis kan RAN-nære funksjoner i et kjernenett tilhøre aktøren som har selve radioaksessnettet, mens resten av kjernenettet tilhører en annen aktør. Dette vil skape grensesnitt mellom aktører inne i selve kjernenettet. Det er sannsynligvis mulig å gjennomføre dette rent teknisk, men samtidig vil dette være krevende å administrere gjennom avtaler om operasjon og drift (SLA-avtaler).

Ser vi på de praktiske sidene av å utforme og administrere en avtale mellom Bane NOR og en annen aktør, som enten omhandler et grensesnitt mellom partene i overgang mellom kjernenett og radioaksessnett, eller et grensesnitt et sted midt inne i kjernenettet, kan vi fort se for oss store utfordringer:

- Det vil være utfordrende å utforme en avtale som skal ivareta SLA-krav på en god nok måte.
- Det vil være utfordrende å følge opp en slik avtale ved løpende drift av nettet.
- Det vil være vanskelig å finne og rette feil dersom en feilsituasjon oppstår.

En sentral feil som stopper togdriften vil være svært kritisk, og vil måtte rettes raskt. Avtaler om SLA mellom Bane NOR og kommersielle aktører vil nødvendigvis måtte inneholde regler om økonomisk kompensasjon ved driftsstans. Ved slike feilsituasjoner vil det fort utvikle seg til en situasjon hvor en kommersiell aktør gjør det den kan for å slippe unna skyld og økonomiske krav. Det vil ikke alltid være tydelig hva som forårsaker feilen når samspillet mellom nett på begge sider av grensesnittet består av et stort antall parameterkonfigurasjoner på ulike nivåer. For eksempel kan feil gjerne skje ved systemoppgraderinger. Å ta høyde for alle tenkelige feilsituasjoner som kan oppstå i et grensesnitt mellom to aktører, er krevende. Vi tror at det tross alt er bedre om en og samme aktør har ansvar innenfor eget nett i så stor utstrekning som mulig. Dette vil minske sannsynlighet for feil, både generelt og som følge av at det eksisterer et grensesnitt som i seg selv kan være en årsak til feil. Videre vil det også være lettere om man slipper å administrere en avtale mellom to aktører

I lys av dette er det mye som taler for at det for 5G generelt, men også for FRMCS, ikke er særlig aktuelt at ulike aktører deler kjernenett. Vi mener derfor at det er best om en aktør med radioaksessnett også har eget kjernenett. Dette i lys av både tekniske forhold og i lys av avtalemessige forhold.

En aktør som skal operere et 5G-nett må ha et eget kjernenett, men har valget mellom å eie eget dedikert radioaksessnett, og å dele radioaksessnett med andre aktører som også har eget kjernenett. Dette kan igjen skje ved at aktøren disponerer egne radiofrekvenser, som benyttes gjennom via felles fysisk infrastruktur (dvs. MORAN) – eller ved at man får bruke frekvensressurser tilhørende en annen operatør (dvs. MOCN). I det sistnevnte tilfellet er aktøren en MVNO, en virtuell operatør (Mobile Virtual Network Operator).

Deling av radioaksessnett med MOCN kan under gitte forutsetninger være verdt å vurdere for den norske implementeringen av FRMCS. Ericsson har nylig annonsert at de foreslår MOCN som en god måte å implementere FRMCS på i Europa, dersom kommersielle nett skal benyttes i kombinasjon med jernbane-eide nett. Dette er et tema som bør belyses i forprosjektfasen av prosjektet.

Med argumentasjonen ovenfor som bakgrunn, mener vi dermed at eierskapskombinasjonene – konseptene – som innebærer nettkonfigurasjoner hvor et radioaksessnett eid av en aktør kobles til et kjernenett fra en annen aktør, anses som uaktuelt. Vi mener at selv om dette faktisk lar seg gjennomføre rent teknisk, vil det ikke være hensiktsmessig eller gjennomførbart i praksis på grunn av avtalemessige konsekvenser. Det kan etter vårt syn ikke anbefales eller ses på som formålstjenlig med et FRMCS-nett bygget opp på denne måten.

Dermed ønsker vi å utelate konseptene 2, 3 og 12 fra mulighetsrommet. Disse grovsiles bort.

6.4.5 Vurderinger rundt eierskap – MCx sett i forhold til resten av nettet

MCx er en nødvendig del av FRMCS-nettet, fordi de nødvendige og virksomhetskritiske applikasjonene og tjenestene ikke vil fungere i et 5G-nett uten MCx.

Det eksisterer i dag ingen tilbydere av MCx-tjenester i Norge. MCx-teknologien er en lite moden teknologi, og det finnes få tilbydere av både MCx-plattformer og MCx-tjenester i Europa pr 2023. Mobiloperatørene i Norge er avventende til dette, og sier foreløpig at de vil vurdere å tilby MCx-tjenester dersom det nasjonale markedet etterspør dette. Å gjøre et MCx-tjenestekjøp fra norske tilbydere forutsetter at operatørene har produkter eller tjenester å tilby. Det er mulig at Telenor, Telia og ICE fremtidig kan komme til å tilby MCx-tjenester, men dette skjer neppe dersom det ikke er et kundegrunnlag og et marked for dette i Norge. Det kan også være at det dukker opp andre aktører i det norske telekom-markedet som ønsker å tilby MCx-tjenester. Vi tar imidlertid for gitt at det ikke er særlig aktuelt for jernbanen å kjøpe MCx-tjenester fra en produksjonsplattform som er lokalisert utenfor Norges grenser. Her vil sannsynligvis sikkerhetsloven og

bestemmelser om samfunnskritiske funksjoner hindre en teknisk løsning med tjenesteproduksjon utenfor Norge, selv om dette er teknisk mulig.

Det nye nødnett er en betydelig potensiell kunde i et marked for kjøp av MCx-tjenester i Norge. Vi vet at Nødnett må etablere en MCx for å tilby de nødvendige tjenestene. I forbindelse med KVVU-arbeidet til Nødnett er det bestemt at MCx-systemet vil bli forvaltet av Nødnett selv, gjennom Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB). Dette har blitt bestemt i forbindelse med at Nødnettprosjektet har passert KS-1 -milepælen, og nå er over i forprosjektfasen. Det er tenkt at DSB skal være tjenesteleverandøren som leverer MCx-tjenester til sluttbrukerne. Imidlertid kan nok hele eller deler av den tekniske plattformen muligens leveres av systemleverandører, mobiloperatører eller andre tjenesteleverandører, men Nødnett ønsker å sitte med forvaltning av systemet selv.

Vi kjenner ikke den eksakte argumentasjonen som ligger til grunn for denne beslutningen. Det synes opplagt at operativ drift av de virksomhetskritiske tjenestene og applikasjonene for nødnettene ganske enkelt er for viktige til at drift- og forvaltningstjenesten kjøpes av en ekstern leverandør. Styring og konfigurering av disse tjenestene har som regel et svært operativt preg, og for å ha best kontroll med dette synes det best for Nødnett å styre konfigurering og oppsett selv. For eksempel er lukkede samtalegrupper for PTT for politiet viktige i politioperasjoner. Å raskt gjøre endringer i slike grupper ved en hendelse, er viktig. Samarbeid mellom nødnetter fordrer også rask respons når det gjelder oppsett av MCx-tjenester. Vi oppfatter det som om Nødnett-prosjektet på grunn av operative behov ser på det som bedre å håndtere MCx-systemansvaret selv, enn å la en kommersiell tilbyder gjøre dette.

I et 5G-nett med MCx koblet til kjernenettet, vil det være et tydelig grensesnitt mellom disse. Grensesnittet er definert med IMS (IP Multimedia subsystem), og gir et vel definert skille mellom MCx og kjernenett. Dette taler for at det teknisk sett er gjennomførbart å la MCx være forvaltet og driftet av en annen aktør enn den som opererer kjernenettet. Problematikken vi har beskrevet ovenfor med tanke på ulike aktører som har ansvar for RAN og kjernenett, hvor avtaleforhold og praktisk drift kan være problematisk, gjelder i mindre grad her. Vi kan gjerne si at MCx har en enklere tilknytning til kjernenettet, enn kjernenett og radionett har til hverandre. Et mere entydig definert grensesnitt mellom MCx og kjernenett tilsier at avtalemessige forhold og praktisk drift vil være lettere å håndtere med to forskjellige aktører.

Et annet moment som spiller inn er den mulige effekten av innelåsning man vil få for FRMCS med tjenestekjøp fra kommersielle aktører, dersom MCx-tjenester leveres av samme aktør som leverer radioaksess og kjernenett. Dersom en av de norske mobiloperatørene vinner kontrakt på leveranse av radioaksess og kjernenettstjenester (fordi mye taler for at disse bør leveres sammen), og samtidig skal levere MCx-tjenester, vil denne operatøren ha leveranseansvar for hele verdikjeden i nettet. Dette vil være en uheldig situasjon. Det vil bety at Bane NOR vil forholde seg til en aktør som kontrollerer nettet fra ende til ende. Dette må sies å gi en innelåsende effekt. Dersom man etter et gitt antall års drift ønsker å utlyse avtalene på nytt, er det ikke sikkert at det er nok konkurranse i markedet til at man får reell priskonkurranse, eller at man enkelt bytte til en ny leverandør. Å kjøpe MCx-tjenester fra en annen ekstern tilbyder enn den som tilbyr RAN og kjernenett vil være å foretrekke. Men det er usikkerhet om det vil være mange nok fremtidige tilbydere i Norge til at man har denne muligheten.

I lys av beslutningen om at Nødnett vil etablere sin egen MCx istedenfor å kjøpe dette i markedet, mener vi at det er god grunn til å si at det samme bør skje for jernbanen og FRMCS. Vi mener at det er gode grunner til å vurdere en felles MCx med Nødnett. Når det først etableres en statlig MCx i Norge for nødnettene, er det ganske opplagt muligheter for synergier og kostnadsbesparelser ved at denne MCx'en også brukes for jernbaneformål. Vi ser dette som et langt bedre alternativ enn at Bane NOR skal etablere en helt egen og separat MCx til eget bruk. En viss koordinering må til for å etablere en MCx for bruk av både nødnetter og togkommunikasjon. Vi mener imidlertid at i denne diskusjonen veier fordelene tyngre enn ulempene det vil medføre å etablere en felles MCx.

Med dette som bakgrunn ønsker vi å anbefale at MCx skal etableres i statlig regi, og at dette eventuelt gjøres sammen med Nødnett. Samtidig ønsker vi, med argumentasjonen om innelåsning og markedsituasjonen for MCx-tjenester, å utelate konsepter og kombinasjoner som inneholder kommersielt eid MCx. Dermed ønsker vi å grovsile ut konseptene som inneholder dette. Dette gjelder konseptene 6, 7, 14 16 og 18. Konseptene 10 og 11 er allerede grovsilt ut med bakgrunn i diskusjonen om eierskap til Bane NOR sin passive infrastruktur, jfr avsnitt 6.4.2.

6.5 Oppsummering - grovsiling av konsepter

Vi startet opp analysen av mulighetsrommet med i alt 68 mulige eierskapskombinasjoner. Vi valgte ut de kombinasjonene vi mente var aktuelle, og trakk deretter inn frekvensbruk som en ny dimensjon i mulighetsrommet. Dermed endte vi opp med 18 nye kombinasjoner, som vi omdøpte til konsepter.

Disse 18 konseptene gjennomgikk en grov evaluering med hensyn på 16 ulike vurderingskriterier. Denne kortfattede evalueringen ga ikke så mange svar som direkte tilsa diskvalifisering av enkeltkonsepter, men har likevel hjulpet oss med å se tydeligere forskjeller på konseptene. Dette vil kunne være til nytte videre i alternativanalysen. Verdt å merke seg er likevel at vi for konseptene som medførte salg av Bane NOR sin passive infrastruktur (konseptene 8, 9, 10 og 11) ga disse karakter «svært dårlig» med hensyn på innelåsende effekt. Her er det også andre forhold som tilsier at disse konseptene bør grovsiles ut, jfr kap 6.4.2.

Som en oppsummering av det vi har gjort i mulighetsstudien, og av hvordan vi ønsker å grovsile ut konsepter, kan vi stille opp en oversikt over konseptene, og begrunnelse for utsiling. Vi ønsker å ta med 4 til 6 konsepter inn i alternativanalysen. Det er god grunn til å beholde et godt innbyrdes spenn i disse, slik at vi gjør en analyse som favner hele spennet i mulighetsrommet.

Tabell 15 Oppsummering grovsiling

Konsept	Kombinasjon	Siles ut pga forhold knyttet til eierskap passiv infrastruktur	Siles ut pga forhold mellom RAN og kjernenett	Siles ut pga forhold som gjelder MCx	Siles ikke ut
1	1				x
2	9/13		x		
3	9/13		x		
4	15				x
5	15				x
6	16			x	
7	16			x	
8	31	x			
9	31	x			
10	32	x			
11	32	x			
12	37/39		x		
13	43/45				x
14	44/56			x	
15	58				x
16	64			x	
17	62				x
18	68			x	

Denne oppsummeringen viser at konseptene 8, 9, 10 og 11 ble silt ut som følge av uakseptable konsekvenser ved å selge ut Bane NOR sin passive infrastruktur, jfr avsnitt 6.4.2.

Konseptene 2, 3 og 12 forkastes som følge av uheldige konsekvenser av å gi ulike aktører ansvaret for henholdsvis radioaksess og kjernenett, jfr avsnitt 6.4.3.

Konseptene 6, 7, 14, 16 og 18 forkastes som følge av mulige uheldige konsekvenser som følge av manglende konkurranse i MCx-markedet, og det faktum at Nødnett skal etablere en egen statlig MCx, jfr avsnitt 6.4.4.

Dette betyr at vi til slutt står igjen med konseptene 1, 4, 5, 13, 15 og 17. Disse skal da bli drøftet og analysert grundigere i alternativanalysen i kapittel 7. De blir dermed til alternativene 1-6. Vi gjentar eller oppsummerer ikke disse her, men gjentar sammensetningen av disse 6 alternativene i neste kapittel.

7 Alternativanalyse

Med bakgrunn i de foregående dokumentene skal det utarbeides en alternativanalyse som skal inneholde nullalternativet og minst to alternative hovedkonsepter.

7.1 Beskrivelse av alternativer

Vi vil i de følgende underavsnittene beskrive nullalternativet og de 6 alternativene som har kommet gjennom grovsilingsprosessen i mulighetsstudien. Vi vil raskt oppsummere hvordan disse alternativene er bygd opp, og forklare hvordan alternativene skiller seg fra hverandre. Der det er nødvendig å ytterligere tydeliggjøre og spesifisere alternativene utover det som er sagt i mulighetsstudien, vil vi gjøre dette.

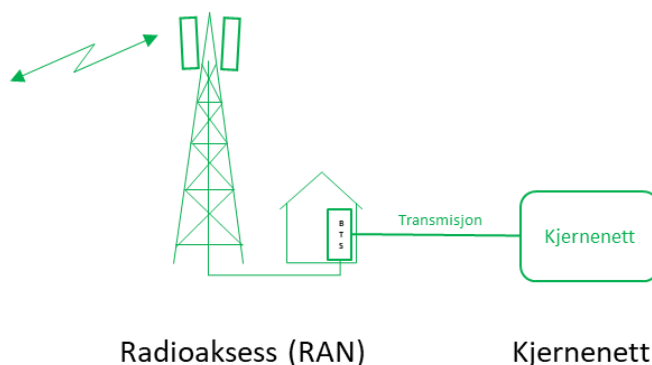
7.1.1 Nullalternativet

Nullalternativet er Bane NOR sitt GSM-R -nett slik det eksisterer i dag. Nullalternativet er det vi vil ha dersom vi velger å ikke gjøre noen tiltak, og dermed ikke bygge noe nytt FRMCS-nett.

