

2019:01389 - Åpen

# Rapport

## En sikker investering for fremtiden(?)

Etterevaluering av Jernbaneverkets utbygging av togradiosystemet GSM-R

### Forfatter(e)

Håkon Finne, Hilde Aspenberg Jordal, Andreas Dypvik Landmark,  
Knut Samset og Trine Marie Stene



Foto: Njål Svingheim / Jernbaneverket

# Rapport

## En sikker investering for fremtiden(?)

Ettrevaluering av Jernbaneverkets utbygging av togradsystemet GSM-R

**EMNEORD:**evaluering  
investering  
jernbane  
GSM-R**KEYWORDS:**evaluation  
investment  
railway  
GSM-R**VERSJON**

1.0

**DATO**

2019-12-10

**FORFATTER(E)**Håkon Finne, Hilde Aspenberg Jordal, Andreas Dypvik Landmark,  
Knut Samset og Trine Marie Stene**OPPDRAGSGIVER(E)**

Concept-programmet

**OPPDRAGSGIVERS REF.**

Gro Holst Volden

**PROSJEKTNR**

102017577

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

76

**SAMMENDRAG**

Rapporten gjør en ettrevaluering av en investering på 1,7 milliarder (løpende kroner) i nytt togradsystem (GSM-R) i Norge i perioden 2003-2008. Kriteriene er produktivitet i utbyggingsfasen, effekter av investeringen (måloppnåelse), ytterligere virkninger, fortsatt relevans, løsningsens levedyktighet og samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

Da investeringen ble gjort, var den internasjonalt omforente GSM-R-standarden ti år gammel, en anselig alder innen mobiltelefonens verden. Løsningen ville tilfredsstillende behovene for talekommunikasjon og datatransport i lang tid, men den ville først komme til sin fulle rett med ytterligere investering i et signal- og togframføringssystem (kalt ERTMS) som så vidt er påbegynt installert nå, ytterligere ti år senere. Altså var det en investering for fremtiden – med en teknologi som blir foreldet i øvrige samfunnssektorer lenge før den gir full uttelling i jernbanen. Nye standarder er under utvikling.

**UTARBEIDET AV**

Håkon Finne

**SIGNATUR****KONTROLLERT AV**

Lone Sletbakk Ramstad

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Sigmund Kvernes

**SIGNATUR****RAPPORTNR**

2019:01389

**ISBN**

978-82-14-06236-6

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

## FORORD

Denne rapporten er en etterevaluering av Jernbaneverkets (nå Bane NORs) investering i mobiltelefonisystemet GSM-R for drifts- og nødsamtaler og datakommunikasjon i jernbanen. Rapporten er skrevet på oppdrag fra forskningsprogrammet Concept ved NTNU og inngår i programmets serie av etterevalueringer av store statlige investeringsprosjekter. Disse evalueringene vurderer investeringene etter operasjonelle, taktiske og strategiske kriterier etter at byggene, veiene, jernbanestrekningene, IT-systemene eller – som i dette tilfellet – telekommunikasjonssystemene – har vært i bruk i noen år.

Evalueringssprosjektene er forholdsvis små og fokuserer mest på de langsiktige virkningene av investeringen. Viktige føringer for disse virkningene ligger også ofte svært langt bak i tid, lenge før prosjektene har startet. Dette betyr et relativt sett mindre fokus på selve prosjektgjennomføringen. Datatilgangen er ofte slik at den begrenser muligheten til grundige undersøkelser. Intervjuer er en viktig del av datamaterialet. Intervjuer om hva som hendte for over ti år siden er avhengige av at man finner gode informanter for at de skal gi gode data. På ti år har dessuten mange relevante personer byttet jobb eller pensjonert seg, slik at de kan være vanskelig å få i tale. I dette prosjektet har vi vært heldige og funnet gode informanter på nesten alle områder der vi ønsket å supplere skriftlig dokumentasjon. Vi takker alle for at de velvillig stilte opp og delte informasjon, erfaringer og synspunkter.

Rapportens forfattere er som følger (med prioritert kompetansebidrag i parentes):

Seniorforsker Håkon Finne, SINTEF Teknologiledelse (evaluering)

Forsker Hilde Aspenberg Jordal, NTNU Concept (samfunnsøkonomi)

Forsker Andreas Dypvik Landmark, SINTEF Teknologiledelse (jernbane)

Professor Knut Samset, NTNU Concept (strategiske evalueringskriterier)

Seniorforsker Trine Marie Stene, SINTEF Teknologiledelse (sikkerhet)

Vi takker også førsteamanuensis Bjørn Otto Elvenes, NTNU, og seniorforsker Lone Sletbakk Ramstad, SINTEF Teknologiledelse (SINTEFs kvalitetssikrer), for kommentarer til rapportutkast.

Forsidebildet viser operasjonssentralen for GSM-R-sentralen på Marienborg i Trondheim.

Trondheim, desember 2019

Håkon Finne  
prosjektleder

## INNHOLDSFORTEGNELSE

Forord .....	2
Innholdsfortegnelse .....	3
Figurer og tabeller.....	5
Sammendrag .....	6
Summary .....	8
<b>1 Innledning: Om evalueringen .....</b>	<b>10</b>
1.1 Evalueringsobjektet .....	10
1.2 Evalueringsprosjektet .....	10
1.3 Metode og datagrunnlag .....	10
1.4 Leserveiledning .....	11
<b>2 Bakgrunn og historikk.....</b>	<b>12</b>
2.1 Jernbanen, dens utfordringer og organisering, og betydningen for GSM-R-prosjektet.....	12
2.2 Prosjektets forhistorie.....	14
2.2.1 Behovet for (ny) togradio .....	14
2.2.2 Nytt togradiosystem .....	17
2.2.3 ERTMS: Stadig tettere systemintegrasjon .....	18
2.2.4 Åsta-ulykken .....	18
2.2.5 Finansiering og politisk behandling .....	19
2.3 Løsningen .....	22
2.4 Alternative konsepter (mulighetsrommet).....	26
2.4.1 Behovene og løsningsmulighetene.....	26
2.4.2 Tekniske konsepter .....	27
2.4.3 Nullalternativ .....	27
<b>3 Prosjektets målstruktur og målformuleringer .....</b>	<b>29</b>
<b>4 Produktivitet i utbyggingsfasen.....</b>	<b>34</b>
4.1 Produktivitetskriteriet og hvordan det kan vurderes .....	34
4.2 HMS.....	34
4.3 Kvalitet .....	34
4.4 Tid/framdrift .....	35
4.5 Økonomi.....	37
4.6 Konklusjon.....	38
<b>5 Effekter av investeringen .....</b>	<b>39</b>

5.1	Måloppnåelseskriteriet og hvordan det kan vurderes .....	39
5.2	Sikkerhet .....	39
5.2.1	Tilnærming .....	39
5.2.2	Hvordan GSM-R kan bidra .....	40
5.2.3	Ulykkes- og hendelsesbildet .....	42
5.2.4	Faktiske og avvergede enkeltulykker .....	43
5.2.5	Alnabru/Sydhavna-ulykken i 2010 .....	44
5.2.6	GSM-R i etter-situasjoner .....	45
5.2.7	Dekning og tilgjengelighet .....	46
5.2.8	Konklusjon .....	47
5.3	Mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet .....	48
5.3.1	Tilnærming .....	48
5.3.2	Hvordan GSM-R kan bidra .....	49
5.3.3	Kapasitetsutnyttelsesbildet .....	49
5.3.4	Konklusjon .....	54
5.4	Driftsøkonomi .....	54
5.5	Samlet oppnåelse av effektmål og samfunns mål .....	56
<b>6</b>	<b>Ytterligere virkninger av prosjektet .....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Fortsatt relevans .....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>Løsningens levedyktighet .....</b>	<b>61</b>
8.1	Levedyktighetskriteriet og hvordan det kan vurderes .....	61
8.2	Levetid: teknisk, økonomisk, behovsdrivet, standardbestemt, eller hva? .....	61
8.3	TETRA og andre konkurrerende standarder .....	63
<b>9</b>	<b>Samfunnsøkonomisk lønnsomhet .....</b>	<b>65</b>
9.1	Lønnsomhetskriteriet og hvordan det kan vurderes .....	65
9.2	Nullalternativet: Hva sammenlikner vi med? .....	65
9.3	Samfunnsøkonomisk nytte .....	67
<b>10</b>	<b>Samlet vurdering og konklusjoner .....</b>	<b>70</b>
10.1	Samlet vurdering .....	70
10.2	Konklusjon: Framtider i utakt .....	71
<b>11</b>	<b>Litteraturreferanser .....</b>	<b>73</b>

## FIGURER OG TABELLER

Figur 1: Utbredelsen av Scanet, CTC og ATC i 2000.....	16
Figur 2: GSM-R-utstyr .....	23
Figur 3: GSM-R og ATC.....	24
Figur 4: Prinsipp for nødalarm med selektiv kringkasting i et GSM-R-system .....	25
Figur 5: Programlogikk for GSM-R-prosjektet .....	33
Figur 6: Togradiodekning i 2005 (Scanet og GSM-R fase 1) og 2008 (GSM-R fase 2).....	35
Figur 7: Jernbanehendelser 1997-2018.....	43
Figur 8: Maksimal kapasitetsutnyttelse per jernbanestrekning (2015) .....	50
Figur 9: Punktlighet, regularitet og forsinkelser i jernbanen, 1997-2017 .....	51
Figur 10: Forsinkelser i perioden 2010-2015 med forbindelse til GSM-R .....	53
Tabell 1: Finansieringsstrøm.....	22
Tabell 2: Hovedmilepæler .....	36
Tabell 3: Kostnadsplaner over tid (løpende MNOK).....	37
Tabell 4: Betydning av GSM-R for risikobildet.....	41
Tabell 5: Skalafortolkning for vurderingskriterier .....	70
Tabell 6: Tallfestet vurdering.....	71

## SAMMENDRAG

Rapporten evaluerer Jernbaneverkets investering på 1,7 milliarder kroner over perioden 2003-2008 i utvikling og landsdekkende installasjon av et system for trådløs tale- og datakommunikasjon mellom tog og togledersentraler. Systemet skulle gi en sikrere jernbane, bedre utnyttelse av jernbanenettet og reduserte drifts- og vedlikeholdskostnader for radiosystemer i jernbanen. Systemet er et andregenerasjons mobiltelefonisystem (GSM) tilpasset spesialfunksjoner for sikkerhet og driftsunderstøttelse i jernbanen, etter en GSM-R-standard utviklet av den internasjonale jernbaneunionen UIC, nedfelt i EU/EØS-direktiv og forpliktende for jernbaneselskaper i Europa etter tilslutning til internasjonale avtaler om implementering.

GSM-R-standarden var klar i 1995 og Jernbaneverket forpliktet seg i 1997 til å implementere den som neste generasjon togradio. Systemet kom i 1998 inn i Norsk transportplan som en mulighet fra 2008. I 2000 inntraff imidlertid en møteulykke mellom to persontog (Åsta-ulykken) som krevde 19 menneskeliv. Den kunne sannsynligvis ha vært unngått hvis togradio hadde vært installert på strekningen og i de to togene. Samme år meddelte leverandøren av det eksisterende, analoge togradio-systemet som var i bruk langs halve jernbanenettet, at de la ned produksjonen. Statens jernbanetilsyn ga også en tidsbegrenset tillatelse til fortsatt drift uten togradio på tre hovedstrekninger (Nordlandsbanen, Rørosbanen og Raumabanen), under forutsetning om konkrete planer for innføring av GSM-R eller tilsvarende. Etter utredninger om alternative løsninger, prosjektering og kvalitetssikring (KS2), ble prosjektet formelt satt i gang i 2003 med et budsjett på 1,7 milliarder kroner og en sluttdato i 2006.

Stortinget delte prosjektet i to faser for å kunne komme opp med tilstrekkelig finansiering. Fase 1 omfattet utbygging på de nevnte hovedstrekningene. Deretter ble det et betydelig nedtrekk i bevilgninger i 2004 og 2005, før fase 2 kunne begynne med utskifting av togradionettet for resten av landet. Sluttdato ble dermed forlenget med to år.

Prosjektet evalueres på seks kriterier.

**Produktivitet i utbyggingsfasen.** Systemet ble i det vesentlige levert med avtalt omfang og funksjonalitet på revidert tid, innenfor kostnadsrammen og med tilfredsstillende HMS-tilstand. Etter Nederland ble Norge det land som tidligst implementerte GSM-R på nasjonal skala.

**Oppnåelse av effektmål.** Målene for økt sikkerhet og mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet, på effekt- og samfunnseffektnivå, anses for nådd, selv om de verken var tallfestet eller forbedringer er vanskelig å påvise i relevant statistikk. Denne vurderingen bygger på en analyse av hvordan systemet fungerer og brukes i daglig praksis. Den viktigste mekanismen for å kunne tilfredsstillende begge disse målene er at det brukes i samtaler for å sikre en trafikkavvikling som på en og samme tid er sikker og smidig. Det gir selvsagt ingen garanti for at en stor møteulykke ikke skal kunne oppstå igjen, bare en økt sannsynlighet for at kjente hendelsesforløp mot slik ulykker kan stanses. Målet for mer effektiv drift og vedlikehold av nødvendige kommunikasjonssystemer i jernbanen er ikke nådd; kostnadene ved å ha et eget mobiltelefonisystem var underestimert.

**Øvrige, utilsiktede virkninger.** Disse er av mindre omfang.

**Relevans.** Systemet ivaretar fortsatt de opprinnelige behovene, som vil være relevante i videre utvikling av jernbanen.

**Levedyktighet.** I gjennomsnitt har det gått ni år mellom hver gang en ny generasjon mobiltelefoni-systemer er lansert kommersielt. Investeringscykluserne i infrastruktur for jernbanen er mye lengre. Samtidig er GSM-R-standarden definisjonsmessig knyttet til en komplementerende standard for signalsystemer og togframføring (ETCS) under samleoverskriften ERTMS. GSM, og dermed GSM-R, er snart foreldet teknologi, og standarden vil neppe understøttes etter 2030. På det tidspunkt vil resten av ERTMS-systemet sannsynligvis langt på vei være innført i Norge, men da altså på foreldet teknologi. Nye standarder er under utvikling, men kompleksiteten i det hele kan gjøre det vanskelig å opprettholde og videreutvikle den interoperabilitet mellom jernbaner i ulike land som EU-kommisjonen har lagt til grunn for å sikre et indre marked for transporttjenester med tog og utbygging av infrastruktur for jernbaner.

**Samfunnsøkonomisk lønnsomhet.** Det er tilnærmet umulig å beregne nytteverdien. Et grovt anslag basert på offisielle verdier for statistisk liv til bruk i samfunnsøkonomiske beregninger av sikkerhetstiltak i samferdselssektoren, tilsier at tapet av liv alene i Åsta-ulykken beløp seg til om lag en tredel av investeringskostnadene ved GSM-R-prosjektet. Vi tar ikke stilling til om dette er en adekvat målestokk. Andre nytteverdier kan vanskelig kvantifiseres. Et reelt nullalternativ fantes heller ikke for sammenlikning.



## SUMMARY

The report evaluates Jernbaneverket's (the Norwegian National Rail Administration – NNRA's) infrastructure investment of NOK 1.7 billion over the period 2003-2008 in the development and nationwide installation of a system for wireless voice and data communication between trains and train control centres. The system should provide a safer railway, better utilization of the railway network, and reduced operating and maintenance costs for radio systems in the railway. The system is a second-generation mobile telephone system (GSM) adapted to special functions for safety and operational support of the railway, in accordance with a GSM-R standard developed by the international railway union UIC, embedded in EU / EEA directives and binding for railway companies in Europe after endorsement of international implementation agreements.

The GSM-R standard was ready in 1995 and in 1997 the NNRA committed to implementing it as its next generation train radio. The system entered the Norwegian transport plan in 1998 as an option from 2008. In 2000, however, a head-on accident occurred between two passenger trains (the Åsta accident) that took 19 lives. It probably could have been avoided if train radio had been installed on the line and in the two trains. The same year, the supplier of the existing analogue train radio system in use along the half-rail network announced that they would shut down production. The Norwegian Railway Authority also granted a time-limited permit for continued operation without two-way radio on three main routes (the Nordland, Røros, Rauma railways), subject to specific plans for the introduction of the GSM-R or equivalent. Following reports on alternative solutions, design and quality assurance (KS2), the project was formally launched in 2003 with a budget of NOK 1.7 billion and an end date in 2006.

Parliament divided the project into two phases in order to come up with sufficient funding. Phase 1 included development on the three aforementioned main sections. Subsequently, there was a significant reduction in appropriations in 2004 and 2005, before phase 2 could begin with the replacement of the train radio network for the rest of the country. The end date was thus extended by two years.

The project is evaluated on six criteria.

**Productivity in the development phase.** The system was essentially delivered with agreed scope and functionality at the revised time, within the cost framework and with satisfactory HSE condition. After the Netherlands, Norway became the first country to implement the GSM-R system on a national scale.

**Impact goal achievement.** The goals for increased safety and more efficient utilization of the railway network, at the impact and societal impact levels, are considered to have been achieved, although they were neither quantified; improvements are also difficult to detect in relevant statistics. This assessment is based on an analysis of how the system works and is used in daily practice. The most important mechanism for satisfying both of these goals is that it is used in conversations to ensure a traffic flow that is safe and smooth at the same time. Of course, it does not guarantee that a major accident will not occur again, only an increased likelihood that events known to precede such accidents can be avoided. The goal of more efficient operation and maintenance of necessary communication systems in the railroad has not been achieved; the cost of having a separate mobile phone system was underestimated.

**Other, unintended effects.** These are of lesser scope and significance.

**Relevance.** The system still meets the original needs, which will be relevant in the further development of the railway.

**Viability.** On average, nine years have passed between each time a new generation of mobile telephony systems is launched commercially. The investment cycles in railway infrastructure are much longer. At the same time, the GSM-R standard is by definition linked to a complementary standard for signal systems and train control (ETCS) under the ERTMS heading. GSM, and thus GSM-R, will soon be obsolete technology, and the standard will hardly be supported after 2030. At that time, the rest of the ERTMS system will probably be well advanced in Norway, but then on obsolete technology. New standards are under development, but the complexity of the whole process may make it difficult to maintain and further develop the interoperability of railways in different countries that the European Commission has required in order to secure a single market for rail transport services and infrastructure development. for railways.

**Social profitability.** It is virtually impossible to calculate the benefit. A rough estimate based on official values for statistical life for use in economic calculations of safety measures in the transport sector indicates that the loss of life alone in the Åsta accident amounted to about one third of the investment costs of the GSM-R project. We do not decide whether this is an adequate benchmark. Other benefits can hardly be quantified. Nor was there a realistic counterfactual development path for comparison.

## 1 INNLEDNING: OM EVALUERINGEN

### 1.1 Evalueringsobjektet

Den investeringen som evalueres i denne rapporten, er Jernbaneverkets investering i GSM-R-systemet. GSM-R er en versjon av mobiltelefonisystemet GSM, tilpasset bestemte funksjonskrav for tale- og datakommunikasjon i jernbanedrift (R for railway). Etter et første bevilgningsvedtak i Stortinget for budsjettåret 2003, ble systemet implementert i nesten hele det norske jernbanenettverket i perioden fram til 2008. Total investeringskostnad beløp seg til NOK 1,74 mrd (løpende kroner). En mer detaljert gjennomgang av løsningen finnes i kapittel 2.3.

### 1.2 Evalueringsprosjektet

Concept-programmet<sup>1</sup> har valgt GSM-R-investeringen som ett av de prosjekter som skal etterevalueres etter noen års drift med hensyn på operasjonell, taktisk og strategisk måloppnåelse. Over tid er ca. 25 investeringsprosjekter som har vært gjenstand for ekstern kvalitetssikring innen Statens prosjektstyringsregime, etterevaluert etter en felles mal utviklet ved Concept (Concept-programmet 2017). De aktuelle investeringsprosjektene kan deles inn sektorielt etter om de gjelder vei, jernbane, formålsbygg, forsvar, IKT eller telekomsystemer. Dette er den første evalueringen av en investering i et telekomsystem.

### 1.3 Metode og datagrunnlag

Evalueringstilnærmingen følger standarden anbefalt av Concept (Concept-programmet 2017) så langt praktisk mulig. Prosjektet skal evalueres etter seks kriterier:

- produktivitet i prosjektgjennomføringsfasen
- oppnåelse av effektmål
- utilsiktede virkninger
- fortsatt relevans
- (framtidig) levedyktighet
- samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

Concepts evalueringsformat tilsier å ikke nødvendigvis ta prosjektavgrensningen for gitt, men å se på om det fantes alternative måter å løse det foreliggende problemet på samfunnsnivå på. Siden 2005 har Statens prosjektmodell forutsatt en konseptvalgutredning (KVU) som tar utgangspunkt i problemformuleringen og utreder alternative løsninger, før prosjekteier velger løsning og går videre med planleggingen. Mulighetsrommet for løsning på problemet er ofte underutforsket og derfor underutnyttet (Samset 2016). I etterevalueringer av eldre prosjekter kan det være desto mer interessant å se om det fantes – eller i alle fall ble vurdert – alternativer, selvsagt uten å kunne utrede slike i en enkel etterevaluering rapport. Poenget er mer å undersøke om prosjektet ble definert ut fra en foretrukket (eller umiddelbar) løsning, kanskje også med løsningen som utgangspunkt og problemet avgrenset deretter, eller ut fra et mulighetsrom som kunne gi flere alternative løsninger. Vi diskuterer dette så langt det lar seg gjøre i kapittel 2.4.

---

<sup>1</sup> Forskningsprogrammet Concept skal utvikle kunnskap som sikrer bedre ressursutnytting og effekt av store statlige investeringer. Programmet driver følgeforskning knyttet til de største statlige investeringsprosjektene over en rekke år. En skal trekke erfaringer fra disse som kan bedre utformingen og kvalitetssikringen av nye investeringsprosjekter før de settes i gang. Programmet samarbeider med ledende norske og internasjonale fagmiljøer og universiteter, og er finansiert av Finansdepartementet.

En forutsetning for Concepts evalueringsformat er at en av ressursmessige årsaker må avgrense seg til tilgjengelig datamateriale, foruten befarings og et lite antall retrospektive intervjuer. Datagrunnlaget for denne evalueringen omfatter prosjektdokumentasjon, dokumenter fra ulike kilder, særlig fra Norsk Jernbanebibliotek, foruten intervjuer med i alt 12 nøkkelpersoner som har eller har hatt ulike funksjoner i Statens jernbanetilsyn, Bane NOR (tidligere Jernbaneverket) og Vy (tidligere NSB). Vi har brukt en typisk nøstemetode for å samle dokumentasjon, og stoppet når vi har vurdert at nytten i å forfølge et spor ville være mindre enn ulempen ved merarbeidet. Det har vært både prosjektdokumentasjon og dokumenter fra Stortingets behandling som vi ikke har funnet; vi har anført de nødvendige metodiske merknader der dette har vært tilfelle. Vi har også dratt nytte av mer detaljerte drifts- og hendelsesdata fra jernbanen, som vi har hatt relativt godt tilgang på, og av en tidligere gjennomgang av prosjektgjennomføringen. Den gjennomgangen ble gjort som en del av Concepts gjennomgang av foreliggende datamateriale for en lang rekke prosjekter.

#### **1.4 Leserveiledning**

En vurdering av investeringen etter de seks kriteriene gjennomføres i kapitlene 4 til 9. Målformuleringer å vurdere effekter opp mot er i kapittel 3 gjennomgått og omstrukturert til å passe evalueringsformatet (selvsagt uten å endre det substansielle innholdet i målene).

Kapittel 2 beskriver bakgrunnen og historikken for prosjektet, hvordan løsningen så ut, og hvilke alternativer som var tilgjengelig. Den konkrete beskrivelsen av GSM-R-løsningen finnes i kapittel 2.3. Resten av kapitlet viser hvilke kortvarige og langvarige prosesser og bindinger som førte til at prosjektet ble satt i gang minst fem år før det egentlig var tiltenkt oppstart, noe som hadde store konsekvenser på finansieringssiden, og hvordan den valgte løsningen egentlig var fastlagt minst fem år, kanskje ti år, før prosjektet faktisk startet, noe som kanskje hadde enda større konsekvenser både for den samfunnsøkonomiske lønnsomheten og for framtidige investeringer i jernbanen.

Disse langsomtvirkende prosessenes betydning for denne typen investeringer i offentlig sektor diskuteres kort igjen i kapittel 10, der vurderingene av prosjektet etter de seks kriteriene også sammenstilles og oppsummeres i tallkarakterer etter en norm gitt av Concept-evalueringenes format og mandat.

## 2 BAKGRUNN OG HISTORIKK

### 2.1 Jernbanen, dens utfordringer og organisering, og betydningen for GSM-R-prosjektet

Jernbanens fysiske, økonomiske og organisatoriske karakter, nasjonalt og internasjonalt, er viktig bakgrunn for å forstå norsk investering i GSM-R.

En jernbane er i bunnen et tett koblet fysisk system der skinnegangen setter sine ubønhørlige grenser for trafikken, både i rom og i tid. Investeringskostnadene for infrastruktur er så høye at man ikke uten videre bygger seg ut av kapasitetsproblemer med separate spor i motgående kjøreretning og med parallelle spor for tog med ulik hastighet. Økende togtetthet på sporet er et viktig tiltak for en mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet, både fysisk og økonomisk, der behovet er til stede. Videre er det betydelig bevegelsesenergi, kostbare togsett og potensielt mange passasjerer i spill, særlig ved en eventuell møteulykke i høy fart. Forebyggende sikkerhetstiltak i så vel infrastruktur som regler og praksis for togframføring er derfor av helt avgjørende betydning for sektorens legitimitet, særlig ved økende togtetthet på sporet. Dette gjennomsyrrer både investeringer, teknologi, organisasjon og kompetanse. GSM-R-prosjektet var ett av flere tiltak som hver for seg og sammen skulle gjøre det mulig å forbedre sikkerheten og utnyttelsen av jernbanenettet på samme tid, selv om disse to i utgangspunktet kan være motstridende hensyn.