Bane NOR sitt eksisterende nett er bygget på GSM-R -standarden, som er basert på 2G-teknologi. Nettet består av:

- Et radioaksessnett med rundt 650 lokasjoner.
- Frekvensspektrum utelukkende avsatt for jernbanebruk i 900 MHz -båndet benyttes. Dette frekvensbåndet har i dag en båndbredde på 4 MHz.
- Et kjernenett bestående av basestasjonskontrollere (BSC – Base Station Controller) og svitsjer (MSC – Mobile Switching Center).
- Nettet har ikke noen MCx. MCx er et begrep som har blitt introdusert med 5G. De spesielle og virksomhetskritiske tjenestene som trengs for jernbaneformål, produseres i kjernenettet.
- Lokasjoner og passiv infrastruktur eid av Bane NOR. På en del lokasjoner er GSM-R -utstyret innplassert på andre aktørers infrastruktur, eller på privateide rooftop-lokasjoner.
- Bane NOR benytter i tillegg stort sett transmisjon i eget landsdekkende transmisjonsnett for jernbanen, med fibersamband og en del tilknytning til lokasjonene ved hjelp av radiolinjer.

Nullalternativet er ikke et reelt alternativ for fremtidig realisering, fordi systemstøtte fra leverandørene for GSM-R kommer til å opphøre om få år. Norge vil bli pålagt å innføre FRMCS gjennom forskrifter og regelverk vi forplikter oss til å følge som konsekvens av jernbanesamarbeidet i Europa som vi er en del av.

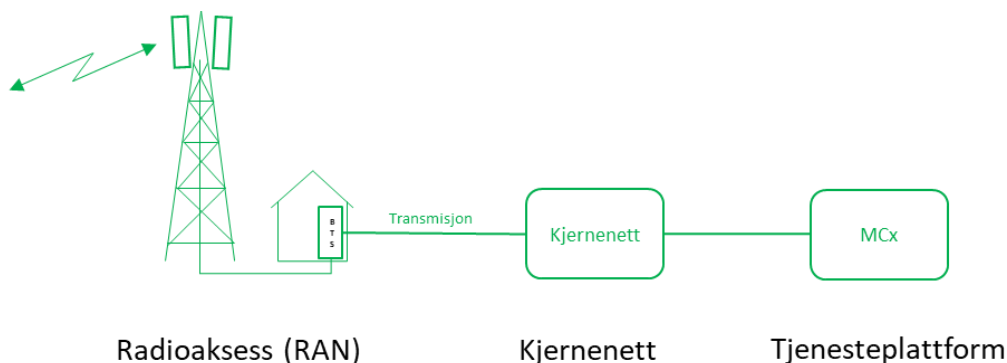


Figur 22 Nullalternativet

7.1.2 Alternativ 1

Alternativ 1 består av følgende:

- Radioaksessnett eid, operert og driftet av Bane NOR.
- Frekvensspektrum som benyttes er frekvensressurser avsatt for jernbaneformål - JB-frekvenser i 900 MHz-båndet og eventuelt også i 1900 MHz-båndet.
- Et kjernenett eid, operert og driftet av Bane NOR.
- MCx eid, operert og driftet av Bane NOR, eller i felles eierskap og samarbeid ned Nødnett.
- Passiv infrastruktur eies fortsatt av Bane NOR, der de gjør det i dag. Innplassering kan skje hos andre aktører slik det gjøres også i dag.
- Transmisjon ses på som lite relevant for vurderingen av alternativet. Transmisjon vil sannsynligvis måtte basere seg på Bane NOR sitt transmisjonsnett, men kan også leveres av andre aktører.



Figur 23 Alternativ 1

Technogarden har på forespørsel fra Bane NOR kartlagt omfanget av antallet basestasjoner som må til for å oppnå full dekning med FRMCS. Det er utarbeidet en prediksjonsmodell som genererer maksimale celleradier for lavbånd og midtbånd, basert på "maximum allowed path loss". Prediksjonsmodellen beskriver 3 ulike scenarier for henholdsvis FRMCS med 900 mhz bånd og 1900 mhz bånd. For 900 båndet vil scenario 1 ikke kreve nye basestasjoner, men for scenarier 2 vil det kreve "en håndfull" nye basestasjoner for å oppnå landsdekkende 900 mhz. For 1900 båndet vil scenario 1 kreve 25 nye basestasjoner, mens scenario 2 vil kreve 67 nye for å oppnå landsdekkende 1900 mhz.

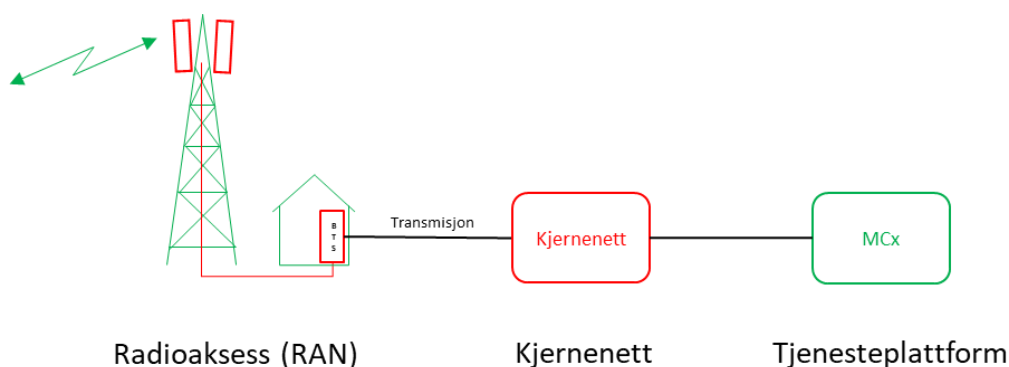
Det er kommentert at utregningene for scenario 3 er for strenge da den vil kreve flere hundre nye basestasjoner.

For kalkylen og prissatte konsekvenser i denne KVUen er det lagt til grunn scenario 2. for 1900 har antallet nye basestasjoner blitt hevet til 80 som en usikkerhetsavsetning.

7.1.3 Alternativ 2

Alternativ 2 består av følgende:

- Radioaksessnett eid, operert og driftet en kommersiell aktør/ operatør. Dette gjennomføres som et tjenestekjøp over en tidsbegrenset periode, i nett eid av den kommersielle operatøren.
- Frekvensspektrum som benyttes er frekvensressurser avsatt for jernbaneformål – det vil si JB-frekvenser i 900 MHz-båndet og eventuelt også i 1900 MHz-båndet. Med radioaksessnett eid av en kommersiell aktør, vil dette si at basestasjonsutstyret på hver lokasjon må bygges om til å støtte disse frekvensene. Dette innebærer ekstra radiomoduler i gNode-B og antennekonfigurasjon som støtter disse frekvensene.
- Et kjernenett eid, operert og driftet av den samme kommersielle aktøren/ operatøren som tilbyr radioaksessnettet.
- MCx eid, operert og driftet av Bane NOR, eller i felles eierskap og samarbeid ned Nødnett.
- Passiv infrastruktur eies fortsatt av Bane NOR, der de gjør det i dag. Innplassering kan skje hos andre aktører slik det gjøres også i dag.
- Transmisjon ses på som lite relevant for vurderingen av alternativet. Transmisjon vil sannsynligvis måtte basere seg på Bane NOR sitt transmisjonsnett, men kan også leveres av andre aktører.



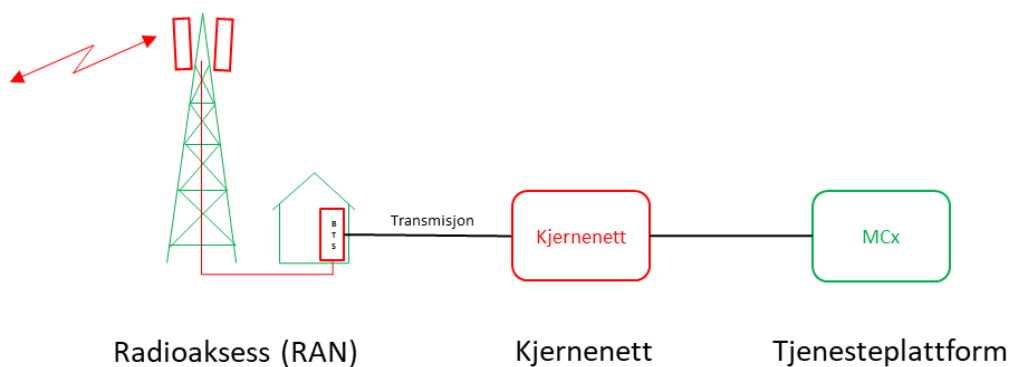
Figur 24 Alternativ 2

(kombinasjon 15, konsept 4)

7.1.4 Alternativ 3

Alternativ 3 består av følgende:

- Radioaksessnett eid, operert og driftet en kommersiell aktør/ operatør. Dette gjennomføres som et tjenestekjøp over en tidsbegrenset periode, i nett eid av den kommersielle operatøren.
- Frekvensspektrum som benyttes er kommersielt tildelte frekvensressurser som den kommersielle operatøren allerede disponerer. Dette innebærer at FRMCS realiseres kun med kommersielle frekvenser, eller MNO-frekvenser som dette ofte kalles i FRMCS-sammenheng. Vi går foreløpig ikke så langt at vi spesifiserer eksakt hvilke frekvensbånd som skal legges til grunn for radiodekning og kapasitet i alternativet.
- Et kjernenett eid, operert og driftet av den samme kommersielle aktøren/ operatøren som tilbyr radioaksessnettet.
- MCx eid, operert og driftet av Bane NOR, eller i felles eierskap og samarbeid ned Nødnett.
- Passiv infrastruktur eies fortsatt av Bane NOR, der de gjør det i dag. Innplassering kan skje hos andre aktører slik det gjøres også i dag.
- Transmisjon ses på som lite relevant for vurderingen av alternativet. Transmisjon vil sannsynligvis måtte basere seg på Bane NOR sitt transmisjonsnett, men kan også leveres av andre aktører.

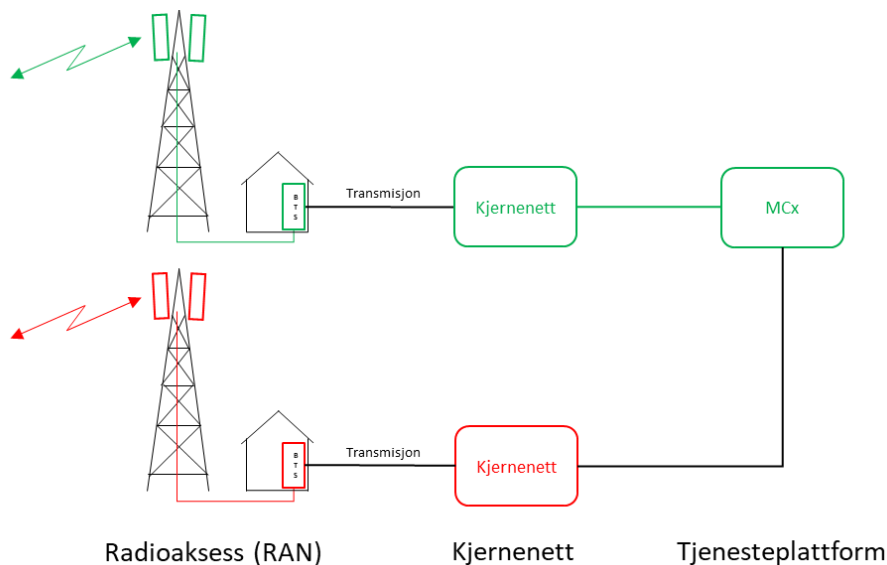


Figur 25 Alternativ 3

(kombinasjon 15, konsept 5)

7.1.5 Alternativ 4

Alternativ 4 er et «hybrid» alternativ som består av to nett - ett Bane NOR -nett og ett kommersielt nett.



Figur 26 Alternativ 4

(kombinasjon 58, konsept 15)

Disse utgjør til sammen FRMCS-nettet. Hvert av de to nettene består av følgende:

Bane NOR-nett:

- Radioaksessnett eid, operert og driftet av Bane NOR.
- Frekvensspektrum som benyttes er frekvensressurser avsatt for jernbaneformål – JB-frekvenser i 900 MHz-båndet.
- Et kjernenett eid, operert og driftet av Bane NOR.
- Passiv infrastruktur eies fortsatt av Bane NOR, der de gjør det i dag. Innplassering kan skje hos andre aktører slik det gjøres også i dag.

Kommersielt nett:

- Radioaksessnett eid, operert og driftet en kommersiell operatør. Dette gjennomføres som et tjenestekjøp over en tidsbegrenset periode, i nett eid av den kommersielle operatøren.
- Frekvensspektrum som benyttes er kommersielt tildelte frekvensressurser som den kommersielle operatøren allerede disponerer. Dette innebærer at FRMCS realiseres med MNO-frekvenser i denne delen av nettet.
- Et kjernenett eid, operert og driftet av den samme kommersielle aktøren/ operatøren som tilbyr radioaksessnettet.
- Passiv infrastruktur i det kommersielle nettet tilhører operatøren som eier nettet. Innplassering av operatøren kan likevel skje hos andre aktører.

I tillegg:

- MCx er eid, operert og driftet av Bane NOR, eller i felles eierskap og samarbeid ned Nødnett.
- Transmisjon ses på som lite relevant for vurderingen av alternativet. Transmisjon vil sannsynligvis måtte basere seg på Bane NOR sitt transmisjonsnett, men kan også leveres av andre aktører.

Denne måten å la to nett virke sammen på kan gjøres på flere måter.

Vi velger å legge til grunn følgende: alternativet innebærer et landsdekkende Bane NOR -nett slik vi i dag har det, med lokasjonstetthet basert på 900 MHz. I tillegg vil radioaksess også skje i en kommersiell aktør sitt nett. Den kapasitet dette nettet vil gi, kan ses på som et supplement til kapasiteten i Bane NOR-nettet.

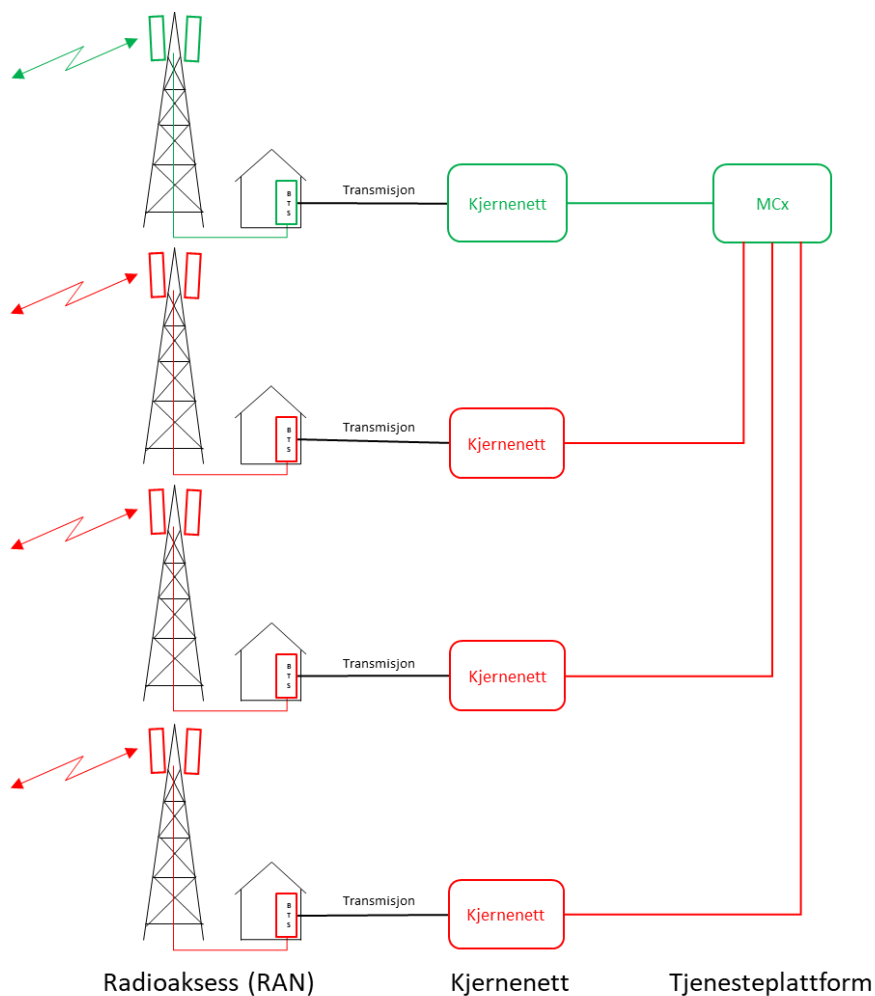
Vi legger til grunn at den dekningen som det kommersielle nettet representerer, er den dekningen som er der i dag. Dette vil altså si at det ikke legges opp til at det skal bygges ut ekstra dekning ut over den som allerede eksisterer. Kostnadsestimatene vi gjør vil dermed ikke inneholde noen kostnad for utbygging av det kommersielle nettet.

Argumentasjonen for å gjøre det slik, er at det er et relativt stort gap mellom hvor stor del av jernbanenettet en vilkårlig norsk operatør dekker i dag, og det som må til for å gi full dekning for den samme operatøren. Det kan kanskje dreie seg om et antall lokasjoner i nærheten av 200, men tallet varierer med hvilken operatør man vurderer. Å legge til grunn kostnaden dette ville medføre, er tross alt mulig, men kanskje ikke helt realistisk med tanke på gjennomføring. Spesielt er det å bygge dekning i tunnelene for denne ene operatøren svært kostnadskrevenende.

Siden dekning og kapasitet fra denne ene kommersielle operatøren er et supplement til dekning og kapasitet i Bane NOR -nettet, er man ikke avhengig av å ha dette nettet til stede overalt. Det vil være bruk for kapasiteten steder der flere ikke-kritiske tjenester er i bruk, men den oppdragskritiske trafikken vil klare seg fint med kapasiteten 900 MHz i JB-båndet kan tilby. Vi ser det derfor som en forenkling å utforme alternativet slik, og dette vil også gjøre alternativet rimeligere. Den oppdragskritiske trafikken vil kunne fungere godt også på steder der det kun er Bane NOR -dekning.

7.1.6 Alternativ 5

Alternativ 5 er også et «hybrid» alternativ som består av to nett - ett Bane NOR -nett og tre kommersielle nett, det vil si alle de tre norske mobiloperatørene samtidig.



Figur 27 Alternativ 5

(kombinasjon 62, konsept 17)

Disse utgjør til sammen FRMCS-nettet.

Bane NOR-nettet består av følgende:

- Radioaksessnett eid, operert og driftet av Bane NOR.
- Frekvensspektrum som benyttes er frekvensressurser avsatt for jernbaneformål – JB-frekvenser i 900 MHz-båndet.
- Et kjernenett eid, operert og driftet av Bane NOR.
- Passiv infrastruktur eies fortsatt av Bane NOR, der de gjør det i dag. Innplassering kan skje hos andre aktører slik det gjøres også i dag.

Kommersielle nett:

- Tre parallelle radioaksessnett eid, operert og driftet av de tre norske operatørene ICE, Telenor og Telia. Dette gjennomføres som et tjenestekjøp over en tidsbegrenset periode, i nett eid av den kommersielle operatøren.

- Frekvensspektrum som benyttes er kommersielt tildelte frekvensressurser som hver av de kommersielle operatørene allerede disponerer. Dette innebærer at FRMCS realiseres med MNO-frekvenser i denne delen av nettet.
- Tre kjernenett tilhørende de tre respektive operatørene. Kjernenett eies, opereres og driftes av de samme kommersielle operatørene som tilbyr hvert av radioaksessnettene.
- Passiv infrastruktur i kommersielle nett tilhører operatøren som eier nettet. Innplassering av operatøren kan likevel skje hos andre aktører.

I tillegg:

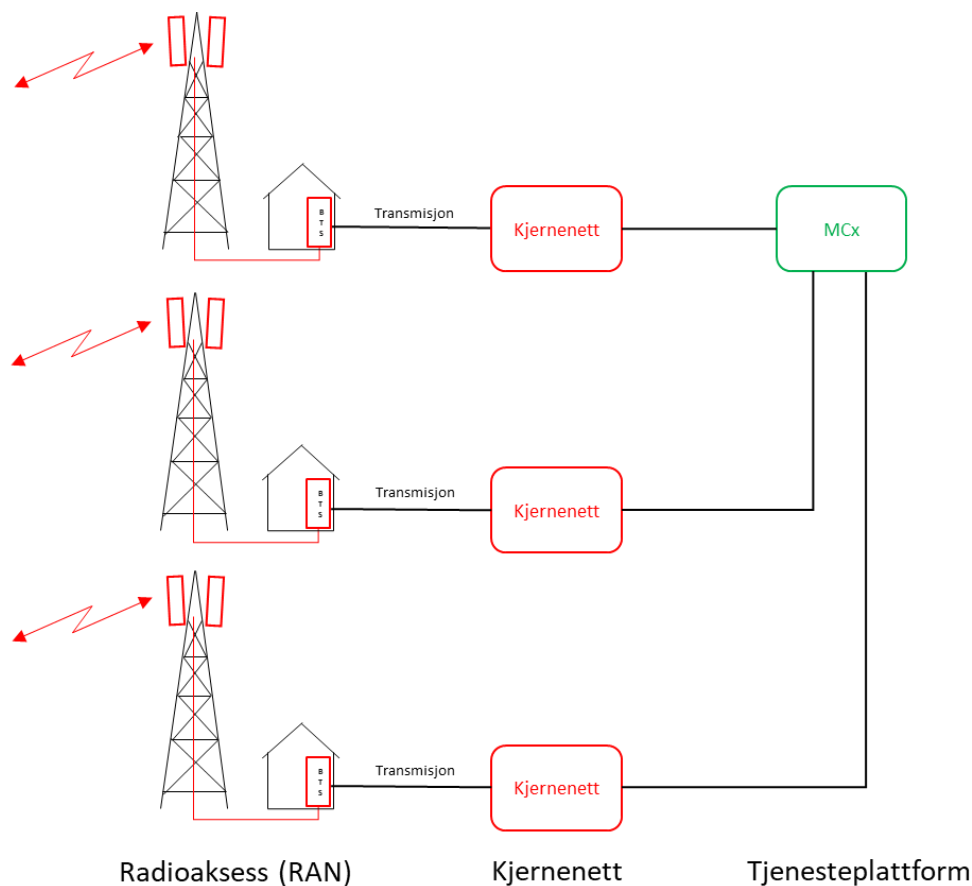
- MCx er eid, operert og driftet av Bane NOR, eller i felles eierskap og samarbeid ned Nødnett.
- Transmisjon ses på som lite relevant for vurderingen av alternativet. Transmisjon vil sannsynligvis måtte basere seg på Bane NOR sitt fibertransmisjonsnett, men kan også leveres av andre aktører.

Dette alternativet ser vi for oss implementert med en geografisk deling mellom de to delene; et Bane NOR-nett i en geografisk del av jernbanenettet, og tre kommersielle nett i den resterende delen. Alternativet ligner svært mye på alternativ 6, men her er altså en geografisk del realisert med et Bane NOR -nett som benytter JB-frekvenser. Vi kan se for oss at de mest sentrale strøkene av landet, som også har den best utbygde mobildekningen for alle tre operatører, representerer den kommersielle delen av alternativet. Denne delen har også sammenfallende scope og behov med prosjektet bedre nettdekning sine behov. Dette vil gi en synergieffekt. Er bedre nettdekning allerede utbygd, kommer FRMCS til «dekket bord». Vi definerer imidlertid alternativet slik at den dekningen som kommer fra de tre kommersielle aktørene, er den som allerede er utbygd. Alternativet forutsetter derfor ikke finansiering av noen ny utbygging for å skape kommersiell dekning med tre operatører der disse ikke allerede finnes. Vi gjør dette valget for å skape et visst spenn i alternativene. Det vil også være vanskelig å vite hvor man skal legge listen med tanke på hvor stor prosentvis andel av jernbanenettet man skal bygge ut for å dekke med tre operatører – sett i forhold til det som dekkes i dag.

Med tre nett samtidig er det også mindre behov for å «herde» de tre kommersielle nettene med batteriinstallasjoner og redundant transmisjon.

7.1.7 Alternativ 6

Alternativ 6 er et hel-kommersielt alternativ med tre parallelle nett, det vil si alle de tre norske mobiloperatørene samtidig.



Figur 28 Alternativ 6

(kombinasjon 55, konsept 13)

Alternativ 6 består av følgende:

- Tre parallelle radioaksessnett eid, operert og driftet av de tre norske operatørene ICE, Telenor og Telia. Dette gjennomføres som et tjenestekjøp over en tidsbegrenset periode, i nett eid av den kommersielle operatøren.
- Frekvensspektrum som benyttes er kommersielt tildelte frekvensressurser som hver av de kommersielle operatørene allerede disponerer. Dette innebærer at FRMCS realiseres kun med MNO-frekvenser.
- Tre kjernenett tilhørende de tre respektive operatørene. Kjernenett eies, opereres og driftes av de samme kommersielle operatørene som tilbyr hvert av radioaksessnettene.
- Passiv infrastruktur i kommersielle nett tilhører operatøren som eier nettet. Innplassering av operatøren kan likevel skje hos andre aktører.
- MCx er eid, operert og driftet av Bane NOR, eller i felles eierskap og samarbeid ned Nødnett.
- Transmisjon ses på som lite relevant for vurderingen av alternativet. Alle de tre operatørene må ha egen transmisjonslinje, som aktørene står fritt til å realisere slik de selv finner det hensiktsmessig. Transmisjon kan fortsatt benytte Bane NOR sitt transmisjonsnett, men kan også leveres av operatøren selv eller av andre aktører.

Vi legger til grunn at alle disse tre nettene er til stede parallelt og samtidig i hele jernbanenettet. Dette forutsetter utbygging av nye lokasjoner – det er store deler av jernbanenettet hvor hver enkelt av disse tre operatørene mangler dekning i dag. Ikke minst gjelder dette tunneler, hvor det i dag er svært mange jernbanetunneler som ikke har kommersiell dekning i det hele tatt.

Alternativ 6 er bygget opp på samme måte som den kommersielle delen av alternativ 5. Her forutsettes imidlertid at de tre norske operatørene er til stede i hele det norske jernbanenettet.

Alternativ 6 har også sammenfallende scope og behov med prosjektet bedre nettdækning sine behov. Dette vil gi en synergieffekt. Er bedre nettdækning allerede utbygd, kommer FRMCS til «dekket bord». Realiseres bedre nettdækning først, er det FRMCS som nyter godt av dette. Nødnett vil også ha stor grad av synergieffekt med alternativet, fordi det er bestemt at Nødnett skal realiseres med ett eller flere av de kommersielle norske mobilnettene

Med tre nett samtidig er det også mindre behov for å «herde» de tre kommersielle nettene med batteri-installasjoner og redundant transmisjon.

Alternativ 6 er også i stor grad lik måten det skal etableres togkommunikasjon i kommersielle nett på i Finland. Her har man bestemt at trafikken skal fordele seg på tre kommersielle nett *samtidig*.

Med dekning fra tre operatører finnes det mulighet for å la den oppdragskritiske trafikken følge tre parallelle veier mellom tog og sentral del av nettet. Dette er tenkt utført ved å duplisere datapakkene som skal sendes, og deretter splitte trafikken slik at det går tre identiske strømmer i hvert av de tre mobilnettene. Dette kalles multipath. Den første datapakken som kommer frem, vil bli benyttet. Duplikatene som ankommer senere, blir ganske enkelt forkastet. Dette gir en interessant form for trippel redundans, som gjør overføringen sikrere. Dette gjør også at det er mindre grunn til å herde hvert av de tre nettene med batteribanker og redundant transmisjon. Dersom ett av de finske nettene går helt ned, er det fortsatt to andre nett som er i funksjon. I Finland er det svært god dekning i hele landet fra de tre kommersielle operatørene, slik at det er relativt beskjedne kostnader som skal til for å implementere dette.

I Norge er det mange steder manglende dekning fra de tre norske operatørene, slik at implementering av den «finske» løsningen først blir mulig om man investerer forholdsvis mye i å bygge ut i stor skala for disse. Spesielt vil det å bygge dekning for tre operatører i samtlige norske tunneler som ikke har kommersiell dekning i dag, svært kostnadskreven.

Den finske løsningen er svært kreativ og interessant. Blant annet fordi finnene har klart å realisere radioaksess i så å si hele jernbanenettet sitt uten å bygge nye lokasjoner. Dette gjør systemet rimelig og kostnadseffektivt. Det trengs et større antall lokasjoner fra de norske operatørene for å oppnå det samme, men konseptet er svært interessant. Det er sterkt å anbefale at vi i Norge følger med på hvordan prosjektet i Finland forløper frem til åpning av radionett og ATO i 2027.

7.2 Migrasjon

Migrasjon fra GSM-R til FRMCS – overgangsfasen til det nye systemet - er en viktig del av prosjektet. Vi har allerede så vidt vært innom dette i kapittel 6.3.1.6. Migrasjonsstrategi har blitt diskutert mye i KVVU-arbeidet, og diskuteres også i stort omfang i ulike land og ulike fora i Europa.

For at man skal oppnå drift og operasjon med FRMCS, og deretter slukke og fase ut GSM-R, må man gjennom en overgangsfase. Det vi vet, er at det må bygges ut fast FRMCS-infrastruktur i form av radioaksessnett, kjernenett og MCx. Videre vet vi at tog må bygges om til å få den nye TOBA-utrustningen om bord. Begge disse ombyggingene vil være tidkrevende.

Det tar tid å bygge ut radioaksess langs jernbanenettet. Det er radioaksessnettet som det er mest tidkrevende og kostbart å bygge ut, og det er ikke urealistisk at dette vil ta to år eller mere. De 6 ulike alternativene vi har drøftet i alternativanalysen har ulike egenskaper med tanke på migrasjonsfasen. Noen er lettere å realisere enn andre, og kostnad- og tidsbildet for utbygging varierer. Frekvensbruk spiller som vi har sett en rolle for strategi for noen av alternativene.

Ombygging av tog er også omfattende. Alle tog som skal bygges om, må tas ut av drift, og må bygges om ved et av hovedverkstedene i Norge. Hvor lenge hvert tog må tas ut av ordinær drift, vet vi ikke. Men erfaringene fra ombygging av norske togsett til ERTMS/ ETCS, har vist at dette er både tidkrevende og kostbart. Logistikkmessig er ombygging av tog krevende, fordi dette må tilpasses togenes ruteplaner, og det bare er et begrenset antall togsett som kan tas ut av drift av gangen. Verkstedkapasitet er også en flaskehals.

Når man skal vurdere strategi for den samlede utbygging og ombygging som må skje for at FRMCS skal komme i drift, er det flere muligheter. Vi kan grovt se for oss 3 ulike scenarier for byggeperioden:

- A. Nettverksinfrastruktur langs jernbanenettet bygges ut først. Deretter bygges togene om.
- B. Togene bygges om først. Deretter bygges nettverksinfrastrukturen langs jernbanenettet.
- C. Utbygging av nettverksinfrastruktur og ombygging av tog skjer parallelt og samtidig.

Hvordan vil disse strategiene slå ut i praksis?

- Vi vet at tog som ikke er ombygd, ikke kan kjøre på linjer som kun har FRMCS.
- Vi vet også at tog som er ombygd, men kun til FRMCS, ikke kan kjøre på linjer som fremdeles kun har GSM-R.

Dette vil si at vi får en mer fleksibel situasjon – eller kompatibilitet mellom tog og infrastruktur – dersom:

- Tog bygges om til å kunne bruke både GSM-R og FRMCS. Med støtte for begge systemer om bord, vil togene kunne kjøre på både linjer som er bygget om til FRMCS, og til linjer som fortsatt bare har GSM-R.
- Nettverksinfrastruktur bygges ut slik at FRMCS eksisterer parallelt med eksisterende GSM-R-nett. Med støtte for begge systemer i infrastrukturen, kan både tog som er bygget om til FRMCS, og tog som fortsatt kun har GSM-R kunne kjøre på samme togstrekning.

Det kan dermed synes som det letteste vil være å gjøre begge disse tiltakene samtidig, for å få til en så smidig migrasjon som mulig.