Moderne togdrift styres fra en togledersentral, som har oversikt over hvor alle tog befinner seg og som gir de enkelte tog signaler for framføring på de enkelte strekninger, noenlunde analogt med en flygeledersentral.<sup>2</sup> Mange tekniske systemer understøtter dette. To av de viktigste er systemer for togkontroll, herunder signalanlegg, og togradio for samtale- og datatrafikk mellom tog og togledersentral. Begge systemene har fysiske komponenter om bord på tog, langs skinnegangen og sentralt hos togledelse, og begge forutsetter trådløs kommunikasjon mellom tog og faste installasjoner. Jo mer moderne disse systemene er, jo tettere integrert er de. Ved årtusenskiftet var det to typer delsystemer for togkontroll i drift i Norge: proprietære, sentraliserte system for togkontroll kalt CTC, og ditto system for automatisk togstans ved forbi kjøring av stoppsignal, kalt ATC.<sup>3</sup> Disse delsystemene var stort sett bygd på analog elektronikk. Dessuten var det et proprietært, analogt togradisystem kalt Scanet for direkte lydsamband mellom togfører og togleder. GSM-R-prosjektet skulle i første rekke erstatte Scanet med en ny, digital løsning for togradio.

Tekniske, organisatoriske og regulative løsninger på jernbanen er for det meste nasjonale. Det har gjort det vanskeligere å oppnå internasjonal samtrafikk. Ironisk nok var det enklere å kjøre tog over landegrensene i tider da behovet var mindre, for da trengte lokomotivene bare påfyll av kull og vann, eller diesel.<sup>4</sup> Selv elektrisk framdrift fikk flere løsninger. Nå er et tjuetalls systemer for trafikkontroll og signaler i drift i Europa, og noen togsett er utstyrt med inntil sju forskjellige systemer for å være godkjent for trafikk langs de strekningene de faktisk trafikkerer (Laroche og Guihéry

---

<sup>2</sup> Flypiloter har en viss autonomi (de opererer i et tredimensjonalt rom), togførere må følge toglederens anvisninger (det enkelte spor er på mange vis et endimensjonalt rom). For et lite antall jernbanestrekninger, der togkontrollen ikke er sentralisert, er det fortsatt togekspeditør på den enkelte stasjon ved enden av en strekning som utfører toglederjobben.

<sup>3</sup> CTC: Centralized Traffic Control. ATC: Automatic Train Control; forutsetter CTC. Strengt tatt var det også, som nå, to nivå på ATC-system: D-ATC som beskrevet, og F-ATC, som også kan sette inn bremsing dersom farten er for høy.

<sup>4</sup> Finland, Spania, Portugal og noen andre land har en annen sporviddestandard enn resten av Europa, deri ligger det fortsatt noen begrensninger.

2013). GSM-R i Norge var ett av flere tiltak for å gjøre det mulig for utenlandske tog å kjøre på norsk jernbanenettverk.

Med tiltakende teknisk kompleksitet i togsystemene blir internasjonale standarder helt nødvendige for interoperabilitet. Med økende behov for internasjonal togtrafikk har Europa-kommisjonen støttet utviklingen av slike standarder i internasjonale bransjeorganisasjoner, og dernest også nedfelt dem i europeisk lovgivning, slik at nasjonale myndigheter i EU/EØS er nødt til å følge dem i sine nye investeringer.<sup>5</sup> GSM-R-investeringen var underlagt et regelverk for tekniske standarder fastlagt av EU.

Selve standardutviklingen er det for det meste frivillige internasjonale organisasjoner som gjør. I 1990 begynte et arbeid for å utvikle standarder for digitale, trådløse systemer for togledelse og -framføring under navnet ERTMS<sup>6</sup>. Det var ikke vanskelig å se at digitalisering av sektoren kunne gi uante muligheter, men et slikt teknologisk sprang måtte planlegges og koordineres. Det ble etablert standarder for både togkontroll og togradio. Den internasjonale jernbaneunionen UIC<sup>7</sup> gjennomførte rundt 1990 en forstudie for å utrede potensielle radiokommunikasjonsteknologier for en standard for framtidig (digital) togradio. En togradio ville fortsatt primært brukes til samtale, men når man først har en trådløs kommunikasjonskanal med toget, kan den også brukes til datakommunikasjon. UIC valgte da å satse på GSM som mobiltelefoneteknologi framfor TETRA<sup>8</sup>, primært fordi GSM-systemer var kommet lengre i utvikling og tilgjengelighet på det tidspunkt. UIC initierte i 1992, sammen med en lang rekke jernbaneaktører i Europa og Europa-kommisjonen, et prosjekt kalt EIRENE<sup>9</sup>, for å spesifisere standarder for et togradiosystem for jernbanespesifikke behov basert på GSM-teknologien. De første GSM-R-spesifikasjonene ble levert i 1995, og i 1997 besluttet EU-kommisjonen at GSM-R skulle utgjøre togradiodelen av ERTMS. En standard kalt ETCS<sup>10</sup> ble noen år senere vedtatt for den langt mer omfattende signal- og kontrolldelen av ERTMS. GSM-R er altså en definisjonsmessig del av ERTMS. Skal man ha ERTMS, må man ha GSM-R. Og – som vi skal se – Norge skal ha ERTMS; også dette var langt inne i framtiden da GSM-R-prosjektet ble planlagt.

Norges Statsbaner (NSB) hadde fra opprettelsen i 1883 i over hundre år et helhetsansvar under Samferdselsdepartementet for både infrastruktur, togmateriell, togdrift, utvikling, opplæring og så videre i en fullintegrert jernbanesektor. Gjennom flere jernbanereformer siden 1996 er det skilt sterker mellom offentlig regulering, tilsyn, plan og forvaltning, naturlig (statlig) monopol på infrastrukturen, og marked snarere enn hierarki som organisasjonsform på passasjer- og godstrafikken, med både vertikal og horisontal arbeidsdeling. Jernbaneverket, som spilte en hovedrolle i GSM-R-

---

<sup>5</sup> EU-kommisjonen er sektor- og teknologinøytral. Å påby slike standarder begrunnes med friere vareflyt og persontransport, friere flyt av togtjenester, og friere flyt av jernbaneutbyggingstjenester i det indre marked. Standardene er dessuten slik at de lar seg implementere teknisk på flere måter. Dette ivaretar på den ene siden en viss form for løsningsnøytralitet, samtidig som det også kan utgjøre en faktisk utfordring for interoperabilitet.

<sup>6</sup> ERTMS: European Railway Traffic Management System.

<sup>7</sup> UIC: Union Internationale des Chemins de fer, eller International Union of Railways.

<sup>8</sup> GSM, opprinnelig Groupe Spécial Mobile, etter hvert Global System for Mobile Communication, kalles også 2. generasjons mobiltelefoni, eller 2G. (1G var Nordic Mobile Telephony NMT.) Systemstandarden for 2G forvaltes, sammen med andre standarder for formidling av radiosignaler, som for eksempel etterfølgerne 3G, 4G og 5G, av ETSI (European Telecommunications Standards Institute). En av disse andre standardene er TETRA, som blir omtalt nærmere i kapittel 8.1.

<sup>9</sup> EIRENE: European Integrated Radio Enhanced Network.

<sup>10</sup> ETCS: European Traffic Control System.



prosjektet, hadde ansvaret for infrastrukturen mellom 1996 og 2016.<sup>11</sup> Armlengdes avstand vertikalt mellom funksjoner, horisontal konkurranse på avgrensede tjenesteområder, og nye avhengighetsforhold til aktører utenfor sektoren gjør også noe med kulturen i jernbanen – den blir mer differensiert og mindre enhetlig orientert mot sektoren som helhet. For GSM-R-prosjektet betydde dette både et aktørbilde med (til dels nye) rendyrkede interesser og et møte mellom nye og tradisjonelle måter å tenke jernbane på.

Statens sentrale rolle i jernbanesektoren i de fleste land henger naturligvis sammen med offentlig finansiering av jernbanetilbudet. Også i Norge er det nasjonalforsamlingen som beslutter finansiering av investeringer i jernbanen over statsbudsjettet. GSM-R-prosjektet var så stort at det var avhengig av egen behandling i Stortinget, i prioriteringskamp med andre behov. I veisektoren er brukerfinansiering (bompenger) en innarbeidet praksis, men i jernbanen er passasjertrafikken subsidiert, og man hadde ennå til gode å finne alternative finansieringsformer på investeringssiden; her ble faktisk GSM-R-prosjektet noe ufrivillig gjenstand for oppmerksomhet.

Gitt denne bakgrunnen skulle GSM-R-prosjektet utvikle og bygge ut en ny, digital togradio for å ivareta både sikkerhet og effektiv utnyttelse av jernbanenettet samtidig, herunder åpne mer for utenlandsk togdrift i Norge. Den digitale løsningen innebar et teknologisk sprang for framtiden, den måtte implementere internasjonale, tekniske standarder for framtiden som foreskrevet i forordninger fra EU, den skulle legge grunnlaget for ERTMS i Norge i framtiden, og prosjektet levde i spenningsrommet der hele jernbanesektoren var i omstrukturering og der den gamle jernbanekulturen møtte nye strømninger som var ment å prege framtiden. Med rene ord, GSM-R-prosjektet var en investering for framtiden for norsk jernbane.

## 2.2 Prosjektets forhistorie

### 2.2.1 Behovet for (ny) togradio

Den enkle versjonen av prosjektet er at det handlet om å innføre mobiltelefonisystemet GSM-R som nytt togradiosystem for det norske jernbanenettet, delvis til erstatning for det gamle Scanet-systemet. I det meste av den offentlige diskursen er det omtalt som et togradiosystem, riktignok med flere begrunnelser og forventede nyttevirksomheter, noen ganger også avgrenset til et nødradio-system for tog. De fleste så samtalen mellom togleder og togfører som togradiosystemets funksjon, med fokus på en sjelden gang iblant å stoppe tog som kjørte forbi signal de ikke burde ha kjørt forbi. I politiske dokumenter har begrunnelsen for prosjektet svingt mellom økt sikkerhet og mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet. Forventet direkte nytte for togpassasjerer med mobiltelefon har også vært på banen. De kompliserende forholdene gitt av konteksten skissert i kapittel 2.1 dukket opp underveis i historien, sammen med ytterligere forhold av vesentlig betydning, som vil bli presentert på de følgende sidene.

Hvis vi ser på formålene, begivenhetene og forutsetningene som førte fram til prosjektet, blir historien litt mer sammensatt. En forståelse av formålene gir også et bedre grunnlag for å forstå eventuelle alternative løsninger, som vi går nærmere inn på i kapittel 2.4.1 og 8.3.

---

<sup>11</sup> Fra 2017 var Jernbaneverket delt i Jernbanedirektoratet og Bane NOR, med sistnevnte som ansvarlig for infrastrukturen.

I sin snevreste forstand handlet togradio om samtalekommunikasjon mellom trafikkledelse, togbetjening og stasjoner. Lov og forskrift overskygger andre krav og forventninger, og det relevante kravet til anlegg og drift av jernbane ble i 1994 forskriftsfestet slik:

"Trafikkledelsen skal ha velegnet utstyr for å overvåke trafikken samt kommunisere med togbetjening og stasjoner innen driftsområdet. Ved nødsituasjoner skal det være gjensidig mulighet for rask kontakt mellom togbetjening og trafikkledelse." (FOR-1994-07-22-746 § 5d).

Overvåking av trafikken betyr i klartekst å vite hvor togene befinner seg til enhver tid. Som vi skal se, bidrar togradioløsningene også til dette, men det er samtalefunksjonene, altså bruk av togradioen som telefon, som umiddelbart assosieres med de øvrige kravene i denne bestemmelsen. Etter en rekke senere endringer i lov og forskrift gjelder dette kravet fortsatt i realiteten. Hele jernbanesektoren i Norge var ved årtusenskiftet i bevegelse i retning av et betydelig sterkere fokus på å ivareta sikkerhet, etter blant annet en sterkt kritisk ekstern evaluering i 1989 (DnV 1990; i denne rapporten etter NOU 2000:30). Flere av de store reorganiseringene i sektoren de siste 25 årene overlapper med denne bevegelsen. NSB, og senere Jernbaneverket (nå Bane NOR), hadde over tid ivaretatt akkurat dette forskriftskravet ved å utstyre hovedstrekningene i jernbanenettet med de nevnte CTC- og ATC-systemene<sup>12</sup>, og det analoge togradiosystemet Scanet for samtalekommunikasjon og automatisk posisjonsbestemmelse i tillegg. De tre systemene var ikke tett koblet (teknisk), men samspillet mellom disse i bruk er viktig for sikkerheten. CTC hadde muliggjort en sentralisert organisering av togframføringen og kontroll av togenes tilgang til spor i åtte togledersentraler med geografisk avgrensede ansvarsområder. (Før det igjen lå denne funksjonen på stasjonene.) Signalanlegg, sporveksler og så videre fjernstyres fra disse sentralene. ATC gjør at tog som kjører mot rødt lys, blir stanset automatisk, og togfører og trafikkleder kan samtale direkte over togradio om neste trinn, for eksempel manuell overstyring ved påviselig signalfeil og klar bane, eller umiddelbar tilbaketrekking (og eventuell varsling av andre tog om potensiell faresituasjon). Posisjonsbestemmelse er avgjørende for at trafikkleder skal vite hvor toget er. (Dette plottes automatisk inn på store paneler på togledersentralene.) Slik kan hensyn til både sikkerhet og trafikkflyt ivaretas. Alle med et togradioapparat kan alarmere togførere om møtende tog eller andre forhold som krever raske inngrep, dersom automatiske systemer svikter eller andre forhold gjør det nødvendig. Togradiosystemet kan selvsagt også brukes for annen relevant kommunikasjon, som det finnes et stort behov for, og behovet øker med tiltakende togtetthet og det dermed økende koordineringsbehov ved for eksempel forsinkelser som ellers kan forplante seg gjennom store deler av jernbanenettet.