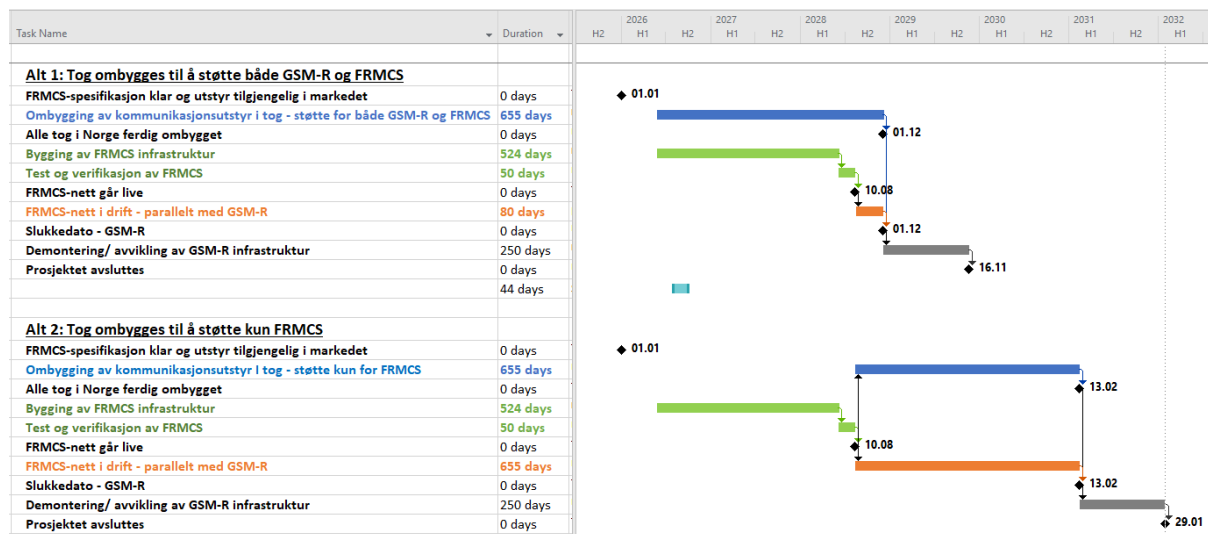
Det vil etter alt å dømme bli mulig å bygge om tog til å støtte både GSM-R og FRMCS samtidig, ved at det installeres TOBA-utrustning som har radiomoduler for både GSM-R og FRMCS. Gitt at dette lar seg gjøre, kan togene kjøre en strekning mens de veksler på å benytte GSM-R og FRMCS. Da blir det ikke begrensninger i hvor et ombygd tog kan brukes. Ved å bygge om til kun FRMCS, vil ikke toget kunne kjøre en strekning som fortsatt har kun GSM-R.

Tilsvarende kan man oppnå en enklere situasjon langs linjenettet ved å bygge ut nettverksinfrastruktur for FRMCS parallelt med eksisterende GSM-R. Dersom begge systemer er i drift parallelt på en strekning, kan både tog som er ombygd, og tog som ikke er det, trafikkere strekningen fritt og uten begrensninger. Ved å ikke gjøre dette, vil man ekskludere tog som ikke er ombygget fra strekningen. Tog som er ombygd, vil kunne kjøre der.

Med andre ord ser vi at om tog bygges om til å støtte begge systemer, og om infrastruktur også kan bestå av begge systemer samtidig, så vil man samtidig kunne både bygge om både tog og infrastruktur. Dermed ser vi at alternativ C ovenfor er mulig å gjennomføre. Dette vil ha en stor fordel, ved at hele migrasjonsperioden kan bli kortere fordi ombygging av tog og utbygging av infrastruktur kan skje parallelt. Alternativene A og B, vil begge ha den ulempen at migrasjonen tar mye lengre tid dersom man først må bygge om den ene delen, (eksempelvis tog) og så den andre (eksempelvis infrastruktur).

For å tydeliggjøre det vi ser, velger vi å bruke et eksempel til å vise forskjellen dette grafisk i form av en grafisk fremdriftsplan. Her har vi stilt opp to alternative måter å bygge om på. Den ene, alternativ 1, innebærer ombygging til ombordutrustning som støtter begge systemer. Den andre, alternativ 2, gjør det

ikke. Her vil en ombygging til ombordutrustning som ikke støtter GSM-R, kun FRMCS, gi uheldige konsekvenser for fremdriftsplanen:



Figur 29 Eksempler på fremdriftsplan for ombygging og migrasjon

Aktivitetene ombygging av tog og bygging av FRMCS infrastruktur har samme varighet i begge eksempler. Vi ser at total tid prosjektet vil ta å gjennomføre vil slå svært ulikt ut i de to tilfellene.

Alternativ 1 innebærer at tog og infrastruktur bygges samtidig. Disse starter på samme tidspunkt. I eksempelet løper disse parallelt. Tog kan kjøre fritt på både ombygde og ikke-ombygde strekninger. Når bygging av infrastruktur er ferdig og nettet er i stabil drift, og ombygging av tog er fullført, er GSM-R overflødig. Da kan GSM-R slukkes, og demontering og fjerning kan påbegynnes. Prosjektets varighet kortes ned fordi bygging skjer mest mulig samtidig.

Alternativ 2 har ikke denne muligheten. Siden tog ikke får støtte for GSM-R og FRMCS samtidig, må oppstart for ombygging av tog vente til hele infrastrukturen har fått FRMCS. GSM-R må eksistere langs linjenettet helt til togene er ferdig ombygde. Da kan GSM-R fjernes og avhendes.

Vi ser av dette enkle eksempelet at en sekvensiell utbyggingsrekkefølge forlenger prosjektet betydelig. En samtidig ombygging av tog og infrastruktur vil være å foretrekke, fordi:

- Prosjektets varighet forkortes. Dette gir kostnadsbesparelser.
- Det er kostbart å holde to nett – GSM-R og FRMCS i drift samtidig. Akkumulerte kostnader til drift, vedlikehold og kraftforsyning øker proporsjonalt med parallellperiodens varighet.
- En forlenget fase med to nett vil være problematisk med hensyn på levetiden for GSM-R. Det kan bli krevende og kostbart å holde GSM-R i drift lenger enn det som er strengt nødvendig. Dette har vi vært innom innledningsvis i rapporten.

Vi ser at dermed at det vil være fordelaktig å bygge tog og infrastruktur samtidig. Forutsetningen for dette er som sagt at tog kan bygges om til å støtte begge systemer. Nye GSM-R radiomoduler installert i TOBA-enheten i tog må riktignok skrotes når migrasjonen er over. Men denne kostnaden vil sannsynligvis kunne rettferdiggjøres av en mye større gevinst som følge av at migrasjonsperioden forkortes.

Vi ser også at det kan være andre forhold og faktorer som kan forstyrre dette bildet, og «idealsituasjonen» som vi nettopp har skissert. Årsaker som kan gjøre dette uheldig, utfordrende eller umulig kan være:

- Tilgang til utstyr i markedet – både for togutrustning og infrastruktur. For eksempel tilgang på GSM-R radiomoduler for TOBA.
- Prismessige forhold i markedet
- Finansieringsmessige forhold – prosjektoppstart krever sikker finansiering av alt som skal bygges.
- Ombygging av tog for ERTMS/ ETCS bør være fullført før FRMCS-ombygging starter. En innblanding i planene for ETCS-ombygging kan potensielt være utfordrende, og gjøre ombyggingen unødig kronglete. Dette har også med kontraktsmessige forhold å gjøre – dette vil være to ulike kontrakter.
- Dersom ATO skal innføres i Norge, og det tror vi vil skje på et tidspunkt, vil togene også måtte bygges om for dette. For å unngå enda en ombygging av tog – den tredje – så vil det være hensiktsmessig å bygge om togene også for ATO når de uansett skal ombygges for FRMCS. Vi vet riktignok ikke mye om hva ATO-ombygging konkret medfører, men at en ombygging av tog for dette vil være kostnadskreven, er sannsynlig. Dersom ATO skal innføres i Norge i løpet av de neste 10 årene, bør det tilstrebes at tog bygges om for dette når FRMCS skal implementeres i tog.

Vi kan oppsummere avsnittet med at det er å anbefale at infrastruktur bygges ut samtidig med at tog bygges om. Dette vil forkorte prosjektperioden og migrasjonsfasen. Det forutsetter imidlertid at tog kan bygges om til å støtte både GSM-R og FRMCS.

Tog som skal bygges om for FRMCS bør bygges om for ATO samtidig. Mulighetene for dette bør utredes grundig, slik at man slipper å gjennomføre en egen ATO-ombygging av tog som skal ha dette.

7.3 Kostnader

Beskrivelse kostnader for hovedelementer.

7.3.1 Utstyr og tjenester som kostnadsberegnes

Kostnadsestimatene som ligger til grunn er basert på overordnede kategorier og er inndelt i Identifiserte virkninger

- Engangseffekter (investering)
- Løpende effekter (drift og vedlikehold)

Passiv infrastruktur

- Hva inneholder punktet:

Etablering av hytte, mast, strømforsyning (primær), redundant strømforsyning (sekundær) og adgangskontroll for basestasjoner som dekker sportrasé.

- Metode:

Hentet kostnadsestimat fra kostnadsmodell i forprosjektet for «Bedre nettdekning langs jernbanen». Det er plukket ut kostnadskomponentene i modellen som gjelder for GSM-R.

- Forutsetninger:

FRMCS basestasjoner har omtrent tilsvarende behov for plass og strøm som GSM-R.

Tunnellradioanlegg

- Hva inneholder punktet:

Fullstendig utskiftning av alt utstyr knyttet til repeateranlegg i tunnel. Dagens utstyr, også det som det nå blir fornyet til, støtter ikke hele frekvensbehovet til FRMCS.

- Hva inneholder ikke punktet:

Donorsite, dvs. basestasjon og passiv infrastruktur basestasjonen står i, som repeater anlegget repeterer inn i tunnelen.

- Metode:

Identifisert mengde og type installasjoner ut fra dokumentasjon av alle anlegg på Sørlandsbanen og Bergensbanen, samt hvor mange aktive elementer for GSM-R som overvåkes. Hentet ut kostnadsestimat fra kostnadsmodell for forprosjekt «Bedre nettdekning langs jernbanen» for alle elementer som er identifisert unntatt montasje.

Montasjekostnad er tilbudspris fra entreprenør til pågående fornyelse av anleggene på Sørlandsbanen. Dette tilbudet tar høyde for at det er ulik kostand knyttet til fornyelse avhengig av type passiv infrastruktur anlegget er montert på. Montasjekostnadene er gitt med 2023 kroner og er derfor justert med indeks for tjenester hvor arbeidskraft dominerer (3,6%).

- Forutsetninger:

Repeater anlegg for FRMCS kan løses med å kopiere løsningen for GSM-R, dette også for alternativer med bruk av frekvenser for kommersiell mobil.

Transmisjon

- Hva inneholder punktet:

Kostnader for transmisjon til nye basestasjoner.

- Hva inneholder ikke punktet:

Endring av allerede eksisterende transmisjonsnettverk.

- Metode:

Kostnader for transmisjon er estimert på erfaringstall. Det er beregnet bruk av radiolinje som vil gi lik kostnad uavhengig av avstand til neste punkt. Radiolinje vil også gi tilstrekkelig kapasitet og det vil derfor ikke bli benyttet fiber så sant det ikke vil bli en billigere løsning.

- Forutsetninger:

Ingen endring av tjenestekrav i forhold til tjenestene som i dag kan produseres gjennom GSM-R. Tjenestene er begrenset til tale, data for ERTMS og data for ATO tilsvarende som for ERTMS, samt datatrafikk uten prioritet i nettverket.

Kjernenett

- Hva inneholder punktet:

Maskinvare og programvare for å bygge opp kjernenett for 5G mobilteknologi.

- Metode:

Bygger på ett gjennomsnitt av erfaringstall for tilsvarende i GSM-R

- Forutsetninger:

Maskinvare for kjerne kan plasseres i eksisterende datasentre Bane NOR har tilgjengelig.

MCx

Kostnad for MCx tar for seg programmering, spesifikasjon og leveranse av programvare. Dette inkluderer og servere. Kostnaden inkluderer og utviklingskostnader

Ombordutrustning i tog og håndholdt

- Hva inneholder punktet:

Installasjon av FRMCS ombordutrustning, eventuell ombygging av ERTMS ombordutrustning samt terminal for taletjenester for lokførere.

- Hva inneholder *ikke* punktet:

Håndholdte terminaler (mindre enn 5% av kostnaden for ombordutrustning)

- Metode:

Bygger på tall fra den pågående ombyggingen i forbindelse med ERTMS. Det understrekes at kostnaden for FRMCS ombordutrustning har store usikkerheter knyttet til seg.

- Forutsetning:

Ombordutrustning krever ombygging av installasjon i kjøretøy, men med mindre kompleksitet enn ERTMS ombordutrustning.

Sanering

Demontering og fjerning av utstyr og materialer ved eksisterende basestasjoner.

Driftskostnader anleggsperiode

- Hva inneholder punktet:

-Lisens og supportkostnader

-Driftskostnader kjernenett, radionett og tunnelradioanlegg

-Driftskostnader passiv infrastruktur der GSM-R er eneste brukeren fra Bane NOR

- Hva inneholder ikke punktet:

-Driftskostnader transmisjonsnett

- Metode:

Driftskostnader for tunnelradioanlegg videreføres uten endringer da dette oppgraderes, men ikke utvides.

Driftskostnader for kjerne dobles da det må driftes kjerne for både GSM-R og FRMCS

Driftskostnader økes gradvis etter hvert som nytt radionett rulles ut

Driftskostnader analyseperiode

- Hva inneholder punktet:

-Lisens og supportkostnader

-Driftskostnader kjernenett, radionett og tunnelradioanlegg

-Driftskostnader passiv infrastruktur der FRMCS er eneste brukeren fra Bane NOR

-Fornyelse av radionettet

- Hva inneholder ikke punktet:

-Driftskostnader transmisjonsnett

- Metode:

Driftskostnader for tunnelradioanlegg videreføres uten endringer da dette oppgraderes, men ikke utvides.

Driftskostnader for kjerne dobles da det må driftes kjerne for både GSM-R og FRMCS

Driftskostnader økes gradvis etter hvert som nytt radionett rulles ut.

Radionettet har teknisk og teknologisk levetid på rundt 10, da dette typisk er kommersielt utstyr tilpasset jernbanen. Første utrullede del må da starte fornyelse under analyseperioden

Tabell 16 viser grunnkalkyle som grunnlag for usikkerhetsanalyse.

Tabell 16 Grunnkalkyle investering

Kostnadspost/ tall MNOK eks. mva.	Alt. 0	Alt. 1 900	Alt. 1 1 900	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Nye siter MNOer				440	440			500
Ombygging installasjoner for RMR				50				
Passiv infrastruktur nye siter Bane NOR		8	132			8	8	
Tunnelradioanlegg		1 255	1 225	1 255	1 265	1 503	1 503	1 265
Radioaksess nett		98	110			98	31	
Transmisjon		1	16			1	1	
Kjernenett		110	110			110	110	
MCx		200	200	200	200	200	200	200
Intern Bane NOR kostnad		401	419	368	370	438	428	370
Ekstern prosjektkostnad		50	50	50	50	50	50	50
Ombordutrustning i tog og håndholdt		700	700	700	700	700	700	700
Sanering GSM-R lokasjoner (passiv)					60		60	60
Sanering, GMS-R utrustning og transmisjon					60		60	60
Sum	-	2 823	2 962	3 063	3 145	3 108	3 151	3 205

Tabell 17 viser investeringsbehov per alternativ etter gjennomført usikkerhetsanalyse.