NSBs togradiosystem, det analoge radiosystemet Scanet, var i sin tid spesialutviklet av Ascom Radiocom for NSB.<sup>13</sup> Før dette brukte togførerne blokktelefoner fastmontert langs linjen til å samtale med togledelsen ved behov. Dette var tungvint; togradio senket barrieren mot å påbegynne en samtale betydelig. Installasjonen av Scanet begynte i 1993, for øvrig samtidig med at andre generasjons mobiltelefoni (GSM) begynte å bli bygget ut i Norge (Solberg 1995). Utrullingen av Scanet stanset i 1996. Scanets utbredelse er vist med gult i det venstre panelet i Figur 1. Etter det gjenstod det blant hovedstrekningene tre med relativt liten togtetthet: Nordlandsbanen mellom Trondheim og Bodø (og sidestrekningen fra Hell til Storlien, kalt Meråkerbanen), Rørosbanen mellom Støren og Hamar, og Raumabanen mellom Dombås og Åndalsnes. Per 2000 hadde disse ikke ATC (unntatt på

<sup>12</sup> CTC og ATC er funksjonelle, ikke tekniske betegnelser. Det finnes fortsatt nærmere 20 konkrete systemer i bruk, uten at dette skaper betydelige kompatibilitetsproblemer for togtrafikken.

<sup>13</sup> Det svenske Trafikverket var med i starten av Scanet-prosjektet, men trakk seg tidlig ut av samarbeidet, slik at systemet gikk fra å være skandinavisk til norsk.



strekningen Trondheim – Grong), se det høyre panelet i figuren, der gult markerer grunnformen for ATC og rødt markerer den mer avanserte formen som også tillater nedbremsing ved fartsoverskridelse. Talekommunikasjonen mellom togfører og trafikkleder på de tre strekningene var basert på ad hoc radio- og telefonsystemer, særlig mobiltelefoni med varierende dekning langs jernbanetraséene (NOU 2000:30). Det nevnte forskriftskravet var således ikke tilfredsstillende oppfylt.<sup>14</sup>



Kilde: Jernbaneverket (2001b)

**Figur 1: Utbredelsen av Scanet, CTC og ATC i 2000**

Hovedleverandøren av Scanet-produkter meldte i 2000 at de kom til å fase ut alle sine leveranser i løpet av 2001, slik at det var uaktuelt å installere dette på de gjenværende strekningene (Jernbaneverket 2002c). Jernbaneverket hadde dessuten bedømt at Scanet etter åtte år i drift var driftsmessig og teknologisk modent for utskifting. Vi antar at den driftsmessige vurderingen var knyttet til at leverandøren ville fase ut ettermarkedstjenestene, og at den teknologiske vurderingen var knyttet til de store mulighetene som den digitale teknologiske utviklingen bød på. Derfor vurderte man et nytt, digitalt system for talekommunikasjon mellom trafikkontroll og tog som ikke bare skulle bygges ut på strekninger uten togradio, men også erstatte Scanet der det var installert noen år tidligere, og dermed dekke hele jernbanenettet. Det at det også var en del andre radiosystemer i drift i Jernbaneverket, alle karakterisert som driftsmessig og teknologisk modne for utskifting, gjorde det dessuten hensiktsmessig å se på mulighetene for å dekke alle disse behovene med det samme, digitale systemet. Dette omfattet radiosystemer for vedlikehold på og langs jernbanesporene, for skifte (forflytning av rullende materiell mellom oppsett på og ved stasjonsområder), for jernbanestasjonene, og for konduktører på det enkelte tog (Jernbaneverket 2001a).

Jernbaneverket fikk i februar 2002, etter søknad av mars 2001 til Statens jernbanetilsyn, en tidsbegrenset dispensasjon for å tillate framføring av tog på de omtalte strekningene uten togradio, forutsatt at planlegging av et togradiosystem var tilfredsstillende, at faktisk utrulling var tilfredsstillende prioritert, og at det ble iverksatt tiltak for å styrke sikkerheten i påvente av at systemet skulle komme på plass. Dispensasjonen gjaldt til 1. januar 2004 og ble senere forlenget for alle berørte strekninger (med unntak av Bodø-Rognan) til 1. oktober samme år, etter politiske beslutninger og interne

<sup>14</sup> Det midterste panelet i figuren viser (med gul markering) utbredelsen av CTC, strekninger der togframføring var styrt fra togledersentralene. Noen strekninger hadde CTC, men ikke ATC.

avklaringer i Jernbaneverket og BaneTele (Jernbaneverket 2002c). Vi kommer tilbake til noen av disse i kapittel 2.2.5.

### 2.2.2 Nytt togradiosystem

Make or buy? Dette er ett av hovedspørsmålene i all teknologistrategi. Skal man utvikle noe selv, eller skal man kjøpe det inn gjennom et marked? Jernbanen var på vei ut av sin tilnærmet totale vertikale sektorintegrasjon, der man i prinsippet gjorde alt innenfor egen organisasjon. Det første togradiosystemet var kjøpt inn utenfra, riktignok som et system utviklet spesielt for NSB, selv om det fantes liknende systemer utviklet for jernbaner i andre land. Så lenge systemet var utviklet for å ivareta de spesielle behovene i sektoren og landet, under kontroll av jernbanens egne interesser, lå det godt an til å kjøpe løsninger fra eksterne leverandører. Men hva skulle man velge?

I realiteten hadde valget falt på GSM-R som ny togradiosstandard i Norge allerede i 1997, gjennom et Memorandum of Understanding (MoU) mellom 32 jernbaneselskaper i Europa, signert av både Jernbaneverket og NSB. Dette var to år etter at UIC hadde publisert første utgave av GSM-R-standarden. Avtalen (MoUet) gikk ut på at når de respektive jernbaneselskapene skulle utvikle og introdusere nye togradiosystemer, så skulle de være basert på GSM som mobiltelefonisystem og implementere GSM-R-standarden for jernbanespesifikke behov. Standarden var essensiell for interoperabilitet mellom nasjonale implementeringer, men det var åpning for nasjonale tilpasninger, så avtalen la særlig vekt på tilpasning til implementeringen i de respektive landenes naboland. Som en oppfølger inngikk 17 av de samme partene, herunder Jernbaneverket, i 2000 en Agreement on Implementation (AoI) som forutsatte at implementeringsplanene var vedtatt senest i 2003 (UIC 2007).

Rasjonalet for en slik MoU (og AoI) er først og fremst økonomisk. Hvis markedet for GSM-R-løsninger ble for lite, ville det bli for kostbart for de som faktisk valgte GSM-R, og særlig de som var først ute, å utvikle systemet.<sup>15</sup> Potensielle kommersielle leverandører trengte et signal om at de kunne få et tilstrekkelig volum (marked) for å forsvare utviklingskostnadene, selv om det også ble satt i gang offentlig finansierte prosjekter og forsøk for å komme nærmere stabile tekniske spesifikasjoner.<sup>16</sup>

Samtidig gav MoUet også et signal til leverandørene av analoge togradiosystemer om at deres marked ville bli borte. Produsenter av Scanet og tilsvarende systemer i andre land hadde selvsagt lagt inn dette som grunnlag for sine beslutninger om tidsskjema for utfasing av produksjon og ettermarkedsaktiviteter.

De spesifikke behov som et togradiosystem skulle dekke, ut over direkte samtalemulighet og dekning langs hele jernbanestrekninger (inklusive tunneller), var:

- Tilgjengelighet fra tog i høy hastighet
- Kryptert kommunikasjon
- Eget frekvensbånd/lukket nett uten interferens fra andre nett, for å ha tilstrekkelig prioritet, kapasitet, kommunikasjonskvalitet og avlyttingsikkerhet i alle situasjoner

<sup>15</sup> Tidligere analoge systemer med enkeltnasjoner som marked var enklere, og dermed betydelig rimeligere å utvikle.

<sup>16</sup> Industribedrifter som ville gå inn på GSM-R-markedet, bidro også sterkt til standardiseringsarbeidet.

- Funksjonelle nummer (togleder ringer til toget på den enkelte avgang, ikke til vedkommende lokomotivs abonnentnummer)<sup>17</sup>
- Posisjonskontroll, for automatisk å kunne melde togets posisjon til trafikkleder<sup>18</sup>
- Nødanrop med kort svartid (høyest prioritert, garantert forbindelse også ved generelt høyt trafikkvolum i nettet)
- Øvrige prioriterte anrop, gruppeanrop, fellesanrop (kringkasting til for eksempel alle i et geografisk område)
- Grensesnitt mot neste generasjon togkontroll/styring av signalanlegg (les: ERTMS).

### 2.2.3 ERTMS: Stadig tettere systemintegrasjon

I et litt mer utvidet perspektiv var GSM-R ikke bare den standarden for togradio som Jernbaneverket og NSB hadde forpliktet seg på overfor sine partnere i UIC. Den var også – som vist i kapittel 2.1 – blitt en integrert del av den standard for framtidige togkontrollsystem som var utviklet og framforhandlet mellom jernbaneselskaper og -myndigheter i de fleste europeiske land, og Europakommisjonen. Jernbaneverket var dermed langt inne i en prosess som ville binde dem til innføring av ERTMS, som forutsatte GSM-R. Hvis man hadde valgt et alternativ til GSM-R som togradio, hadde man uansett måttet bygge ut GSM-R i tillegg når man skulle begynne med ERTMS noen år senere.<sup>19</sup>

En full ERTMS-utbygging er en investering i en langt høyere prisklasse enn GSM-R-systemet, og GSM-R kan gjøre god nytte for seg også uten resten av ERTMS. En utsettelse av GSM-R-utbyggingen eller en framskynding av resten av ERTMS-utbyggingen for å sikre synergier, var således ikke aktuelt. I 2000 forelå ingen konkrete framdriftsplaner for ERTMS i Norge, og det tok også flere år før de første faktiske implementeringer fant sted, i første omgang på nye høyhastighetsstrekninger i Europa. I 2002 så Jernbaneverket for seg at resten av ERTMS kunne bygges ut innen en periode på 10-15 år, og at det i forbindelse med GSM-R-utbyggingen også måtte vurderes hvorvidt noen strekninger sannsynligvis ikke skulle overføres til ERTMS, slik at togradioløsningen for disse strekningene ikke ble overtruet i forhold til hva som kunne utnyttes (Jernbaneverket 2002c). Gitt at en ERTMS-investering deretter skulle vare i flere tiår, var GSM-R virkelig en standard for framtiden.

### 2.2.4 Åsta-ulykken

Valget om å sette Raumabanen, Nordlandsbanen og Rørosbanen bakerst i køen av hovedstrekninger for utrulling av ATC (og også Scanet) var i tråd med risikokriterier (strekningenes togtetthet og stasjonenes kryssingsintensitet) anbefalt av DnV i 1990. Beslutningen om ikke å fullføre Scanet-utrulling var i tråd med nye signaler i Norsk jernbaneplan for 1998-2007, som forutsatte lønnsomhet (St.meld. nr. 39 (1996-97)). Dette lønnsomhetskriteriet var knyttet til trafikkavvikling, altså lønnsom utnyttelse av jernbanenettet, og ikke til sikkerhet. Uansett var Jernbaneverket etter 1997

<sup>17</sup> Før et tog skal gå fra avgangsstasjonen, melder togføreren inn i systemet hvilket lokomotiv som skal gå på vedkommende rute, og dermed også hvilket GSM-R abonnentnummer som skal kobles til tognummeret akkurat denne dagen.

<sup>18</sup> Posisjonskontroll var ikke en del av GSM-R-standard, men Jernbaneverket i Norge var ikke de eneste om å implementere dette.

<sup>19</sup> Teknisk sett er dette en sannhet med noen små modifikasjoner, idet det finnes en lavnivåvariant av ERTMS som ikke gjør bruk av en togradio eller de dataoverføringsmulighetene som ligger i GSM-R, men ERTMS på dette nivået var neppe å betrakte som noe stort framskritt i forhold til de eksisterende analoge løsningene med CTC, ATC og Scanet i det norske jernbanesystemet. Det framgår også at det kunne være mulig å bygge ut GSM-R slik at det ville ivareta kravene til talekommunikasjon uten samtidig å tilfredsstillere kravene til datakommunikasjon godt nok. Dette var en situasjon som også måtte unngås (Jernbaneverket 2002c).

forpliktet på GSM-R – riktignok i forbindelse med nye togradiosystemer, ikke egentlig på videre utrulling av gamle, men det virket som sagt lite rasjonelt å fortsette med Scanet, noe som også altså i løpet av 2000 viste seg å bli umulig.