Tabell 17 Investeringsbehov per alternativ

Kostnadspost/ tall MNOK eks. mva.	Alt. 0	Alt. 1, 900	Alt. 1, 1 900	Alt. 2	Alt. 3	Alt. 4	Alt. 5	Alt. 6
Grunnkalkyle		2 823	2 962	3 063	3 145	3 108	3 151	3 205
Forventet tillegg		650	708	781	823	643	863	1 387
Styringsramme P50		3 473	3 670	3 844	3 968	3 751	4 014	4 592
Usikkerhetsavsetning		1 214	1 180	1 274	1 232	1 241	1 605	2 136
Kostnadsramme P85		4 687	4 850	5 118	5 200	4 992	5 619	6 728
Forventet verdi		3 577	3 763	3 950	4 070	3 851	4 137	4 775

8 Samfunnsøkonomisk analyse

Det utredes hvilke konseptuelle løsninger for et fremtidig mobilkommunikasjonssystem for jernbane som er best egnet og gir best samfunnsøkonomisk nytte for å dekke det helhetlige kommunikasjonsbehovet for den digitaliserte jernbanen.

Slik konseptoppbygningen har tatt form så skilles det på eierstrukturer. Eierstrukturer er sterkt sammenvevd med hvilke frekvenser som kan benyttes. Dette har igjen sammenheng med det fysiske designet på anlegget. Forenklet sett så vil lavere frekvens gi lavere investeringskostnad fordi lavere frekvenser har større dekningsområde, som resulterer i færre radiomaster. Lav frekvens har større dekningsområde, men også mindre datakapasitet. Det er da en avveining mellom valg av frekvens og datakapasitet. Det er i dette prosjektet vurdert slik at alle relevante frekvenser kan levere tilfredsstillende datakapasitet.

Referanse er en sentral del av problemstillingen i dette arbeidet. Dagens system, GSM-R, er en gammel teknologi som skal moderniseres. Hensikten med moderniseringen skal være å øke datakapasiteten. I Norge i dag er det ingen utfordringer med datakapasitet.. Referansebanen ser ikke ut til å gi noen utfordringer knyttet til å opprettholde togproduksjonen slik den er i dag.

8.1 Metode

Samfunnsøkonomiske analyser gjennomføres for å vurdere om et tiltak gir samfunnet høyere nytte enn kostnad, og for å prioritere mellom ulike alternativer. Modellen utviklet i denne KVUen er tilpasset prosjektets forventede virkninger for å gi et beslutningsgrunnlag for valg mellom de ulike alternative konseptene.

Hovednyttan av tiltaket vil være økt datakapasitet. Det er allikevel i bruken av den økte datakapasiteten hvor den reelle nytten vil ligge. Et eksempel på dette kan være automatisk togfremføring. Økt datakapasitet gjør det mulig å installere kameraer på toget som kan strøme direkte bilder fra toget til en trafikksentral. Dette kan igjen føre til at behovet for personell reduseres og kostnadene går ned.

Det er på det nåværende tidspunktet utfordrende å kartlegge nytten av økt datakapasitet. Det er flere årsaker til dette. For det første så er det ikke behov for mer datakapasitet i dagens situasjon, utover det som leveres i referanse. Dette kan endre seg i fremtiden, men dette er vanskelig å forholde seg til da det ikke foreligger noen konkrete planer. For det andre så kan mange av nyttekomponentene, som nevnes av UIC, realiseres i kommersielle nett og er derfor ikke avhengig av dette prosjektet.

Med bakgrunn i dette så anbefales det å gjennomføre en kostnadsvirkningsanalyse. Dette er en systematisk verdsetting av kostnadene ved ulike tiltak som er rettet mot samme problem, men der nyttevirkningene til tiltakene som analyseres, er ulike. Ved slike analyser rangeres ikke tiltakene bare etter kostnadseffektivitet – også en kvalitativ vurdering av nyttevirkningene vil kunne påvirke rangeringen av tiltakene.

8.1.1 Forutsetninger for kostnadsanalysen

Kostnadene som inngår i den samfunnsøkonomiske analysen, bygger på forutsetningene i Tabell 18:

Tabell 18 Forutsetninger samfunnsøkonomisk analyse

Parameter	Forutsetning
Anleggsperiode	5 år (2028-2032)
Oppstartsår analyseperiode	2033
Analyseperiode	10 år
Prisår	2022
Diskonteringsår	2025
Kalkulasjonsrente	4 %
Analyseperiode	10 år

Det er lagt til grunn analyseperiode på 10 år. Begrunnelsen er utvikling av teknologien innen mobilnett, tjenester og utstyr. Det er vurdert restverdi for elementer som har høyere levetid enn 10 år.

Leverandørene av dagens komponenter til GSM-R har gitt signaler om at etterspørselen er avtagende og man kan forvente en kostnadsvekst pr komponent som følge av dette (dette innebærer at produsenten har avtagende marginalkostnad i produksjonen). Man må derfor anta en kostnadsvekst i referansebanen

8.2 Prissatte konsekvenser

Som begrunnet over verdsettes kun kostnadsvirkninger i denne KVUen. Kostnadsestimatene i den samfunnsøkonomiske analysen er beregnet ut fra forventet kostnad fra usikkerhetsanalysen gjennomført ved bruk av ANSLAG. De samfunnsøkonomiske virkningene som prissettes i analysen er investeringskostnader, drift- og fornyelseskostnader, prosjektkostnader og skattefinansieringskostnad. Inntekter for mobilabonnement er inkludert som utgift under driftsperiode for det offentlige, samt inntekt for private aktører. I praksis er det dermed kun skattefinansieringskostanden av overføringen som gir utslag i analysen.

Tabell 19 Prissatte virkninger i MNOK

	Referanse	Alt 1: 900	Alt 2: 900	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Virkninger for det offentlige							
Investeringskostnader (forventningsverdi)	-	3 577	4 031	3 732	4 455	5 942	5 297
Drift (sum anlegg og analyseperiode)*	3 301	3 424	1 307	1 775	3 469	2 738	2 048
Sum	3 301	7 001	5 338	5 507	7 924	8 680	7 345
Virkninger for private aktører							
Investeringskostnad	-	-	523	471	-	-	641
Drift (Inntekter mobilabonnement)	-	-	-	-604	-604	-1 805	-1805
Nåverdi							
Diskonterte kostnader	2 208	5 265	4 245	4 632	5 518	5 271	5 381
Skattefinansieringskostnad	442	1 053	819	907	1 178	1 277	1 170
Samfunnsøkonomisk nåverdi kostnader	2 649	6 318	5 064	5 539	6 696	6 547	6 551
Rangering		3	1	2	6	4	5

*inkludert mobilabonnementskostnader.

Tabellen har blitt oppdatert etter gjennomført KS1, da det ble oppdaget at i den originale tabellen var det ikke tatt med mobilabonnementskostnader under virkninger for det offentlige.

Videreføring av dagens løsning gjennom hele analyseperioden med GSM-R er et teoretisk nullalternativ, og er beregnet til å medføre en samfunnsøkonomisk kostnad på 2 649 MNOK. For de øvrige alternativene ligger de samfunnsøkonomiske kostandene mellom 5 064 MNOK for alternativ 2 til 6 696 MNOK for Alternativ 4.

8.3 Ikke-prissatte konsekvenser

Prosjektet innebærer sentrale forhold og virkninger som ventes å ha en samfunnsøkonomisk konsekvens, men ikke er mulig å kvantifisere på en forsvarlig måte. I henhold til statens prosjektmodell håndteres forholdene som ikke-prissatte konsekvenser. Det er identifisert fem ikke-prissatte virkninger som vurderes for alternativene, beskrevet i Tabell 20.

Tabell 20 Ikke-prissatte konsekvenser

Vurderingskriterium	Hva legger vi i dette?
Fleksibelt og fremtidsrettet	<p>I dette legger vi hvor fleksibelt alternativet er med tanke på fremtidige behov, samt fremtidig teknologisk og markedsmessig utvikling. Dette kan gjerne kalles «futureproofness». Med dette mener vi fleksibilitet og skalerbarhet med tanke på tilpasninger av infrastruktur, maskinvare og programvare for å møte fremtidige behov. Hvor lett og i hvilken grad dette lett lar seg gjøre, vurderes.</p> <p>At alternativet har en oppbygning av nettet som gjør det fremtidsrettet, slik at det i minst mulig grad eksisterer kostnadskrevende hinder og begrensninger som gjør det vanskelig eller kostbart å holde tritt med den teknologiske utviklingen for mobile nett. Et høyt utviklingstempo og rask innovasjonstakt i bransjen skaper behov for å følge utviklingen i det kommersielle markedet.</p>
Effektiv utnyttelse	<p>I dette legger vi at infrastruktur i norske mobilnett og annen ekom-infrastruktur utnyttes på en god og kostnadseffektiv måte.</p> <p>At både mobilnett og enkeltlokasjoner eid av kommersielle og statlige aktører utnyttes på en måte som gir gjensidig nytte, som i et samfunnsøkonomisk perspektiv gir gevinst.</p> <p>At utnyttelse av nett og infrastruktur som allerede eksisterer gjøres på en slik måte at synergier oppnås. Dette kan blant annet skje ved at aktører innplasserer seg hos hverandre eller ved deling av radioaksessnett.</p> <p>Samordning og samvirke og med nytt Nødnett og prosjektet «Bedre nettdækning langs jernbanen» er en viktig del av dette.</p>
Innlåsningseffekt og konkurransevidning	<p>I innlåsnings-effekt legger vi forhold som kan være til hinder for å kunne bytte leverandør. Dersom en leverandør vanskelig kan byttes ut, fordi kontraktuelle forhold, markedsførhold eller andre forhold gjør dette vanskelig, kan man sies å være innelåst. En leverandør av tjenester eller utstyr kan få stor makt over kjøper, dersom det gir store kostnader eller ulemper å skifte til en annen tilbyder.</p> <p>Konkurranse-vridende vil si at det frie markedet påvirkes på en slik måte at det skapes skjevheter i konkurransen. Hvis et statlig tjenestekjøp fra en operatør fører til en konkurransemessig fordel i markedet for denne, vil dette gi negative følger for både konkurrentene og den frie konkurransen.</p>
Implementering	<p>I dette legger vi hvilke ikke-prissatte konsekvenser implementeringsstrategi og implementeringsperiode alternativet vil medføre.</p>

	<p>Konsekvenser av implementering og migrasjon fra GSM-R til FRMCS er en vesentlig del av dette. GSM-R og FRMCS vil måtte sameksistere i en gitt periode før GSM-R kan fases ut, og en «smertefri» migrasjonsfase og overgang til nytt nett er ønskelig.</p> <p>Implementering av FRMCS om bord i tog er også en del av dette. I tillegg må interoperabilitet med naboland ivaretas i implementeringsfase og migrasjon.</p>
Ytre Miljø	<p>Med dette mener vi i hvilken grad alternativet påvirker det ytre miljø på en negativ måte. Inngrep i natur, naturmangfold eller dyrket mark vil representere negative konsekvenser. Bygging av nye lokasjoner og fremføring av kraft vil medføre naturinngrep med negative virkning på det ytre miljø.</p> <p>Ettersom beliggenhet for nye lokasjoner ikke er kjent er det ikke tatt utgangspunkt i standardmetodikk fra Håndbok V712, men gjort en samlet vurdering av omfang ut fra hvor mange lokasjoner som må etableres.</p>

I henhold til standard metodikk er det tatt utgangspunkt i verdimatisemetoden for vurdering av de ikke prissatte konsekvensene. Verdimatisemetoden er en kvalitativ metode som sikter å gi en systematisk og dokumenterbar vurdering av de ikke prissatte konsekvensene. Konsekvensene vurderes ut fra kriteriene Verdi/viktighet og omfang, og gjøres relativt til nullalternativet.

Verdi/viktighet sikter i denne KVUen på betydningen av virkningen og gjøres som en tredelt skala: liten/middels/stor. For vurdering av omfanget brukes en syvdelt skala, som går fra stort negativt til stort positivt. Positive verdier betyr at summen av de ikke-prissatte virkningene gir et positivt bidrag til samfunnsøkonomien.

8.3.1 Fleksibelt og fremtidsrettet

Den ikke-prissatte virkningen av «fleksibelt og fremtidsrettet» er satt til middels verdi for alternativene. Vurderingen for virkningene er vist i Tabell 21.

Tabell 21 Fleksibelt og fremtidsrettet

Alternativ	Verdi	Påvirkning	Konsekvens
Alternativ 1: 900	middels	Liten positiv	+ +
Alternativ 2: 900	middels	Liten positiv	+ +
Alternativ 3	middels	Middels positiv	+ + +
Alternativ 4	middels	Middels positiv	+ + +
Alternativ 5	middels	Middels positiv	+ + +
Alternativ 6	middels	Stor positiv	+ + + +

Datakapasitet

Alternativer basert på kommersielle nett, og dermed større frekvensressurser, er i det generelle vurdert som mer fleksible og fremtidsrettede enn alternativer med bruk av kun JB-frekvenser. Dette fordi større spektrumsressurser hos de kommersielle operatørene vil gi større muligheter for høye bitrater og større trafikkapasitet. Dette gir større muligheter for innføring og bruk av tjenester som krever høye bitrater og høy nettkapasitet. En rekke momenter rundt frekvensbruk er ellers drøftet i kapittel 6.4.1, frekvensbruk for FRMCS.

Det er et udiskutabelt faktum at bitratebehovene bare har økt og økt de siste 25-30 årene. Vi har sett en eksponentiell vekst i tilgjengelig bitratekapasitet både fast og mobil kommunikasjon. Tjenester og applikasjoner som stadig har blitt mere bitratekrevende har drevet utviklingen raskt fremover, og industrien har utviklet nye standarder og teknologi for å møte det konstante behovet for stadig høyere datarater. Vi ser ikke noen grunner til at denne utviklingen skal bremse ned, men snarere at behovene og utviklingen i det kommersielle markedet vil komme til å «smitte over» til jernbanesektoren. Det at tilgjengelige bitrater og tilgjengelig kapasitet øker, har «alltid» skapt grunnlag for nye tjenester og applikasjoner. Vi tror at dette også vil skje innenfor jernbanesektoren i forbindelse med at FRMCS blir realisert med 5G-teknologi, samtidig med at det er store programmer og mye forskningsaktivitet i gang i forbindelse med digitalisering av jernbanen i Europa.

Vi mener at en stor del av det som til sammen må vektlegges under «fleksibelt og fremtidsrettet» for de ulike alternativene, har med tilgjengelig spektrum å gjøre. Frekvensressursene de kommersielle operatørene rår over, representerer mange ganger større båndbredde enn JB-frekvensene. Dermed skiller alternativene seg stort med tanke på hvilken mengde spektrum som blir tilgjengelig, og hvilken dataoverføringskapasitet dette faktisk gir. Det vil være av interesse å sammenligne bitratekapasiteten for alternativene.

Vi har laget en oversikt som oppsummerer hvilken spektrumsbredde hvert alternativ får, med hvilken tilhørende beregnet teoretisk samlet datakapasitet denne spektrumsmengden gir. Sistnevnte er teoretiske tall, men disse gir en indikasjon på i hvilken størrelsesorden bitratekapasiteten vil være:

Tabell 22 Bitratekapasitet for de ulike alternativene

Alternativ	Spektrumsbåndbredde	Maksimal teoretisk bitrate-kapasitet*
Alternativ 1 (kun 900 MHz)	5,6 MHz	32,1 Mbit/s
Alternativ 2 (kun 900 MHz)	5,6 MHz	32,1 Mbit/s
Alternativ 3	25 MHz	165,7 Mbit/s
Alternativ 4 **	30,6 MHz	197,8 Mbit/s
Alternativ 5 ***	95 MHz	635,7 Mbit/s
Alternativ 6	95 MHz	635,7 Mbit/s

* Sammenligningen er gjort ved å summere de tilgjengelige spektrumsressursene hver enkelt av operatørene ICE, Telenor og Telia disponerer i de 3 «lavbånds» frekvensbåndene 700, 800, 900 MHz. Frekvensbåndet 450 MHz er holdt utenfor fordi kun ICE disponerer dette. Frekvensbåndene 1800, 2100 og 2600 MHz er holdt utenfor fordi de representerer «høy-bånd», som må bygges vesentlig tettere enn lavbånd for å oppnå sammenhengende dekning. Disse kunne godt ha vært medregnet, men dette ville bare ført til enda større forskjeller i favør av de kommersielle alternativene. Frekvensbånd i området 3400-3800 MHz er også utelatt, fordi disse frekvensene med sin korte rekkevidde anses som uegnet for jernbanebruk.

Videre er det gjort en oversettelse, eller «mapping» fra spektrum i hvert bånd, til total bitratekapasitet i det samme båndet. Dette er gjort ved å bruke en nettbasert kalkulator¹³ for radio-kapasitet i 5G, som beregner bitrater ut fra kanalbåndbredde. Vi antok samme radiokonfigurasjon samt gode radioforhold (2x2 MIMO og 64QAM modulasjon), og sørget for å holde også alle andre parametere like ved beregningen av bitrater. Bitratene er "rå-bitrater" på fysisk lag "i lufta" under svært gode radioforhold. Brukeropplevde bitrater vil være mye lavere, men hastighetene står i proporsjonale forhold til hverandre. På denne måten er tallene sammenlignbare, siden alle bitrater forutsetter like radioforhold. Til slutt ble bitrater akkumulert for de 3 aktuelle båndene, og summen er vist i tabellen.

** Tallene for alternativ 4 gjelder der Bane NOR-nett og ett kommersielt nett er *samtidig* tilstedeværende.

*** Tallene for alternativ 5 gjelder der *tre* kommersielle nett er *samtidig* tilstedeværende. Bidrag fra Bane NOR-nett er neglisjert her, siden det bare bidrar marginalt, Der kun Bane NOR -nettet er til stede, gjelder samme tall som i alternativ 1 og 2.

Det fremgår tydelig av tabellen at alternativene som benytter kommersielle frekvenser tilbyr overlegent større bitratekapasiteter enn alternativene som er basert på JB-frekvenser. Styrkeforholdet mellom alternativene 3 og 4 som benytter kommersielle frekvenser i *ett* nett, sett i forhold til alternativene 1 og 2 som benytter 900 MHz JB-frekvenser, er i størrelsesorden 5-6 i førstnevntes favør. Enda større er forskjellen mellom alternativene 5 og 6, som har tre parallelle nett med kommersiell frekvensbruk, sett i forhold til alternativ 1 og 2. Her er styrkeforholdet i størrelsesorden 20:1.

Det er ikke nødvendigvis slik at 5 ganger høyere total bitratekapasitet fra en basestasjon vil bety at man får en fem ganger bedre opplevd ytelse enn det man sammenligner med. Det er ikke nødvendigvis et lineært forhold mellom bitratekapasitet og faktisk ytelse. Dette kommer an på bruken, og av en del ytre faktorer på server- eller klientsiden. Hva man trenger av bitratekapasitet avhenger først og fremst av hva tjenester og applikasjoner behøver. Likevel vil tallene i Tabell 22 gi oss en indikasjon på styrkeforhold mellom de ulike alternativene med hensyn på bitratekapasitet. Vi vil si at det tabellen viser med stor grad av tydelighet, er at alternativer med kommersiell frekvensbruk, selv med kun lave bånd, har et stort fortrinn med tanke på å

¹³ https://www.sqimway.com/nr_capability.php

takle bitratekrevende tjenester og trafikkvekst i nettet. Dette anser vi for å være mere fleksibelt og fremtidsrettet.

Ser vi bort fra rollen spektrumsressurser spiller for hvor «fleksibelt og fremtidsrettet» hvert alternativ er, har det også betydning i hvilken takt et mobilnett oppdateres og fornyes. Dette gjelder både programvare og maskinvare. Hvor fort nye programvare-releaser fra leverandører implementeres og nye tjenester, funksjonalitet og features tas i bruk, gjenspeiler hvor moderne nettet er. Innovasjonstakt og utviklingstempo er gjerne høyest blant kommersielle operatører som er i skarp konkurranse med hverandre. Kampen om store bedriftskunder og kundemassen i privatmarkedet gjør det attraktivt å være først ute med ny teknologi og tjenester. Kappløpet i utrulling av 5G er et eksempel på dette.

Dette er også en del av bakgrunnen for karaktergivningen vår her. Vi gir alternativene med kommersielle nett høyere score fordi det er få eller ingen økonomiske eller praktiske hinder hos de store operatørene for å ligge helt i tet i den teknologiske utviklingen, eller for å tilby de nyeste tjenestene. I et Bane NOR -eid nett tror vi ikke det vil være like store krefter som driver frem teknologifornyelse, på tross av de høye kostnadene som følger med.

Alternativ 1: 900 MHz

Liten positiv begrunnes med at FRMCS med JB-frekvensbruk alternativ 1 er noe bedre enn nullalternativet. FRMCS basert på 5G med disse frekvensene er litt mer fremtidsrettet enn GSM-R i nullalternativet. Det er svært begrenset støtte for kapasitetskrevende tjenester med 5,6 MHz båndbredde, og muligheter for å få tildelt nye spektrumsressurser vurderes som små. Selv om 1900 MHz med båndbredde 10 MHz TDD eventuelt kunne blitt tatt med for å øke kapasiteten, vil ikke dette gi et utslag som monner vesentlig.

Bane NOR må også selv kjøpe og utføre oppgraderinger i maskinvare og programvare, kjøpe ny funksjonalitet og features, samt kjøpe eller selv utvikle eventuelle nye støttesystemer og tilleggsapplikasjoner. Kommerielle nett har også i det generelle en raskere innovasjonstakt og utviklingstempo, på grunn av stor kundemasse og stor grad av konkurranse i både privat- og bedriftsmarkedet.

Alternativ 2: 900 MHz

FRMCS med JB-frekvensbruk

er for alternativ 2 litt bedre enn nullalternativet. 5G med disse frekvensene er litt mer fremtidsrettet enn GSM-R i nullalternativ. Det er svært begrenset støtte for kapasitetskrevende tjenester med 5,6 MHz båndbredde (som i alternativ 1). Samtidig kan dette alternativet lett omgjøres på et senere tidspunkt til å benytte også kommersielle frekvenser (jfr alternativ 3). Alternativet er derfor litt mer fremtidsrettet enn alternativ 1. Oppgraderinger av maskinvare og programvare følger operatøren sitt eget løp, og innføring av nye features samt utvikling av eventuelle nye støttesystemer/applikasjoner gjøres av operatøren. Derfor vil dette forventes å gi en raskere innovasjonstakt enn for alternativ 1.

Alternativ 3:

Det er god støtte for kapasitetskrevende tjenester med de kommersielle frekvensbåndene. Lav-bånd (700/800/900) vil være garantert, og gir god kapasitet. Høy-bånd vil sannsynligvis være delvis eller ofte til stede. Det er lett å utvide kapasitet i fremtiden, ved å ta i bruk eventuelle nye frekvensbånd som operatøren skaffer seg. Oppgraderinger av maskinvare og programvare følger operatøren sitt eget løp, og innføring av nye features samt utvikling av eventuelle nye støttesystemer/ applikasjoner gjøres av operatøren, som gir potensiale for raskere innovasjonstakt. Alternativer med kommersielle nett, og dermed større frekvensressurser, er mer fleksible og fremtidsrettede.

Alternativ 4:

Alternativet kan betraktes som todelt. En del som bare har et Bane NOR-nett med JB-frekvenser, og en del som har både BN-nett og ett kommersielt nett i tillegg. Den første delen er som alternativ 1, hvor FRMCS med JB-frekvens 900 MHz i alternativ 1 er litt bedre enn nullalternativet. Det er også her svært begrenset støtte for kapasitetskrevede tjenester med 5,6 MHz båndbredde. Bane NOR må selv utføre oppgraderinger av maskinvare og programvare i eget nett, og må selv kjøpe nye features samt utvikle eventuelle nye støttesystemer/applikasjoner. Ulik grad av støtte for releaser/ features i de to nettene kan forekomme.

For den delen av nettet som benytter kommersielt RAN, er situasjonen bedre, og som i alternativ 3. Det er god støtte for kapasitetskrevede tjenester med de kommersielle frekvensbåndene. Lav-bånd (700/800/900) vil være garantert, og gir god kapasitet. Høy-bånd vil sannsynligvis være delvis eller ofte til stede. Det er lett å utvide kapasitet i fremtiden, ved å ta i bruk høy-bånd eller eventuelle nye frekvensbånd som operatøren skaffer seg. Oppgraderinger av maskinvare og programvare i kommersielt nett følger operatør sitt eget løp, innføring av nye features samt utvikling av eventuelle nye støttesystemer/applikasjoner gjøres av operatøren, som gir potensiale for raskere innovasjonstakt.

For alternativ 4 er fleksibilitet og fremtidsrettet er vurdert til å ha middels positiv effekt.

Alternativ 5:

Dette alternativet kan også betraktes som todelt.

For alternativ 5 er «fleksibelt og fremtidsrettet» vurdert til å ha middels positiv effekt, men vurderingen avhenger av prosentvis fordeling man har av kommersiell nett og BN-nett i forhold til totalen på jernbanestrekningene. Ved høy prosentvis fordeling i Bane NOR nett vil dette gi en lavere grad av fleksibilitet og fremtidsrettet løsning. Den prosentvise delen som dekkes av kommersielle nett lett kan økes med fremtidig kommersiell utbygging langs jernbanen. For BN-delen av nettet, er situasjonen som i alternativ 1. For den delen av nettet som benytter kommersielt RAN, er situasjonen bedre, og som i alternativ 3. BN må selv utføre oppgraderinger av maskin- og programvare i eget nett, og kjøpe nye features samt utvikle eventuelle nye støttesystemer/applikasjoner. Ulik støtte grad av støtte for releaser/ features i de to nettene kan forekomme. Oppgraderinger av maskin- og programvare i kommersielle nett følger operatørene sine egne løp, innføring av nye features samt utvikling av eventuelle nye støttesystemer/applikasjoner gjøres av operatørene. Derfor raskere innovasjonstakt og «modernitet» hos disse.

Alternativ 6

For alternativ 6 er vurderingen ganske lik som for alternativ 3. Men det faktum at alle operatørene er samtidig til stede gir en bedre fleksibilitet. Samtidig er også kapasitet omtrent tre ganger bedre enn i alternativ 3. Oppgraderinger av maskin- og programvare i kommersielle nett følger operatørene sine egne løp, innføring av nye features samt utvikling av eventuelle nye støttesystemer og applikasjoner gjøres av operatørene. Derfor raskere innovasjonstakt og «modernitet» i dette alternativet. «Fleksibelt og fremtidsrettet» vurdert til å ha stor positiv effekt.

8.3.2 Effektiv utnyttelse

Virkningene av «effektiv utnyttelse» sikter å fange opp utnyttelsen av passiv og aktiv infrastruktur, samt muligheten for samordning og samvirke med Nødnett og «Bedre nettdekning langs jernbanen». Verdien for virkningen er satt til middels verdi.

Tabell 23 Effektiv utnyttelse

Alternativ	Verdi	Påvirkning	Konsekvens
Alternativ 1: 900	middels	Ubetydelig/ingen	
Alternativ 2: 900	middels	Liten positiv	+ +
Alternativ 3	middels	Middels positiv	+ + +
Alternativ 4	middels	Liten positiv	+ +
Alternativ 5	middels	Liten positiv	+ +
Alternativ 6	middels	Stor positiv	+ + + +

Alternativ 1: 900 MHz

Effektiv utnyttelse har ubetydelig eller ingen konsekvens sammenlignet med nullalternativet. Forskjell i mulighetsrommet for innplassering og tilrettelegging for kommersielle aktører, «Bedre nettdekning langs jernbanen» og Nødnett vurderes som ubetydelig i forhold til nullalternativet.

Alternativ 2: 900 MHz

Samlet sett har alternativ 2 en liten positiv påvirkning på utnyttelse av passiv og aktiv infrastruktur. Med implementering av FRMCS med JB-frekvenser i en kommersiell operatør sitt nett, kan dette nettet sies å bli utnyttet mer effektivt. Samtidig må radio- og antenneutstyr på lokasjonene bygges om for å støtte JB-frekvenser. Bane NOR -lokasjoner vil komme den ene kommersielle operatøren til gode (og i tillegg muligens også andre aktører). Nødnett kan, om det implementeres i nettet til denne operatøren, bidra til ytterligere effektiv utnyttelse selv om Nødnett ikke benytter JB-frekvensene. «Effektiv utnyttelse» vurderes til å ha liten positiv effekt.

Alternativ 3

Alternativet vurderes til å ha en middels positiv effekt for utnyttelse av passiv og aktiv infrastruktur. Med implementering av FRMCS i en operatør sitt nett, kan denne operatørens nett sies å bli utnyttet effektivt. Bane NOR -lokasjoner vil komme den ene kommersielle operatøren til gode (og i tillegg muligens også andre aktører). Nødnett kan, om det implementeres i nettet til denne operatøren, bidra til ytterligere effektiv utnyttelse.

Alternativ 4

Alternativet vurderes til å ha en liten positiv effekt for utnyttelse av passiv og aktiv infrastruktur. Med ett kommersielt nett som supplerer Bane NOR -nettet, kan denne operatøren sitt nett sies å bli utnyttet mer effektivt. Dette skjer imidlertid ikke i hele jernbanenettet, og derfor ikke i like stor skala som i alternativ 3. Bane NOR -lokasjoner kan også huse den ene operatøren, og i tillegg muligens også andre aktører, om kapasitet i passiv infrastruktur tillater det. Nødnett kan, om det implementeres i nettet til denne ene operatøren, bidra til ytterligere effektiv utnyttelse.

Alternativ 5

Alternativet har sammenfallende behov med «Bedre nettdekning langs jernbanen», med tre samtidige operatører til stede i en del av jernbanenettet. Dette gir en middels positiv utnyttelse av passiv/ aktiv infrastruktur i den geografiske delen av nettet hvor alle tre operatører representert. Her vil BN-lokasjoner kunne gjenbrukes, selv om passiv infrastruktur i en del tilfeller må utvides. I den øvrige delen med bare BN-nett, vil effektiv utnyttelse være som i alternativ 1. Med alle tre operatører til stede vil både frittlandslokasjoner og tunnelanlegg utnyttes optimalt. Dette er imidlertid geografisk avgrenset i alternativ 5. Implementering vil medføre utbyggingskostnader, dette er ikke hensyntatt her. FRMCS, Nødnett og «Bedre nettdekning langs jernbanen» for reisende vil alle nyte godt av tre parallelle nett langs jernbanen.

Alternativ 6

Samlet sett en stor positiv utnyttelse av passiv og aktiv infrastruktur når alle tre operatører er til stede. Dette i et større omfang enn for alternativ 5, siden vi nå snakker om hele jernbanenettet. Alternativet har helt sammenfallende behov med «Bedre nettdekning langs jernbanen», med 3 samtidige operatører til stede. BN-lokasjoner vil kunne gjenbrukes, selv om passiv infrastruktur i en del tilfeller må utvides. Med alle tre operatører til stede vil både frittlandslokasjoner og tunnelanlegg utnyttes optimalt. Imidlertid vil dette medføre utbyggingskostnader, dette er ikke hensyntatt her. FRMCS, Nødnett og «Bedre nettdekning langs jernbanen» for reisende vil alle nyte godt av de tre parallelle nettene.

8.3.3 Innlåsnings effekt og konkurransevridding

Virkningen omfatter Innlåsnings effekt og konkurransevridding er vurdert til liten verdi.

Tabell 24 Innlåsnings effekt og konkurransevridding

Alternativ	Verdi	Påvirkning	Konsekvens
Alternativ 1: 900	liten	Liten positiv	+
Alternativ 2: 900	liten	Stor negativ	- - -
Alternativ 3	liten	Stor negativ	- - -
Alternativ 4	liten	Liten positiv	+
Alternativ 5	liten	Middels positiv	+ +
Alternativ 6	liten	Middels positiv	+ +

Alternativ 1: 900 MHz

Innlåsningsgrad med alternativet vil begrenses til det man i dag har med nullalternativet; en viss "terskel" må overskrides med hensyn på bytte av utstyrsleverandør i Bane NOR-nettet. Alternativet vil ikke påvirke konkurransen i mobilmarkedet og gir dermed ikke konkurransevridding.