Hva som ville ha skjedd på resten av jernbanenettet uten et Scanet-system, vet man selvsagt ikke, men det vi vet, er at det den 4. januar 2000 inntraff en møteulykke mellom to tog ved Åsta på Rørosbanen, med tap av 19 menneskeliv. Granskingsrapporten (NOU 2000:30) viste at et dedikert togradiosystem snarere enn den eksisterende ad hoc-bruken av kommersiell mobiltelefoni sannsynligvis ville ha avverget ulykken. I det konkrete tilfellet hadde ikke dette noe å gjøre med manglende dekning for (kommersiell) mobiltelefoni, men med utilstrekkelige rutiner for å kunne kontakte togførere, slik at det tok lengre tid å gjennomføre enn det kritiske tidsvinduet ville tillate. Det gikk et sted mellom 37 og 187 sekunder fra trafikkleder oppdaget at de to togene var på kollisjonskurs, til ulykken inntraff. Med en togradio på plass kunne begge togførerne sannsynligvis ha blitt varslet i tide og stoppet togene sine.

Dette var den nest største togulykken i Norge (i antall dødsofre) i nyere tid. Bare Tretten-ulykken i 1975, der 27 personer omkom, hadde medført større tap. Åsta-ulykken preget naturligvis den offentlige debatten om sikkerhet på jernbanen lenge, og informanter i vårt datamateriale mener at det er høyst sannsynlig at diskusjonen i etterkant av ulykken framskyndet politisk prioritering av GSM-R-investeringen.<sup>20</sup> Et nøkkelement i den videre historien er den tidsbegrensede dispensasjonen fra kravet om togradio som Jernbaneverket fikk av Statens jernbanetilsyn i 2002. Vi vet at søknaden om dette ble levert i januar 2001, men ikke hva det var som utløste behovet for å sende en slik søknad knyttet til et krav som var fastsatt allerede i 1994. Statens jernbanetilsyn opererer naturligvis uavhengig av politiske og økonomiske føringer. Vi har ikke hatt mulighet til å lete etter empirisk belegg for (eller mot) å knytte dispensasjonssøknaden direkte til Åsta-ulykken, men dispensasjonens tidsbegrensning har klart vært nyttig, kanskje avgjørende, for en GSM-R-utbygging som ble sterkt forsert sammenliknet med det som allerede var forespeilet i Nasjonal transportplan (se kapittel 2.2.5).

### 2.2.5 Finansiering og politisk behandling

Verken Scanet eller GSM-R er omtalt i Norsk jernbaneplan 1998-2007, som ble lagt fram for Stortinget i 1997. Fortsatt utbygging av togradio er imidlertid omtalt som en komponent i tilrettelegging for ytterligere effektivisering av togdriften på strekninger der dette er lønnsomt. Fullføring av program for digitalt samband har også en kort omtale (St.meld. nr. 39 (1996-97)).

I Nasjonal transportplan 2002-2011<sup>21</sup>, lagt fram for Stortinget i 1999, er GSM-R ikke omtalt, men det heter at Jernbaneverket skal gjøre en vurdering av "når og på hvilken måte det er mest hensiktsmessig å oppgradere dagens togradiosystem" (St.meld. nr. 46 (1999-2000) s. 324). I behandlingen av transportplanen i Stortinget, avsluttet i februar 2001, ble det blant annet sagt at "togradio/GSM-R vil bl.a. kunne prioriteres inn med 700 millioner kroner" under programområdet for trafiksikkerhet (Innst. S. nr. 119 (2000-2001) s. 201). I statsbudsjettet for 2002 omtales dette som prioritert inn i siste del av transportplanperioden, kostnadsberegnet til 648 mill. kr. En slik formulering er empirisk sett langt fra noe sikkert tegn på framtidig prioritering, men et forslag fra Jernbane-

<sup>20</sup> Det er få referanser til ulykken i Stortingets behandling av investeringssaken, men politikere omtalt ulykken i pressen som en viktig begrunnelse for den store investeringen.

<sup>21</sup> Dette var den første samlede transportplan, der også jernbaneplanen var integrert.

verket om en forsert utbygging ble forhåndsvarslet i påvente av en vurdering av ulike finansieringsløsninger (St.prp. nr. 1 (2001-2002) s. 169).

En slik forsert utbyggingsplan er ikke hverdagskost. I dokumenter fra Regjeringen og Stortinget er det referanser til Jernbanetilsynets tidsbegrensede dispensasjon fra kravet til togradio som framheves som det viktigste argumentet.

De finansieringsløsningene som potensielt kunne bidra til forsert utbygging kan sorteres som tre overlappende tilnærminger, som vi omtaler nedenfor (i omvendt rekkefølge):

- Samordnet utbygging med annen infrastruktur for elektronisk og trådløs kommunikasjon
- Offentlig/privat samarbeid
- Konkurransetsetting.

Av disse tre er naturligvis konkurranseutsetting i første rekke en strategi for kostnadsreduksjon. Den fikk allikevel et element av finansieringsløsning i seg. Prosjektet ble opprinnelig organisert under BaneTele, som var Jernbaneverkets divisjon for jernbanens optiske fibernett og andre sider ved sektorens digitale kommunikasjon. Etter hvert gikk det i retning av utskilling og senere del- og helpriatisering av BaneTele, ikke minst knyttet til forvaltning av verdien i det optiske fibernetet langs mange jernbanestrekninger (ca. 4.200 km i alt). Da kom tanken opp at prosjektfinansieringen (og kostnadene) skulle kunne deles mellom Jernbaneverket, finansiert over statsbudsjettet, og BaneTele, som ville stå friere til å hente inn finansiering fra andre kilder. BaneTele annonserte i mars 2002 at de hadde fått intensjonsavtale med Jernbaneverket på kontrakt om utbyggingen, riktignok med forbehold om godkjenning fra Stortinget (Ryvarden 2002b). Det ble imidlertid reist innvendinger mot at BaneTele skulle få privilegert tilgang til dette omfattende prosjektet. Et hovedpoeng var at det kunne gi mer konkurranse og bedre transparense dersom BaneTele eventuelt måtte konkurrere med andre som leverandør for utbyggingen. Et annet hovedpoeng var at ettersom BaneTele var på vei mot utskilling, kunne det gi dem en uforholdsmessig fordel i forhold til andre teleselskaper om de fikk ta med seg et slikt utbyggingsprosjekt på veien. En risikoanalyse av å plassere eierskapet til GSM-R hos BaneTele ved en eventuell (del)privatisering hadde konkludert med at dette ville antakelig gi en større risiko for manglende tjenestetilgang i krisesituasjoner enn om ansvaret lå internt i Jernbaneverket (Jernbaneverket 2002b), og at det i så fall måtte være på plass gode avtalebestemmelser for å regulere ansvaret. Tilsvarende måtte naturligvis også gjelde dersom driftsansvaret skulle settes ut på anbud, uansett hvem som måtte få det. Til syvende og sist ble eierskapet til prosjektet overført tilbake til Jernbaneverkets hovedorganisasjon, mens BaneTele ble skilt ut som eget selskap, og driftsorganisasjonen for togradiosystemet ble plassert hos Jernbaneverket.

Offentlig/privat samarbeid handler i praksis som oftest om en kombinert utbyggings- og driftsavtale over mange år, der den offentlige aktøren kan dra nytte av den private aktørens større finansielle fleksibilitet for å kunne framskynde en investering. Modellen er i Norge best kjent for utbygging av enkelte veistrekninger. Jernbaneverkets OPS-utredning av 2002 vurderte tre klassiske utbyggingsprosjekter prioritert i Nasjonal transportplan (Jernbaneverket 2002a), mens GSM-R-utbyggingen ikke ble funnet aktuell for slike løsninger. På ett tidspunkt var det også som sagt på tale å dele investeringskostnadene mellom BaneTele og Jernbaneverket (Innst. S. nr. 274 (2001-2002)).

Det skjedde mye på området infrastruktur for elektronisk og trådløs kommunikasjon i Norge på begynnelsen av 2000-tallet. De kommersielle GSM-nettene (også kalt 2G) fikk etter hvert betydelig geografisk utbredelse. Staten tildelte de første lisenser til en ny generasjon (UMTS eller 3G) i 2000.



En synergieffekt kunne muligens knyttes til et spleiselag for utbygging på strekninger der kommersielle aktører ellers ikke ville ha tilstrekkelig trafikkgrunnlag. Et felles, lukket mobiltelefonnett for nødetatene var også under utredning, basert på TETRA-standard. Et tidlig estimat attribuert til Samferdselsdepartementet gikk ut på en synergieffekt på 300 millioner kroner ved en samordnet utbygging av TETRA og GSM-R (Innst. S. nr. 274 (2001-2002)). Da stortingsmeldingen om bredbånd kom, var synergimulighetene tonet betraktelig ned, blant annet fordi de to nettverkene ikke kom til å bli bygd ut samtidig (St.meld. nr. 49 (2002-2003)).

Ingen av disse alternative finansieringsløsningene lot seg i praksis realisere<sup>22</sup>. Forsert utbygging var politisk nødvendig, i første omgang med henvisning til Jernbanetilsynets tidsfrister for utbygging av en tilfredsstillende togradioløsning. Stortinget måtte omprioritere sammenliknet med Nasjonal transportplan. Forslaget til statsbudsjett for 2003 inneholdt imidlertid ingen bevilgning. I mars 2002 hadde Fremskrittspartiet kalt Jernbaneverkets GSM-R-plan for "stormannsgalskap" etter at et nytt kostnadsanslag på 1,2 milliarder kroner var kommet fram, og med BaneTele som (tiltenkt) kontraktpartner for utbyggingen (Kvistad 2002; Ryvarden 2002a). Under budsjettbehandlingen senhøstes planla partiet sammen med den øvrige opposisjonen å gå inn for å instruere samferdselsministeren om å forsere utbyggingen (Knudsen og Skogsholm 2002; Norsk Telegrambyrå 2002). Stortinget vedtok da starten på en framdriftsplan, ut fra behovet for å tilfredsstille Jernbanetilsynets frist. Prosjektet fikk ikke midler før ved revidert budsjett, da 200 millioner kroner ble satt av for å få en oppstart på Nordlandsbanen, hvorav 155 millioner var friske midler og 45 millioner var omdisponert innenfor posten (St.prp. nr. 65 (2002-2003)). På dette tidspunkt forelå også KS2-rapporten (Terramar 2003).

Framdriftsplanen vedtatt i Stortinget i 2002 var i korte trekk slik (Innst. S. nr. 260 (2002-2003)):

- Bodø-Rognan (og initialinvestering i felles, sentrale systemkomponenter) ferdig før 1. januar 2004 (fase 1a)
- Øvrige strekninger omfattet av Jernbanetilsynets dispensasjon ferdig før 1. januar 2005 (fase 1b)
- Det øvrige jernbanenettet ferdig før 1. januar 2007 (fase 2).

I forslaget til statsbudsjett for 2004 ble det opprinnelig satt av ytterligere 550 millioner kroner til GSM-R fase 1, som omfattet strekninger som var uten sikker togradiodekning, altså primært Nordlandsbanen, Raumabanen og Rørosbanen. Budsjettproposisjonen framhever at "nødvendigheten av en svært rask utbygging ... representerer på kort sikt en ekstra utfordring for jernbanesektoren både finansielt og organisatorisk" (St.prp. nr. 1 (2003-2004) s. 108). Budsjettbehandlingen resulterte imidlertid i en bevilgning på i underkant av 400 millioner.

I statsbudsjettet for 2005 ble det ført opp 285 mill. kr. med henvisning til at behovet ikke var større for å fullføre fase 1, og til at bevilgningen for 2004 hadde trukket uforholdsmessig mye fra andre nødvendige tiltak i jernbanesektoren (St.prp. nr. 1 (2004-2005)). Underfinansieringen i 2004 og 2005 kom da samlet opp i 300 millioner kroner, sammenliknet med den framdrift som var forutsatt høsten 2002 og våren 2003. Dette ville innebære en stans i prosjektet mellom fase 1 og fase 2 og tap av den oppbygde kompetansen i prosjektet, noe som igjen ville gi betydelige følgekostnader i fase

---

<sup>22</sup> For eksempel kom framdriftsplanen for nødnettet til å ligge så langt etter utbyggingen av GSM-R-nettet at den eneste mulige samordningsgevinsten ble nedfelt i et krav om at GSM-R-utbyggingen skulle legge til rette for den eventuelle etterfølgende utbyggingen av nødnettet der det var hensiktsmessig, særlig i tunneller (Innst. S. nr. 260 (2002-2003)).

2. Prosjektet ble derfor drevet i flere måneder på forventning om ny finansiering. Etter det ble det satt av 510 mill. kr. for 2006 for å gå over i fase 2 (erstatning av Scanet) og utbygging av flere funksjoner i systemet (St.prp. nr. 1 (2005-2006)), 229 mill. kr. for fullføring i 2007 (St.prp. nr. 1 (2006-2007)), og 134 mill. kr. til avslutning i 2008 (St.prp. nr. 1 (2007-2008)).

Periodiseringen av planlagt bevilgningsbehov og faktisk bevilgning framgår av data fra Jernbaneverket, se Tabell 1.

**Tabell 1: Finansieringsstrøm**

mill. kr.	2003	2004	2005	2006	2007	2008	Sum
Bevilgningsbehov*	218	550	460	420	82	0	1.730
Faktisk bevilgning	218	396	314	504	221	117	1.772
Avvik	0	154	146	-84	-139	-117	-42

\* Bevilgningsbehov som beregnet ved oppstart. Kostnadsrammen økte med 90 som en følge av utsettelsen av fase 2.  
Datakilde: Jernbaneverket

### 2.3 Løsningen

Det var altså tre viktige forhold som hver for seg og samlet bidro til å utløse GSM-R-prosjektet:

- En tidsbegrenset dispensasjon på enkelte strekninger fra forskriftskravet om å ha togradio i drift
- Stopp i produksjon og leveranser av togradiosystemet Scanet
- Internasjonal forpliktelse til å velge GSM-R som neste togradiosystem.

Til tross for bindinger til GSM-R-standarden, var det allikevel noen frihetsgrader i utformingen. Den løsningen som ble valgt, kan illustreres konkret som følger.

Mobiltelefonisystemet GSM-R er som andre mobiltelefonisystemer, og mer spesifikt som andre GSM-systemer. Systemaspektet avspeiler seg i hvordan tale (og data) konverteres til (digitale) datastrømmer (og tilbake igjen) for sending mellom radioutstyret som finnes i telefoner og på basestasjoner og i sentraler, hvordan disse datastrømmene prioriteres, separeres og rutes gjennom nettverket, og hvilke tjenester som bygges inn i sentraler og apparater. Som vist i kapittel 2.2.2 er hovedforskjellene mellom GSM og GSM-R at systemet er lukket (men kan kommunisere med andre systemer), og at det er implementert en del funksjoner som er spesielt påkrevd eller nyttig for jernbanen.

Likhetstrekkene med andre GSM-systemer er slående. Det trengs telefonsentraler og driftssentraler som til forveksling ser ut som for et kommersielt system, og med den samme type organisasjon, kompetanse og rutiner for trafikkovervåking, feilidentifisering, feilretting, vedlikehold, oppgradering og så videre. Det trengs nettverk av basestasjoner (med master, antenner, hytter, radioutstyr, utstyr og linjer for datakommunikasjon til sentralen, strømforsyning og så videre) som gir dekning langs hele den aktuelle jernbanestrekningen, og med spesielle tiltak for å gi dekning i tunneller. Det er disse funksjonene som man eventuelt kunne ha leid i stedet for å bygge og drifte internt dersom de jernbanespesifikke funksjonene også kunne implementeres i de kommersielle GSM-systemene.

Håndholdte mobilapparater ser ut som robuste utgaver av GSM-mobiler fra tidlig 2000-tall, med litt flere knapper på grunn av behovet for lett tilgjengelige ekstrarfunksjoner. Apparater som er fastmontert i togene er tilpasset utformingen av togførerens kontrollpanel. Se Figur 2.



Øverst til venstre: Betjeningspanel for GSM-R togradio i førerkabin. Nødsamtaleknappen i rødt øverst. Foto: Preben Colstrup (Vingehjulet 7-07).

Nederst til venstre: Telefonrøret for GSM-R togradio i en førerhytt. Betjeningspanelet er montert under røret. Foto: Andreas Dypvik Landmark.

Øverst til høyre: Typisk håndholdt GSM-R togradioapparat med rød knapp for nødårop. Nå utgått modell; nyere apparater kombinerer funksjonaliteten inn i en smarttelefon for 4G. Foto: Francois Melchior (Wikipedia).

**Figur 2: GSM-R-utstyr**

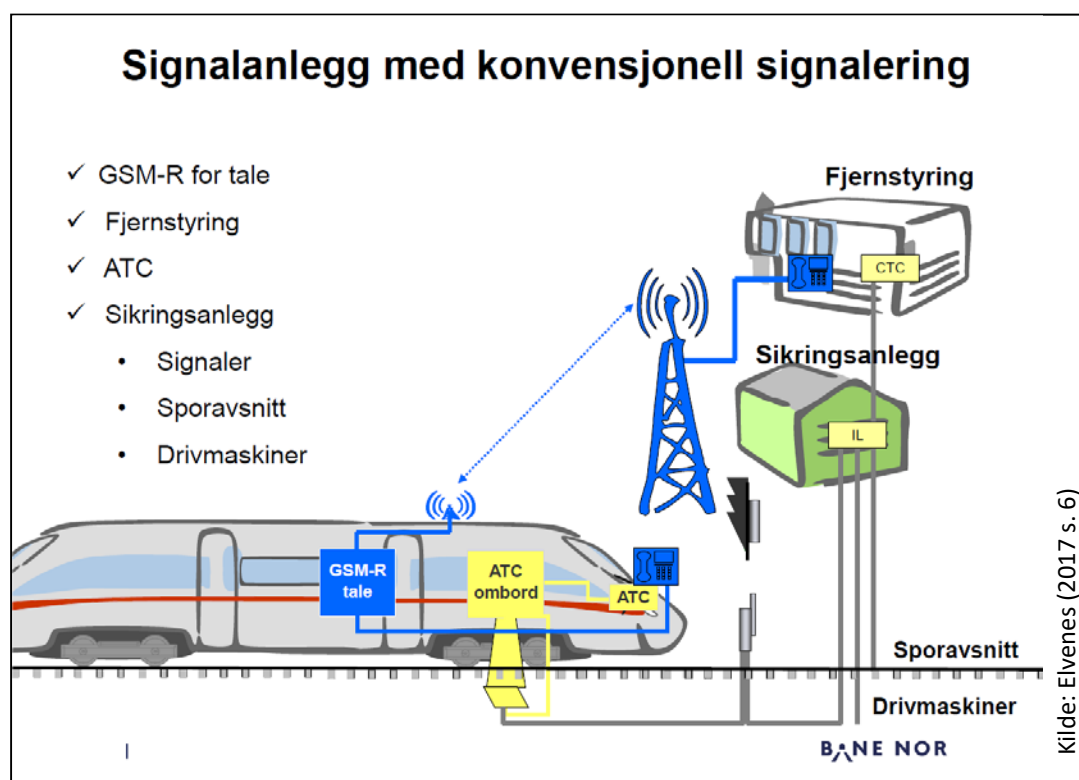
En forskjell som er mindre synlig, er styrken på radiosenderne i togene. For å holde behovet for antall basestasjoner nede, valgte man i stedet å gå opp i signalstyrke. Med togradio på 8 Watt og takmontert antenne 4 meter over bakken var det mulig å redusere investeringskostnadene betraktelig. Største avstand mellom to basestasjoner for at hele strekningen mellom dem skal være dekket,



avhenger også av topografien og, ikke minst, av hvilke frekvenser radiosignalene går på. Konesjonen for GSM-R-nettet var gitt på den attraktive 900 MHz-frekvensen, som er slik at den gir lang rekkevidde rundt en basestasjon, og dermed et redusert behov for antall basestasjoner sammenliknet med mange andre aktuelle frekvenser. Frekvensen er også avgjørende for innholdet i radioelektronikken i apparatene.

Håndholdte apparater tillates ikke med mer enn 2 Watts styrke for ikke å komme i konflikt med tillatt strålingsnivå. De kan derfor ha dårligere dekning enn togradioen på noen steder, dersom de for eksempel befinner seg midt mellom to basestasjoner med dårlige mottaksforhold på bakken.

Som tidligere sagt, spiller GSM-R og ATC sammen der begge er utbygd. Figur 3 viser en prinsipp-skisse av dette.



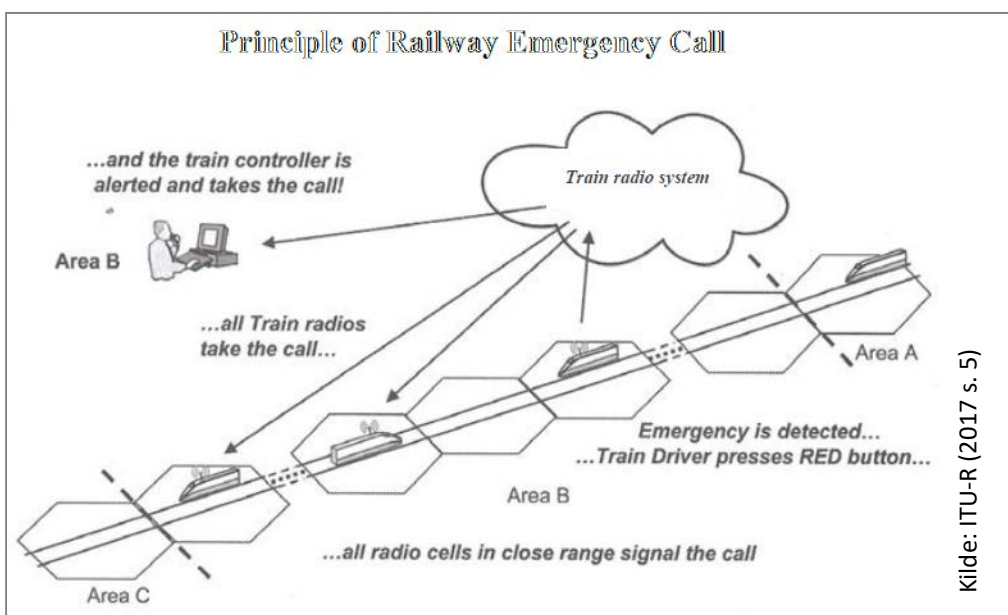
**Figur 3: GSM-R og ATC**

De blå figurelementene viser signalvei for GSM-R-signaler. GSM-R-signaler er mobiltelefonisignaler som går mellom en GSM-antenne på toget og en GSM-mobilmast ved siden av jernbanelinjen. Når toget forflytter seg, tar antenner på nye master automatisk over. Signaler mellom hver av de 600 mobilmastene og sentralen føres fram både mellom master og langs fiberkabler, akkurat som i et regulært mobiltelefonnett. Det er altså strengt tatt bare trafikk mellom apparat og basestasjon som trenger å gå gjennom luften, som radiosignaler. Om bord på toget finnes den omtalte GSM-R-terminalen montert i førerrommet, integrert med andre instrumenter gjennom en datamaskin, og håndholdte mobiltelefoner spesialutrustet for GSM-R til mobilt bruk. I togledersentralen er GSM-R-apparatene plassert på pulten som klassiske stasjonære telefonapparater (i tillegg til at det er annet elektronisk utstyr uten framtreddende synlighet). Personell på stasjoner og i arbeid på sporet bruker håndholdte apparater.

De gule figurelementene viser signalvei for ATC-signaler. ATC-signaler går mellom baliser som ligger fast i sporet og spesialantenner under tog når de kjører over balisene. Om bord på toget går ATC-signalerne til togets styringssystem i en datamaskin og til togførerens instrumentpanel. Mellom balisene og togledersentralen går de analoge signalene i kabel via stedlige sikringsanlegg, sammen med andre signaler for togframføring. Systemene kjenner igjen den enkelte balisens lokalisering og får dermed presise posisjonsangivelser for toget når det passerer. Passerer et tog en balise som det ikke har anledning til, for eksempel forbi et rødt lys, sendes det bremsesignaler til toget. GSM-R-systemet kan også gi mindre presise lokaliseringsdata ut fra togets avstand til de nærmeste mobilmastene.

Datakommunikasjon kan gå gjennom begge signalveier, men sikringsanleggene er spesialbygd for konkrete formål og kan derfor ikke føre data for andre formål uten betydelig ombygging. GSM-R er en generell digital databærer, og den har tilstrekkelig båndbredde (kapasitet) for behovene for data-transport i tilknytning til togframføring i mange år framover. Lokaliseringsdata fra baliser kan selv sagt også sendes via GSM-R, en løsning som vil bli implementert når ETCS-delen av ERTMS-systemet implementeres. Ved oppstart av telefonsamtaler registreres posisjonsangivelse automatisk og lagres på operasjonssentralen sammen med et digitalt opptak av samtalen, tilsvarende de samtalerregistratorene som er kjent fra flytrafikken.

Implementering av flere av de jernbanespesifikke funksjonene er ikke nødvendigvis vanskelige, men det er ikke trivielt å implementere dem i standard GSM-systemer. Det virker ikke å legge dem ovenpå standardsystemet som et separat programmert lag. Garantert, umiddelbar prioritert oppkobling av samtale var kanskje den vanskeligste å implementere i et eksisterende nett. Det var derfor Telenor og NetCom sa at det ikke var mulig for dem å levere slike tjenester innenfor et rimelig tidsvindu. Figur 4 illustrerer et eksempel på en slik funksjon.