Alternativ 2: 900 MHz

Med valg av en kommersiell operatør, som samtidig bygger om sin del av radioinstallasjonene for å kunne tilby bruk av jernbanefrekvensene sine i sitt nett, oppstår en stor grad av innlåsnings effekt. I tillegg har denne operatøren også muligens gjort «herdingstiltak» i nettet. Å bytte til en annen tilbyder, vil måtte innebære at denne bygger om sitt nett. Derav den store negative effekten. Alternativet vil påvirke konkurransen i mobilmarkedet i noen grad, men vurdert til liten negativ virkning, siden jernbanenettet utgjør en liten del av Norges totale deknings- og befolkningsareal. En negativ konkurransevridding kan skje dersom en dominerende kommersiell aktør blir valgt, men motsatt også en positiv konkurransevridding dersom en ikke-dominerende aktør blir valgt.

Alternativ 3

Med valg av en kommersiell operatør, blir konsekvensen en stor grad av innlåsnings effekt. Spesielt om denne har gjennomført "herdingstiltak" i sitt nett, og bygd ut flere lokasjoner for å gi tilstrekkelig dekning. Alternativet vil påvirke konkurransen i mobilmarkedet i en viss grad, men vurdert til liten negativ virkning, siden jernbanenettet utgjør en liten del av Norges totale deknings- og befolkningsareal. En negativ konkurransevridding kan skje dersom en dominerende kommersiell aktør blir valgt, men motsatt også en positiv konkurransevridding dersom en ikke-dominerende aktør blir valgt.

Alternativ 4

Med valg av en operatør for den delen av nettet som kommersiell operatør dekker, får man en liten grad av innlåsnings effekt. Vi forutsetter at det ikke har blitt gjennomført "herdingstiltak", eller blitt bygd ut flere lokasjoner for å gi dekning, men likevel er det en liten grad av innlåsnings effekt. For det rene BN-nettet er vurderingen som for alternativ 1. Alternativet vil påvirke konkurransen i mobilmarkedet i en svært liten grad, men på en positiv måte. Dette er vurdert til liten positiv effekt. Omfanget begrenses av at en begrenset del av jernbanenettet dekkes av en operatør, som kun gir supplerende dekning og kapasitet.

Alternativ 5

Med valg av flere operatører for den delen av nettet som kommersielle operatør dekker, er det ingen grad av innlåsningseffekt. Ettersom alle operatører er samtidig til stede i alternativet, vil ikke konkurransen i mobilmarkedet påvirkes, og det vil da ikke eksistere grad av konkurransevridding. Man oppnår snarere en sunn konkurransesituasjon. Samlet virkning av innlåsning og konkurransevridding vurderes som middels positiv.

Alternativ 6

Med valg av flere operatører for hele nettet, er det ingen grad av innlåsningseffekt. Ettersom alle operatører er samtidig til stede i alternativet, vil ikke konkurransen i mobilmarkedet påvirkes, og det vil da ikke eksistere grad av konkurransevridding. Man oppnår snarere en sunn konkurransesituasjon. Samlet virkning av innlåsning og konkurransevridding vurderes som middels positiv.

8.3.4 Implementering

Implementeringsstrategi er av stor betydning for løsningen, er vurdert til høy verdi.

Tabell 25 Implementering

Alternativ	Verdi	Påvirkning	Konsekvens
Alternativ 1: 900	stor	Ubetydelig/ingen	
Alternativ 2: 900	stor	Ubetydelig/ingen	
Alternativ 3	stor	Liten positiv	+ +
Alternativ 4	stor	Ubetydelig/ingen	
Alternativ 5	stor	Ubetydelig/ingen	
Alternativ 6	stor	Ubetydelig/ingen	

Alternativ 1: 900 MHz

Migrering er noe vanskelig, hovedsakelig fordi 900-båndet må deles i perioden. 5,6 MHz i dette båndet må deles mellom FRMCS og GSM-R. Det forutsetter 3 MHz kanalbåndbredde for FRMCS. Det kan likevel by på utfordringer enkelte steder i landet hvor det er mange lokasjoner som trenger GSM-R kanaler i migrasjonsperioden. Her kan imidlertid 1900 MHz TDD brukes som trafikkavlastning. Passiv infrastruktur på GSM-R lokasjonene til Bane NOR må ha kapasitet til å ha to systemer i migrasjonsperioden (før alle tog er ferdig ombygd). Det er usikkerhet knyttet til i hvor stor grad passiv infrastruktur må bygges ut.

Alternativ 2: 900 MHz

Migrasjon lettere enn for alternativ 1. Men valgt operatør må bygge om sitt radionett til å håndtere JB-frekvenser. I migrasjonsperioden må også her 5,6 MHz-båndet deles mellom FRMCS og GSM-R. Utbygging av manglende dekning må skje i kommersielt nett. Herding av kommersielt nett må gjøres i den grad det finnes nødvendig, men dette er uproblematisk.

Alternativ 3

Migrasjon langt lettere enn for alternativ 1 og 2, siden man går over til kommersiell frekvensbruk. Valgt operatør sitt nett kan i stor grad brukes slik det er, og gi parallell drift i migrasjonsperiode. Utbygging av manglende dekning må skje der det trengs. Herding av nett må gjøres i den grad det finnes nødvendig, men dette er uproblematisk.

Alternativ 4

På strekninger med bare Bane NOR-dekning, er migrasjon noe vanskelig. Dette fordi 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen - ganske likt alternativ 1. Men utfordringen er sannsynligvis noe mindre enn i alternativ 1, fordi de mest trafikkfete områdene i landet vil avlastes godt av kommersielt nett.

På strekninger med både Bane NOR- og kommersiell dekning, er migrasjon fortsatt utfordrende, fordi 900-bånd også her må deles mellom GSM-R og FRMCS. Men kommersielt nett vil avlaste trafikken godt, og gjøre det noe lettere enn for alternativ 1. Det er mulig at man kan akseptere korte strekninger med kun kommersiell dekning.

Alternativ 5

På strekninger med bare Bane NOR-dekning, er migrasjon noe vanskelig. Dette fordi 900-bånd må deles mellom GSM-R og FRMCS i migrasjonsfasen - ganske likt alternativ 1. Men utfordringen er sannsynligvis noe mindre enn i alternativ 1, fordi de mest trafikkfette områdene i landet vil avlastes godt av kommersielle nett.

På strekninger med etablerte kommersielle nett er migrasjonen uproblematisk. I den geografiske delen av landet der det allerede er dekning med tre kommersielle nett, er det lett å gå direkte over til disse. Hovedutfordringen er å bygge ut dekning for alle tre operatører der det mangler i dag. GSM-R -lokasjoner som kan brukes til dette, må i stor grad oppgraderes med tanke på passiv infrastruktur.

Alternativ 6

På strekninger med etablerte kommersielle nett er migrasjonen uproblematisk. I den geografiske delen av landet der det allerede er dekning med tre kommersielle nett, er det lett å gå direkte over til disse. Hovedutfordringen er å bygge ut dekning for alle tre operatører der det mangler i dag. GSM-R -lokasjoner som kan brukes til dette, må i stor grad oppgraderes med tanke på passiv infrastruktur. Antallet slike lokasjoner er større enn for alternativ 5.

8.3.5 Ytre Miljø

Påvirkningen på det ytre miljø er vurdert til middels verdi, hovedsakelig begrunnet med at vi ikke vet hvilke nøyaktige lokasjoner som vil bli utsatt for inngrep. Vi antar at det tas sikte på at inngrepene, i den grad det er mulig, gjøres på mest mulig skånsom måte. Det bør gjøres en grundigere verdi- og sårbarhetsanalyse når mer nøyaktig plassering av lokasjoner er kjent, for å synliggjøre konsekvensen på de fem ikke-prissatte temaene fra Håndbok V712.

Tabell 26 Ytre miljø

Alternativ	Verdi	Påvirkning	Konsekvens
Alternativ 1: 900	middels	Liten negativ	--
Alternativ 2: 900	middels	Liten negativ	--
Alternativ 3	middels	Middels negativ	---
Alternativ 4	middels	Liten negativ	--
Alternativ 5	middels	Liten negativ	--
Alternativ 6	middels	Stor negativ	----

Alternativ 1: 900 MHz

Alternativet gir liten påvirkning av det ytre miljø. Det vil måtte bygges et mindre antall nye lokasjoner langs jernbanen. Derav en liten negativ konsekvens.

Alternativ 2: 900 MHz

Alternativet gir middels påvirkning av det ytre miljø. Det vil måtte bygges et antall nye lokasjoner langs jernbanen for at en kommersiell operatør skal få full dekning i på alle jernbanestrekningene.

Alternativ 3

Alternativet gir middels påvirkning av det ytre miljø. Det vil måtte bygges et antall nye lokasjoner langs jernbanen for at en kommersiell operatør skal få full dekning i på alle jernbanestrekninger.

Alternativ 4

Alternativet gir en liten negativ påvirkning på det ytre miljø, sammenlignet med nullalternativet. Det vil måtte bygges et mindre antall nye Bane NOR-lokasjoner langs jernbanen på samme måte som for alternativ 1. Dekning fra kommersiell operatør er "som den er", og dermed heller ingen konsekvens for det ytre miljø fra denne. Derav til sammen en liten negativ konsekvens.

Alternativ 5

Liten negativ påvirkning av det ytre miljø. Det vil sannsynligvis måtte bygges et mindre antall nye lokasjoner langs jernbanen for at kommersielle operatører skal få full dekning i aktuell, men avgrenset geografisk del av landet. Derav en liten negativ konsekvens.

Alternativ 6

Alternativ 6 gir stor negativ påvirkning av det ytre miljø. Det vil måtte bygges et større antall nye lokasjoner langs jernbanen for at alle 3 kommersielle operatører skal få full dekning i hele landet. Der passiv infrastruktur er eid av Bane NOR kan denne benyttes for innplassering, så må sannsynligvis likevel en vesentlig del av lokasjonene oppgraderes. Dette kan gjelde både kraftforsyning, hytte og mastekapasitet.

8.3.6 Sammenstilling ikke-prissatte konsekvenser

Alternativene varierer om de samlet sett har positiv eller negativ innvirkning på samfunnsøkonomien. Ut fra vurdering har hvert alternativ oppnådd en score, som de rangeres ut fra.

Tabell 27 Sammenstilling ikke-prissatte virkninger

Ikke-prissatte	Alt 1: 900	Alt 2: 900	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Fleksibelt og fremtidsrettet	++	++	+++	+++	+++	++++
Effektiv utnyttelse		++	+++	++	++	++++
Innlåsnings-effekt og konkurransevridding	+	---	---	+	++	++
Implementering (strategi)			+++			
Ytre Miljø	---	---	---	---	---	-----
Samfunnsøkonomisk virkning						
SUM	0	-2	1	3	4	5

Alternativ 3,4, 5 og 6 gir, utfra vurderte ikke-prissatte konsekvenser et positivt bidrag til samfunnsøkonomien. Alternativ 1 gir samlet sett ingen endring, men Alternativ 2 gir et negativt bidrag til samfunnsøkonomien. Dette er i hovedsak knyttet til at alternativet kommer noe svakere ut på virkningene fleksibelt og fremtidsrettet og effektiv utnyttelse, samtidig som det får en relativt høyere negativ konsekvens når det kommer til innlåsnings-effekt og konkurransevridding.

8.3.7 Restverdier

Analyseperioden er fastsatt til å vare ut 2042. Ifølge Finansdepartementets Rundskriv R-109 skal det for konsepter med lenger levetid enn nullalternativet beregnes restverdier. Restverdien skal gi et anslag på verdien, og kan defineres som forventet nytte ved at man videre realiserer løsningen etter endt analyseperiode. Alle alternativene er forventet å gi restverdier utover analyseperioden, da de ulike kompetene vil ha lenger levetid enn 2042. Tradisjonelt behandles restverdier som en prissatt konsekvens, ved en beregning av nyttestrøm siste år. I denne KVUen er nyttevirkinger utover kostnad vurdert som ikke-prissatte og restverdien håndteres dermed kvalitativt.

Tabell 28 Restverdier

Element	Forventet levetid, år
Passiv infrastruktur	30
Tunellradioanlegg	10
Radioaksessnett	10
Transmisjon	10
Kjernenett	10
MCx	10
Ombordutrustning i tog	30

Det antas at passiv infrastruktur og ombordutrustning vil ha en resterende levetid på om lag 20 år ved analyseperiodens utløp. For investeringene i Radioaksessnett, transmisjon, kjernenett er det lagt til grunn at investeringene vil gjøres løpende i anleggsperioden, og at levetiden for om lag halvparten vil utløpe i analyseperioden. Det er i driftskostnader lagt inn reinvesteringer, og komponentene vil dermed ha en restverdi på 5-7 år i 2042. Restverdien må ansees som en realopsjon, da verdien avhenger av bruk av løsningene.

Det er vurdert at det er grunnlag for å forvente at investeringer og reinvesteringer i systemer og kompetanse og utvikling av teknologi vil kunne gjenbrukes etter endt analyseperiode, i tillegg til passiv infrastruktur.

8.4 Sammenstilling samfunnsøkonomisk analyse

Tabell 29 Sammenstilling samfunnsøkonomisk analyse

	Referanse	Alt 1: 900	Alt 2: 900	Alt 3	Alt 4	Alt 5	Alt 6
Virkninger for det offentlige							
Investeringskostnader	-	3 577	3 427	3 127	3 851	4 137	3 492
Drift (sum anlegg og analyseperiode)*	3 301	3 424	1 307	1 775	3 469	2 738	2 048
Sum	3 301	7 001	4 734	4 903	7 320	6 875	5 540
Virkninger for private aktører							
Investeringskostnad	-	-	523	471	-	-	641
Drift (Inntekter mobilabonnement)	-	-	-	-604	-604	-1 805	-1805
Nåverdi							
Diskonterte kostnader	2 208	5 265	4 245	4 632	5 518	5 271	5 381
Skattefinansieringskostnad	442	1 053	819	907	1 187	1 277	1 170
Samfunnsøkonomisk nåverdi kostnader	2 649	6 318	5 064	5 539	6 696	6 547	6 551
Rangering		3	1	2	6	4	5
Ikke-prissatte konsekvenser							
Fleksibelt og fremtidsrettet		++	++	+++	+++	+++	++++
Effektiv utnyttelse			++	+++	++	++	++++
Innlåsingeffekt og konkurransevridding		+	---	---	+	++	++
Implementering (strategi)				++			
Ytre Miljø		---	---	----	---	---	-----
Rangering ikke-prissatte		5	6	4	3	2	1

I tilfeller hvor den samfunnsøkonomiske lønnsomheten er eneste beslutningskriterie bør i prinsippet prosjekter med negativ samfunnsøkonomisk lønnsomhet ikke gjennomføres. I denne KVUen er det kun kostandsvirkningene som er prissatt, og det er dermed ikke beregnet en nyttekostnadsbrøk. Beslutningsgrunnlaget er dermed kostnadene for samfunnet vurdert opp mot ikke-prissatte virkninger. Det er i tillegg andre hensyn enn den samfunnsøkonomiske lønnsomheten som vektlegges i denne KVUen, herunder regulatoriske restriksjoner og usikkerhet knyttet til regelverksendringer. I lys av dette sikter den samfunnsøkonomiske beregningen å belyse kostanden for samfunnet i de ulike alternativene, samt hvordan de ikke-prissatte virkningene gir et positivt eller negativt bidrag.

8.5 Realopsjoner

Muligheten til å endre konseptene underveis i analyseperioden, uten for høye kostnadskonsekvenser omtales som realopsjoner. Verdien til realopsjoner relevant i de tilfeller hvor det er sannsynlig at det vil oppstå ny, og beslutningsrelevant informasjon. Fleksibiliteten i konseptene og sannsynligheten for at det vil komme ny beslutningsrelevant informasjon i tiden som kommer angir konseptenes realopsjonsverdi.