**Figur 4: Prinsipp for nødansrop med selektiv kringkasting i et GSM-R-system**

En av GSM-R-funksjonene er automatisk gruppeanrop for nødsamtaler, som kan aktiveres ved å trykke på en rød knapp på enten faste eller håndholdte apparater. I tillegg til togleder anropes auto-

matisk alle apparater innen samme område eller togstrekning som den som har trykket på knappen. Systemet må dermed også vite hvilke tog og hvilke apparater som befinner seg innenfor et relevant område til enhver tid, for å kunne anrope dem umiddelbart og samtidig. Slike anrop gis prioritet i mobilnettet og parkerer andre samtaler som noen måtte delta i, og alle kobles inn i en gruppesamtale. Alt dette må håndteres automatisk og med umiddelbar virkning. Normal responstid ville ikke tilfredsstillende kravet. GSM-systemet måtte bygges om forholdsvis dypt inne, også i noe maskinvare, for at dette skulle være mulig med garanti for den svært raske responstiden som var påkrevet.

I alt ca. 550 basestasjoner er plassert ut langs de ca. 4.000 km jernbane som er dekket av systemet. Utbredelsen er vist på kart i høyre panel i Figur 6 (på side 35). Det er utbyggingen langs jernbanen som har kostet mest. Aller høyest kilometerpris er det i tunneller, der radiosignaler må forsterkes, der det er trangt om plassen, og der arbeidet måtte foregå når det ikke var trafikk på linjen. De sentrale komponentene i systemet, som er samlet på Marienborg i Trondheim, utgjorde om lag 280 mill. kr, en grunninvestering som ikke avhenger mye av størrelsen på nettverket langs jernbanen. I størrelsesorden 10.000 brukere er knyttet til samtalsystemet.

Det fibernettverket som BaneTele fikk overdratt eierskapet til, ligger fortsatt på plass langs jernbanen. Etter en rekke omstruktureringer i data- og mobilbransjene er det nå GlobalConnect AS som eier det, og leier ut kapasitet for datatransport til Bane NOR for blant annet GSM-R-signaler mellom basestasjoner og sentral, og en lang rekke andre datatransporter.

Ved oppstart av planlegging og ut 2002 var det BaneTele som hadde hånd om prosjektet i Jernbaneverket. Deretter ble det overført til Jernbaneverkets utbyggingsdivisjon. Når det led mot driftssetting av systemet, ble det identifisert behov for et eget operasjonssenter for GSM-R-nettverket med dertil egnet kompetanse. Denne oppgaven var egentlig planlagt satt ut på anbud (eller, enda tidligere, tiltenkt BaneTele). Operasjonssenteret ble lagt til Marienborg i Trondheim, der NSB i flere tiår har hatt store verksteder og skifteområder, i samme bygningskompleks som den togledersentralen som var først ute med å ta i bruk den nye togradioen. Kjernebemanningen på operasjonssenteret ble foretatt ved å flytte relevant personell fra utbyggingsprosjektet.

## **2.4 Alternative konsepter (mulighetsrommet)**

### **2.4.1 Behovene og løsningsmulighetene**

Behovene er gjengitt punktvis i kapittel 2.2.2. I mai 2000 sendte Samferdselsdepartementet en forespørsel til Jernbaneverket om det var mulig å tilfredsstillende disse kravene gjennom å bruke tilgjengelig GSM-utbygging, og så bygge noe på toppen av det. GSM-nettverk ville jo være kommersielt tilgjengelig, og man kunne kanskje samarbeide med kommersielle aktører om utbygging av nettet langs de strekninger på jernbanen der det ikke var kommersielt grunnlag for utbygging som gav tilstrekkelig dekning.

Svaret på dette er teknisk betinget. Selv om noen av de nødvendige anropstjenestene i prinsippet muligens kunne bygges på toppen av en GSM-løsning, så var garantert prioritering en tilnærmet teknisk umulighet. Etter en eventuell ulykke med passasjertog ville kapasiteten i den aktuelle delen av GSM-nettet dessuten fort kunne bli overbelastet av passasjerenes egne anrop.

Prosjektet ble planlagt og gjennomført i en periode der det også var spørsmål om hvordan jernbanens eget fiberanlegg for digital kommunikasjon, som per 1999 omfattet 4.000 km fiberkabel

langs flere hovedstrekninger (Crowd 2019a), best kunne utnytted. Eierskapet var skilt ut i selskapet BaneTele (2001) under Næringsdepartementet (2002), det ble åpnet for private eiere (2006) og senere helprivatisert (2009). En risikoanalyse viste at jernbanens behov for garantert og uavbrutt kommunikasjon i prinsippet kunne ivaretas tilfredsstillende ved å bruke systemer som ikke var eid av jernbanesektoren selv, forutsatt gode avtalereguleringer (Jernbaneverket 2002b). I Norge talte dette for å drifte systemene selv, men utvikling og utbygging ble lagt ut på anbud.

#### 2.4.2 Tekniske konsepter

Jernbaneverket utredet to tekniske systemkonsepter for selve GSM-R-nettet, med ulike dekningsgrader og ulike måter å sørge for tilgjengelighet på ved utfall av enkeltkomponenter i nettverket. Man gikk først inn for det konseptet som Banverket hadde implementert i Sverige, med en beregnet systemtilgjengelighet på minimum 99,993 prosent. En fordel med denne løsningen kunne være at interoperabilitet mellom norsk og svensk jernbanenett kunne ivaretas på et enkelt sett. Denne løsningen viste seg imidlertid å gi uforutsette tekniske problemer som "muligens kan løses". Det andre konseptet ble senere valgt. Det fikk en beregnet systemtilgjengelighet på minimum 99,975 prosent, og det fantes en supplerende løsning der praktisk implementering viste seg å lage uforutsette problemer med tilgjengelighet. Foreløpige beregninger viste også at det sistnevnte konseptet kunne gi en noe rimeligere utbyggingskostnad (Jernbaneverket 2002c).

Spesifikasjon av løsning på togradio for strekninger uten automatisk togstans (ATC eller senere ERTMS) ble også vurdert. Dette var strekninger med lav baneprioritet og liten trafikkmengde. Her ble konklusjonen at der det ville være aktuelt å basere seg på det kommersielle GSM-nettet til talefunksjoner, måtte rutiner/prosedyrer være etablert slik at rask kontakt kunne oppnås mellom togbehandling og trafikkledning (Jernbaneverket 2002c). Med andre ord, dette ville i så fall være akkurat den tilstanden som gjaldt ved Åsta-ulykken, bortsett fra at rutinene altså ikke fungerte tilfredsstillende der.

#### 2.4.3 Nullalternativ

I vurderingen av et prosjekts vellykkethet trengs det et nullalternativ å sammenlikne den faktiske investeringen mot. Gitt det ovenstående, kan en se for seg tre potensielle nullalternativ.

Det første er å ikke gjøre noe, men å fortsette med Scanet-løsningen der den var installert og la de tre siste hovedstrekningene være uten togradio. I dette scenariet ville Statens jernbanetilsynet måtte trekke tilbake dispensasjonen, noe som ville måtte føre til stans på togtrafikken på Nordlandsbanen (med Meråkerbanen), Raumabanen og Rørosbanen. Politisk sett ville dette være et helt urealistisk alternativ. Staten måtte da eventuelt fjerne (eller modifisere) den omtalte § 5d i forskriften for at togtrafikken der skulle kunne fortsette. Dette kunne for eksempel være de midlertidige løsninger med økt bemanning, lavere hastighet og bedre rutiner, som faktisk ble iverksatt i påvente av utbygging. Vi anser dette som urealistisk, særlig i tiden etter Åsta-ulykken. Vi kunne kalle dette nullalternativet en "som før"-løsning, hvis det ikke var for at det antakelig ville utløse de største endringene, med nedleggelse av flere strekninger, der altså alt ville bli som før, men uten togtrafikk. Så vi kan heller kalle det en "radio-som-før"-løsning.

Det andre er å bygge ut togradio på de tre (fire) nevnte strekningene, men ikke på resten av nettet. Dette kunne i prinsippet være Scanet, som imidlertid ikke lenger var tilgjengelig, og da måtte det bli GSM-R på grunn av internasjonale forpliktelser. Slike forpliktelser kan riktignok brytes, dog ikke uten konsekvenser, men som sammenlikningsgrunnlag ville dette scenariet i prinsippet kunne være

aktuelt. Det fantes andre analoge togradiosystemer i verden, som riktignok ikke hadde vært vurdert som aktuelle da Scanet ble utviklet. Resten av jernbanenettet ville da måtte bytte til GSM-R ved en senere anledning, etter ikke så mange år, fordi Jernbaneverket allerede hadde bedømt Scanet som utdatert. Interoperabilitet mellom bruk av de to systemene på overlappende strekninger kunne i prinsippet ivaretas gjennom detaljert planlegging, noe som faktisk ble oppnådd i den utbyggingsfasen som fulgte, om enn ikke helt uten driftsproblemer. Dette ville være et nullalternativ i den forstand at det måtte gjennomføres som et minimum, dersom man skulle unngå nedleggelse av de nevnte togstrekninger. Vi kaller dette nullalternativet "kompletterings"-løsningen, som i prinsippet er uavhengig av hvilket togradiosystem som ble innført på de nevnte strekningene.

Det tredje er ikke et eget scenario, men en korreksjon til de to første, ettersom bortfallet av Scanet fra leverandørsiden ville ha medført eskalerende vedlikeholdskostnader og følgekostnader av feil på anlegget, og i realiteten bare ha utsatt den nye GSM-R-investeringen. Vi kan kalle det "vedlikeholds"-løsningen.

Dette tredje momentet reduserer også realismen i, og dermed verdien av, å bruke de to første scenariene som sammenlikningsgrunnlag for investeringen. Vi kjenner da heller ikke til at det ble gjort noen slike analyser. Vi kommer imidlertid tilbake til de to sammenlikningsgrunnlagene – radio som før, og komplettering – i en del av de analysene vi gjør av effekter av investeringen. Ut over dette forfølger vi også vedlikeholdsløsningen på samfunnsøkonomisk grunnlag i kapittel 9.

### 3 PROSJEKTETS MÅLSTRUKTUR OG MÅLFORMULERINGER

Styringsdokumentet for prosjektet (Jernbaneverket 2003, 2006b) inneholder målformuleringer, akseptkriterier for måloppnåelse, suksesskriterier, eksterne og interne rammebetingelser og krav i et omfang av drøye seks sider tekst. En god del av disse er tekniske krav og krav til hvordan prosjektet skal gjennomføres. De mål og krav som vi anser som de viktigste og mest relevante for denne evalueringen, er formulert og samlet i en målstruktur som følger (i lett forkortet form):

Samfunnets målsetninger ved gjennomføringen av prosjektet var, i prioritert rekkefølge:

1. Øke sikkerheten på norsk jernbane ved å redusere antall driftsulykker og nestenulykker, samt omfanget av ulykker hvis de skulle oppstå.
2. Bidra til mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet i Norge (effektivisert trafikkhåndtering, høyere punktlighet i trafikkavviklingen, mindre venting, færre kanselleringer).
3. Bidra til mer effektiv drift av kommunikasjonssystemene som er nødvendig for driften av jernbanetransport i Norge.

Ytterligere forventninger på samfunnsnivå var synergier med fire områder: andre relevante prosjekter, infrastruktur, systemer og installasjoner.

De tre samfunnsmålene er ikke umiddelbart forenlige. Sikkerhet, effektiv utnyttelse av jernbanenettet og effektiv systemdrift kan både i prinsippet og i praksis stå i en målkonflikt i forhold til hverandre. Dette løses noe opp gjennom at målene er innbyrdes rangert (prioritert). De to førstnevnte formuleringene omfatter også presiseringer som kunne ha vært formulert på et lavere nivå, men dette står ikke i veien for verken målstyring eller evaluering. At de fire forventningene om synergier er formulert på samfunnsnivå, selv om de gjelder koordinering internt i jernbanesektoren, kan vi tolke som en forventning (eller ambisjon) om effektiv ressursutnyttelse på fellesskapets vegne.

Effekt målsetningene for brukerne av GSM-R-systemet var helt eller delvis formulert som komponenter på brukernivå under de respektive samfunnsmålene, i samme prioriterte rekkefølge:

1. Bidra til samfunnsmålet om økt sikkerhet gjennom
  - a. høy tilgjengelighet (i kommunikasjon) mellom togleder og tog
  - b. full kommunikasjonsdekning på GSM-R-strekningene
  - c. øke sikkerhet for alle grupper om bord i tog
  - d. nok kapasitet og funksjonalitet i nettet til ikke å begrense beredskap og redningsarbeid
  - e. brukerne trenger kun å forholde seg til ett system
2. Sikre samfunnsmålet om effektiv utnyttelse av jernbanenettet gjennom
  - a. økt regularitet (muliggjort togframføring når signalsystem var ute av drift)
  - b. bedre togflyt over landegrensler
  - c. nye bruksfunksjoner i forhold til eksisterende radiosystemer
  - d. direkte kommunikasjon gjennom ett system for flere brukergrupper
  - e. mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet og dermed av togene for trafikkoperatører
3. Sikre samfunnsmålet om driftseffektivisering gjennom
  - a. færre systemer og mindre opplæring
  - b. reduserte driftskostnader ved deling av delsystemer, infrastruktur og installasjoner med andre (enn Jernbaneverket)
  - c. flere tilleggstjenester for trafikkutøvere.