Da dagens GSM-R har nådd sin levetid, vil det ikke være relevante realopsjoner knyttet til utsettelse av FRMCS. Det er videre kjent at det vil komme ny beslutningsrelevant informasjon i tiden som kommer, som indikerer at det eksisterer realopsjonsverdier ved å utsette beslutningen om endelig valgt alternativ så lenge som mulig. Det er en betydelig del av kostnadene som er teknologi-uavhengig og kan gjennomføres uten å vente på de endelige spesifikasjonene for FRMCS

8.6 Fordelingsvirkninger

Alle alternativene gir en løsning som vil sikre fortsatt togfremføring, og vil komme befolkningen som i dag har et togtilbud til gode. Analysen er begrenset til å omfatte FRMCS og det gjøres ikke noen ytterlig betraktning av nettdekning utover behov togfremføring, de geografiske fordelingsvirkningene slår dermed ikke ut noe annerledes enn i dag. Det er områder som allerede har et togtilbud, som vil fortsette å ha samme togtilbud etter tiltaket.

Kostandene ved de ulike alternativene dekkes over offentlige budsjetter og kommersielle aktører. Alternativ 2, 3 og 6 innebærer at MNO tar en del av investeringskostnaden i den passive infrastrukturen. Dette er hensyntatt gjennom skattefinansieringstap i kostnadsanalysen. I noen av alternativene kan det oppstå omfordelingseffekter av midler fra Bane NOR til MNO. Denne risikoen er hensyntatt ved overføringer i kostnadsanalysen, og delvis belyst under ikke-prissatte konsekvenser under innlåsingseffekt og konkurransevridding.

Det er relativt marginale fordelingsvirkninger av de ulike alternativene, som ikke endrer rangering av alternativene.

9 Anbefaling

Konseptvalgutredningen har analysert 6 alternativer for innføring av nytt togkommunikasjonssystem FRMCS i Norge. I vurderingen av de prissatte virkningene rangeres alternativ 2 og 3 høyest, men det er ikke avgjørende forskjeller på de 6 alternativene. Alternativ 5 og 6 rangeres høyest i vurderingene av de ikke prissatte virkningene.

Alternativ 3,5 og 6 baseres på utelukkende bruk av kommersielle frekvenser og kjøp av tjenester fra mobilnettoperatørene. Foreliggende europeiske regelverk fastlegger at bestemte frekvensbånd (900 MHz og/ eller 1900 MHz) skal benyttes for FRMCS. Regelverket gir pr i dag ikke aksept for bruk av øvrige frekvenser, bl.a. utelukkende kommersielle frekvenser. Det er signaler om at en slik løsning kan bli tillatt i fremtiden, men det er usikkert om/ når dette vil kunne skje (etter 2026).

Alternativene 1, 2 og 4 er innenfor gjeldende regelverk for FRMCS. I vurderingene av de ikke prissatte virkningene rangeres alternativ 4 foran alternativ 1 og 2.

Alternativ 4 er et «hybrid» alternativ som består av to nett; et landsdekkende FRMCS-nett (tilsvarende dagens GSM-R -nett) og bruk av ett kommersielt mobilnett (uten at dette forsterkes). Den kapasitet dette mobilnettet vil gi, kan ses på som et supplement til kapasiteten i FRMCS-nettet. Alternativ 4 gir også redundans for togradiokommunikasjon på deler av jernbanenettet og vurderes derfor som et mere robust alternativ enn alt. 1 og 2.

På grunn av usikkerheter knyttet til gjennomførbarhet for alt. 3, 5 og 6, samt ønsket om en mest mulig robust togkommunikasjonsløsning, anbefales at alternativ 4 legges til grunn for forprosjektet. Dette utelukker ikke eventuell senere overgang til andre alternativer.

Dagens togkommunikasjonssystem GSM-R forventes å måtte avvikles innen 2033-35. Utviklingen av FRMCS pågår, men spesifikke FRMCS-komponenter forventes ikke å være på markedet før i 2028. Anslått implementeringstid for FRMCS er 5 år.

En stor del av kostnadene knyttet til FRMCS-etablering består av fornyelse/ oppgradering av dagens passive infrastruktur for GSM-R (master, hytter, strømforsyning m.m.). Denne oppgraderingen er teknologi-uavhengig og kan gjennomføres uten å vente på de endelige spesifikasjonene for FRMCS. Siden det vil ta tid å oppgradere den passive infrastrukturen i hele landet vil en så tidlig som mulig start anbefales.

Det anbefalte alternativet innebærer at FRMCS kan innføres som fornyelse av dagens togkommunikasjonssystem (GSM-R). Den passive infrastrukturen anbefales gradvis fornyet i perioden 2025-32, mens de FRMCS-spesifikke komponentene anskaffes og forventes installert i perioden 2028-32.

Parallelt med dette KVVU-arbeidet har Bane NOR arbeidet med forprosjekt for «Bedre nettdekning langs jernbanen» for passasjerer på jernbanen. Dette forprosjektet vil foreligge senere høsten 2023.

Det gjennomføres en tilleggsutredning av samordning mellom prosjekt FRMCS og prosjekt «Bedre nettdekning langs jernbanen» når forprosjektet foreligger. Tilleggsutredningen skal identifisere eventuelle samordningsgevinster mellom prosjektene, med sikte på mest mulig optimal samlet ressursutnyttelse for alle planlagte mobile kommunikasjonssystemer langs jernbanen.

10 Føringer for forprosjektfasen

10.1 Suksessfaktorer

Utvikling av MCx

Man må på et tidlig tidspunkt avklare utviklingsløp og løsning for MCx for å nå gjennomføringsplanen for implementering av FRMCS. Det må også avklares om MCx skal utvikles for jernbanesektoren isolert eller om man skal søke samarbeid med DSB og nytt nødnett eller andre statlige aktører for en felles MCx-løsning.

Løse ombordutrustning

Anskaffelse av chipsett og utstyr til ombordutrustning kan bli en utfordring om valgt løsning ikke er hylleware hos produsentene. Det blir viktig å følge utviklingen i UIC og søke muligheter for felles innkjøp med andre nasjoner for å sikre sin plass i køen.

Anleggsgjennomføring

Prosjektet må planlegge og søke om bruddtider for ombygging av passiv infrastruktur. Dette er spesielt viktig for tunnel da arbeid ikke kan utføres med tog i drift.

Prosjektorganisasjonen

Prosjektorganisasjonen må tidlig sikre seg markedskompetanse innen 5G og FRMCS. De kommersielle operatørene kommer til å rette blikket mot 6G og det er da mye 5G kompetanse tilgjengelig som Bane NOR må sikre seg. Bane NOR må og bygge kompetanse innen MCx.

Bidrag inn i standardiseringsprosesser internasjonalt

Dette punktet må sees i sammenheng med ombordutrustning og utvikling av MCx. For å få til en smidig prosess internasjonalt er det viktig at jernbanevirksomhetene i Europa er mest mulig samkjørte i sine behov og bestillinger og klarer å samarbeide seg imellom i møte med leverandører og tredjeparter.

10.2 Tidsplan og videre aktiviteter



Figur 30 Overordnet tidsplan frem til ferdigstilling

10.2.1 Forprosjekt FRMCS

Forprosjektet må starte opp i 2024 og inneholde mandat for å planlegge en rekke aktiviteter for de kommende år.

Nødvendig oppgradering av organisasjonen må identifiseres og tiltak planlegges. Dette inkluderer krav til kapasitet og nødvendig kompetanse for anskaffelse, teknisk prosjektering, utbygging og drift av FRMCS. En plan for oppgradering utarbeides med tanke på gjennomføring i 2025-27.

Behovene for oppgradering av eksisterende passiv infrastruktur og bygging av ny passiv infrastruktur må identifiseres. Som anbefalt kan og bør etablering av passiv infrastruktur for FRMCS starte tidlig, og en overordnet plan for gjennomføring i perioden 2025-32 må utarbeides.

Omfang og strategi for anskaffelse av FRMCS-utstyr må estimeres og utarbeides. En plan for gjennomføring av anskaffelser med tidligst start 2027 fram til anleggsperiodens slutt i 2032 må utarbeides.

10.2.2 Budsjettering

Årlige budsjett må estimeres og innmeldes for oppgradering av passiv infrastruktur, anskaffelse av FRMCS og videre drift av GSM-R for perioden 2025-27. Budsjettbehov for tilsvarende tiltak videre framover må estimeres og meldes inn i NTP 2025-36.

10.2.3 Samarbeid med andre aktører

Videre samarbeid med Nødnett for evt. utvikling av en felles MCx må planlegges og gjennomføres. Deltakelse i internasjonal standardisering, interesseorganisasjoner og FoU bør også gjennomføres og kontinuerlig evalueres i etableringsperioden for FRMCS utfra behovet for å påvirke utviklingen, bygge kompetanse og relasjoner.

10.2.4 Ombygging tog

Alle norske tog må bygges om for FRMCS ved at TOBA-enhet, tilhørende kabling og radioantenner installeres om bord. Vi vet ikke i dag hvor tidkrevende ombygging blir, eller hva ombygging vil koste. Erfaringene fra ERTMS-prosjektet og ombygging av tog for ETCS har vist at dette kan være svært tidkrevende, og tar lengre tid enn det man i utgangspunktet forventet.

Som vi har kommet frem til i kapittel 7.2 vil det mest hensiktsmessige være å bygge om togene samtidig som nett-infrastrukturen bygges. Da vil perioden hvor FRMCS og GSM-R må eksistere side om side reduseres. Dette forutsetter at ferdig ombygde tog fortsatt har støtte for GSM-R.

Samtidig vet vi at det er aktuelt å innføre ATO i Norge. KVUen som skal gi anbefalinger om ATO kjenner vi ikke innholdet av, men vi vet med stor sikkerhet at togene også må bygges om for å kjøre med ATO. Grad av ombygging vil sannsynligvis avhenge av hvilken automasjonsgrad man skal bruke, og det er ikke sikkert at alle typer togsett skal ha utrustning for ATO. Dette fordi det ikke er klarlagt i hvor stor del av jernbanenettet ATO skal tas i bruk.

Med kunnskap om at det vil bli behov for ombygging av tog for FRMCS, og at det også vil bli nødvendig med ombygging dersom ATO skal innføres, vil det høyst sannsynlig være fornuftig å samordne dette. Ved å bygge om togene for både FRMCS og ATO samtidig, vil man få en gevinst.

En felles utbygging vil med stor sannsynlighet koste mindre og ta kortere tid enn å bygge om togene to ganger. En felles ombygging vil medføre kortere total tid hvert tog er ute av drift, og vil etter alt å dømme være enklere å planlegge og administrere. Utfordringen kan være ønsket tidspunkt for implementering. Det kan hende at ønsket tidsrom for ombygging ikke vil sammenfalle i tid. En utsettelse av ATO, samtidig som behovet for FRMCS tilsier at ombygging må skje, kan gi argumenter for å skille de to utbyggingene.

Vi vil imidlertid anbefale at det gjøres så mye som mulig for å koordinere toginstallasjoner for disse to prosjektene, så fremt ATO ikke blir helt uaktuelt. Det er sannsynligvis mulig å installere ATO-utrustningen i togene en viss periode før den vil bli tatt i bruk. Her spiller standardisering, teknologisk utvikling og regelverk en rolle. Det vil være så mye og hente på å bygge om samtidig, at det vil være svært uheldig å la være. Forprosjektet for FRMCS bør vurdere disse mulighetene nærmere. Samtidig vil det være hensiktsmessig å koordinere med et eventuelt forprosjekt for ATO.

10.3 Hva bør offentlige tiltak bestå av og medføre?

I det store, generelle bildet er et togkommunikasjonssystem et statlig eid system som den norske staten, ved Bane NOR, skal anskaffe og stille til rådighet for jernbanen. Togkommunikasjon er en nødvendig forutsetning for togfremføring, og noe som er det offentlige sin oppgave å betale for. Samtidig er innføring av nytt nødnett i Norge også en offentlig finansiert tjeneste. Det er som vi har nevnt mulig å kombinere bygging av disse to nettene, som begge må være offentlige investeringstiltak.

Det tredje prosjektet vi har nevnt, «Bedre nettdekning langs jernbanen», er av en litt annen natur. Dette prosjektet har mål om å bedre den kommersielle dekningen langs jernbanen, noe som det kan hevdes er en oppgave som bør overlates til markedet og de tre kommersielle mobilnetteierne i Norge, Telenor, Telia og ICE.

Imidlertid har det over flere tiår vist seg vanskelig å få disse operatørene til å prioritere bygging av bedre dekning langs jernbanen. Årsaksbildet bak dette er nok sammensatt, men det har tydelig vist seg at operatørene finner det lite attraktivt, og anser utbygging som lite kostnadseffektiv. Det å bygge dekning

utelukkende for jernbanestrekninger har tapt, og taper fremdeles i prioriteringen opp mot andre områder som har større kundetetthet og trafikkgrunnlag for operatørene. Derfor er det grunner til at staten skal finansiere kommersiell utbygging langs jernbanen, helt eller delvis, eller ved hjelp av ulike andre typer insentiver. Dette er gjenstand for grundig drøfting i KVVU-en «Bedre nettdækning langs jernbanen».

Av disse tre prosjektene, har vi altså da to som tydelig sorterer under det som skal finansieres av det offentlige. Det tredje prosjektet, «Bedre nettdækning langs jernbanen», er av en slik karakter at staten sannsynligvis ser seg nødt til å bidra med finansiering i en viss grad. Dette betyr ikke at staten skal bære hele kostnaden for å oppnå ønsket effekt og gevinst. Delvis finansiering, konkurranseutsetting og ulike andre insentiver vurderes for å oppnå målene, nemlig fullgod kommersiell dekning for de reisende.

Dermed er det slik at staten skal finansiere både nytt togkommunikasjonssystem og nytt nødnett, mens den også er involvert i etablering av nettdækning for jernbanen gjennom finansiering og/ eller andre insentiver. Derfor er det tydelig at det for den norske staten finnes store muligheter for kostnadsbesparelser ved å se på utbygging av disse tre nettene i et samlet perspektiv. Felles samordning og integrasjon av teknisk infrastruktur og nettverkskomponenter kan sannsynligvis gjennomføres for å redusere de totale kostnadene for staten. Mye tyder på at det er forholdsvis store kostnader å spare ved å bygge disse tre nettene på en måte som utnytter felles infrastruktur, sammenlignet med å bygge nettene hver for seg uten noen form for samordning.

10.4 Gevinstrealiseringsplan

Det bør i senere faser utarbeides en gevinstrealiseringsplan for prosjektet. Gevinstrealiseringsplan er et verktøy for å styre og rapportere på gevinster av tiltaket. Det er en plan som identifiserer, kvantifiserer og beskriver de forventede gevinstene som skal oppnås gjennom gjennomføringen av prosjektet, og gir en strukturert og målrettet tilnærming for å sikre at ønskede gevinstene blir oppnådd.

Gevinstrealiseringsplanen vil gi et grunnlag for å evaluere og rapportere på status for gevinster i ulike faser av prosjektet, og gjennom regelmessig rapportering basert på gevinstrealiseringsplanen kan man følge opp fremdriften med å oppnå identifiserte gevinster. Dette inkluderer å rapportere på faktisk realiserede gevinster i forhold til planlagte gevinster, identifisere eventuelle avvik og årsaker til avvik, samt iverksette tiltak for å korrigere kursen dersom det er nødvendig.

Rapportering basert på gevinstrealiseringsplanen gir interessenter og beslutningstakere innsikt i fremdriften og resultatene av prosjektet. Det bidrar til å opprettholde transparens, ansvarlighet og tillit i organisasjonen ved å sikre at gevinstene blir nøye fulgt opp og realisert i tråd med planen. Rapporteringen kan inneholde oppdateringer om hver gevinst, herunder fremgang, eventuelle hindringer som er blitt løst, og andre relevante detaljer som viser gevinstens verdi og betydning for virksomheten, eller samfunnet.

Samlet sett er gevinstrealiseringsplanen et verdifullt verktøy for å styre og rapportere på realiseringen av gevinster i prosjektet. Den bidrar til å sikre at gevinstene blir tydelig definert, prioritert og fulgt opp, og at rapporteringen gir innsikt i fremdrift og resultater i forhold til planen.



Jernbane-
direktoratet

Dokument nr:

Dato:

Confidential