Som målhierarki betraktet er det noen detaljer som ikke passer helt inn. Økt sikkerhet for alle grupper (effektmål 1c) er av en annen karakter enn effektmålene 1a, 1b, 1d og 1e, idet det er nokså uklart hvordan et system skulle sikre bare utvalgte grupper. Derimot avgrenses sikkerhetsmålene til å gjelde de som er om bord på toget, hvilket neppe er intensjonen. Hva som kommer først av bedre utnyttelse av togsett (effektmål 2e) og bedre utnyttelse av jernbanenettet (samfunns mål 2), kan diskuteres. Den valgte formuleringen avspeiler at utnyttelse av togsettene er en nytte for brukerne av infrastrukturen (altså togoperatørene), mens utnyttelse av infrastrukturen er en nytte for samfunnet (representert ved Jernbaneverket). Og de tilleggstenester (effektmål 3c) som skal bidra til samfunns målet om driftseffektivisering, er det gjort lite rede for. En kan se det i sammenheng med forventningene om synergier med andre systemer.

På tredje nivå i målhierarkiet er det formulert to typer akseptkriterier for prosjektets utfall: resultatmål og suksesskriterier.

Den ene typen akseptkriterier er resultatmål innen de følgende fire hovedområdene (i prioritert rekkefølge):

1. Helse, miljø og sikkerhet
2. Kvalitet
3. Tid/framdrift
4. Økonomi.

Disse fire hovedområdene er en vanlig gruppering av resultatmål for utbyggingsprosjekter. Av disse er det først og fremst kvalitet – som også omfatter omfang – som bygger direkte opp under effektmålene. De tre andre områdene kan gjerne kalles mål for prosjektgjennomføring som i liten grad påvirker de effekter som er planlagt – forutsatt, naturligvis, at prosjektet blir gjennomført. De øvrige resultatmålene er uttrykk for andre krav til prosjektgjennomføringen som underbygger Jernbaneverkets omdømme eller krav gitt i lover, regler og overordnede beslutninger.

Innenfor hvert av disse fire områdene er det formulert et hovedmål og en rekke delmål, samt innsatsfaktorer av organisatorisk og systemisk karakter for å nå de enkelte hoved- og delmålene for HMS, kvalitet, tidsplaner og økonomi. Det vil gå for langt å gå inn i alle disse her, men de viktigste elementene for å vurdere taktisk måloppnåelse i vår sammenheng er som følger, i prioritert rekkefølge:

1. HMS: Ingen skader eller tap som medfører uønsket oppmerksomhet
2. Kvalitet: I henhold til en rekke krav og premisser (funksjonsspesifikasjoner)
3. Tid: se kapittel 4.4
4. Økonomi: Gjennomføring innenfor styringsrammen (1.643 MNOK i 2005; kostnadsrammen satt til 1.730 MNOK).

Den andre typen akseptkriterier er formulert som suksesskriterier for å avgjøre prosjektets vellykethet. Disse er i versjon 6 formulert som følger, i uprioritert rekkefølge:

- Måloppnåelse
- Full kommunikasjonsdekning på alle hovedspor og jernbanetuneller
- GSM-R-systemet skal være førstevalget for kommunikasjonsløsninger innenfor jernbanen
- Jernbanedriften effektiviseres ved at eldre radiosystemer saneres
- Brukerne av GSM-R hos trafikkutøverne og i Jernbaneverket er fornøyde

- Nye tjenester og applikasjoner blir utviklet og implementert.

At måloppnåelse er supplert av andre suksesskriterier, virker som en måte å synliggjøre viktige aspekter ved prosjektet som ikke har funnet plass i en målstruktur av det gitte formatet. Vi finner imidlertid ingen opplagte konflikter mellom disse kriteriene og øvrige mål. De fleste suksesskriteriene burde kunne fanges opp ved en enkel omformulering innenfor målhierarkiet. Suksesskriteriet om full kommunikasjonsdekning utdyper effektmål 1b ved å spesifisere hva som skal være GSM-R-strekninger. Full dekning i tunneller er et viktig poeng her. Kriteriet om førstevalg kan virke søkt, men det kan henspille på for eksempel bruk av togradsystemet til andre formål enn togframføring, for eksempel skifteoperasjoner, eller at togoperatørene (NSB og andre) skal bruke det til sin internkommunikasjon, for eksempel mellom togfører og konduktør.

Vår gjennomgang av målstruktur og målformuleringer er basert på versjon 3 og versjon 6 av styringsdokumentet, slik de forelå henholdsvis den 24. november 2003, altså i det formelle oppstartsåret, og den 1. august 2006, drøye tre år etter den første utgaven. Kvalitetssikringen (i april 2003) hadde påpekt behovet for innbyrdes prioritering av målene. Ut fra erfaring med vanlig praksis har vi antatt at viktige målformuleringer ikke er endret underveis.<sup>23</sup>

Dette målhierarkiet er et hierarki i den forstand at det gir mål høyt i hierarkiet prioritet over de som er lavere. Det er ikke nødvendigvis like konsistent i betydningen mål/middel-hierarki, der mål på ett nivå forutsettes å være virkemidler for å nå et mål på høyere nivå. Vi har i det følgende omstrukturert målformuleringene slik at de tydeligere avspeiler kausaliteten i programlogikken for prosjektet, altså hva som er årsak og hva som er tilsiktet virkning, i et hierarki fra prosjektets resultater gjennom noen virkningsmekanismer til effekter og overordnede effekter på samfunnsnivå. Dette hjelper til å strukturere den delen av evalueringen som tar for seg måloppnåelse på effektnivå og forståelse av hvordan disse er skapt. I denne omstruktureringen er det kvalitetene, eller egenskapene, ved det ferdig leverte systemet, som er resultatene av prosjektgjennomføringen. Dette er i samsvar med det vi nettopp har sagt om at leveransens kvalitet/omfang er det eneste resultatet av prosjektet som kan inngå i en videre forutsetning for å skape de tilsiktede effekter. Dermed kan vi også i evalueringen av produktivitet i utbyggingsfasen konsentrere oss om nettopp HMS, framdrift og økonomi.

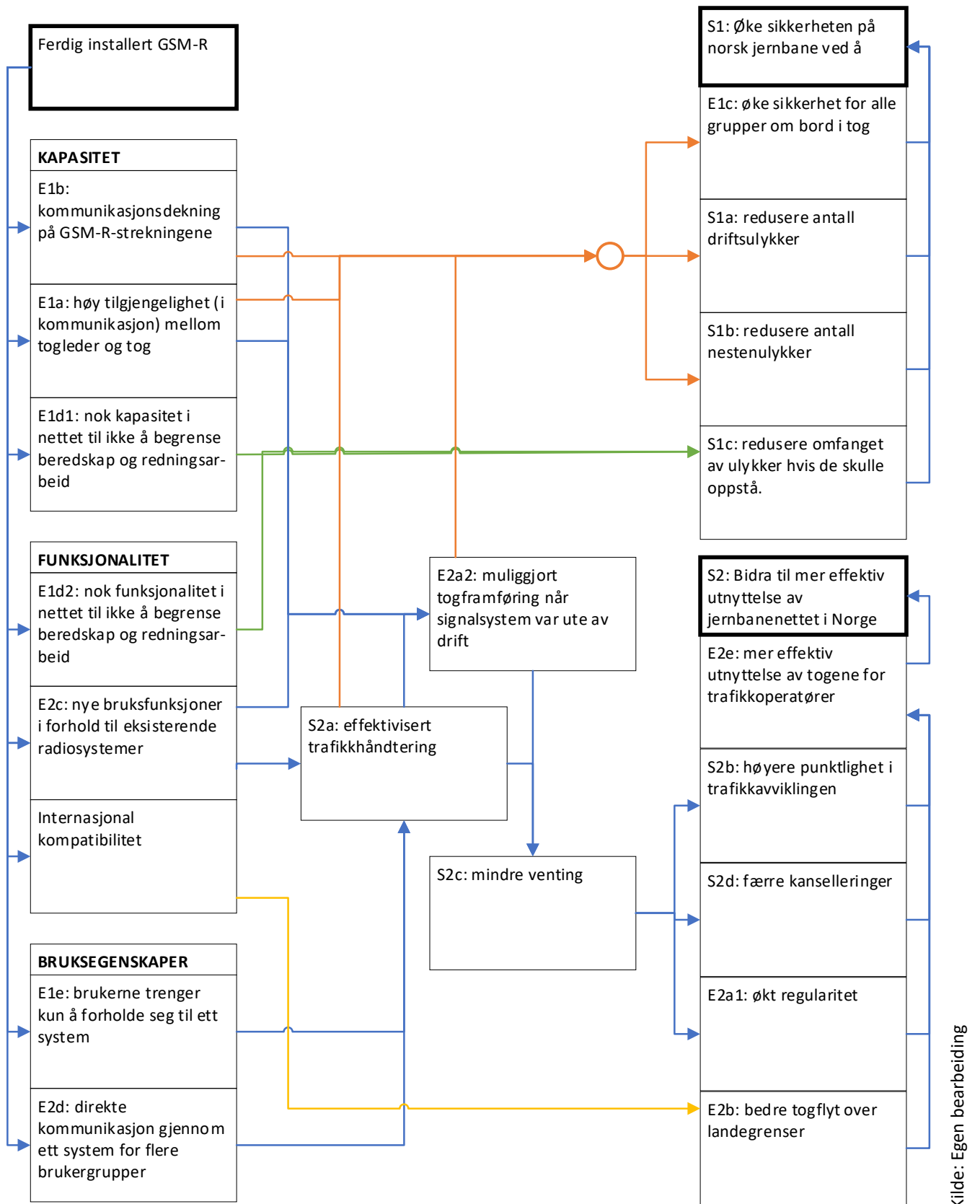
Ettersom samfunnsmålet for prosjektet har tre ulike komponenter (sikkerhet, utnyttelse av jernbanelinjen og driftseffektivitet for nødvendige kommunikasjonssystem), organiserer vi også analysen av veien fra resultater (systemkvaliteter) via effekter til samfunns effekter under disse tre overskriftene, i stedet for å ha ett kapittel for resultater (systemkvaliteter), ett for effektmåloppnåelse og ett for samfunnsmåloppnåelse.

Programlogikken som framstår etter vår reorganisering av målstrukturen er vist i Figur 5, i form av bokser og piler, der boksene er formulerte mål eller midler, og der pilene viser viktige påvirkninger i pilens retning. Teksten i boksene er hentet fra målformuleringene; S står for samfunnsmål, E for effektmål og R for resultatmål. De viktige egenskapene ved den ferdige GSM-R-installasjonen står til venstre. Disse er resultatene av prosjektet, og det er disse som (indirekte) skal skape de tilsiktede effekter. Disse effektene står til høyre, og samlet bidrar de i siste instans til de tre tilsiktede samfunns effektene (økt sikkerhet, mer effektiv utnyttelse av jernbanelinjen, driftseffektivisering for

<sup>23</sup> Når det gjelder eventuelle endringer i resultatmål for kostnad og tidsforløp, som gjerne følger av endrede forutsetninger i omgivelsene, har vi brukt andre kilder.



nødvendige kommunikasjonssystem). Samfunnseffektene står i bokser med tykkere linje. Midt i figuren finnes et lite antall bokser for trinn i en årsaks-virkningskjede som forklarer hvordan effektene skapes. Påvirkningspilene er fargekodet for å synliggjøre noen viktige bidrag til effektene: Oransje piler handler om forebyggende sikkerhetsarbeid, grønne om redningsarbeid, blå om effektiv togdrift og dermed effektiv utnyttelse av jernbanenettet, og gule om internasjonal togdrift. Figuren er avgrenset til de to høyest prioriterte samfunnseffektene, altså sikkerhet og utnyttelse av jernbanesystemet, ettersom det er der sammenhengene er mest komplisert. Driftseffektiviteten er avhengig av andre egenskaper ved systemet og er derfor ikke med i figuren for å ikke gjøre den mer komplisert enn nødvendig. En ytterligere forklaring av figuren blir gjort i kapittel 4.6.



Kilde: Egen bearbeiding

**Figur 5: Programlogikk for GSM-R-prosjektet**

## 4 PRODUKTIVITET I UTBYGGINGSFASEN

### 4.1 Produktivitetskriteriet og hvordan det kan vurderes

Evalueringskriteriet produktivitet i utbyggingsfasen handler om måloppnåelse for de operative mål som er satt for prosjektet i gjennomføringen. Økonomi, tidsbruk og kvalitet/mengde levert er vanlige gjengangere i en slik vurdering. I dette prosjektet er det også lagt spesielt høy vekt på helse, miljø og sikkerhet i selve byggeprosessen.

På økonomisiden handler det dels om hvordan prosjektet kommer ut i forhold til de forhåndsfastlagte og kvalitetssikrede kostnadsplaner. Ideelt sett skal også kostnadene sammenliknes med kostnadene i liknende prosjekter, med tanke på en nærmere forståelse av effektiv ressursbruk, gitt oppgavene som skal løses. I et avgrenset evalueringsprosjekt av denne typen kan en bare forutsette at planleggingen og kvalitetssikringen har ivaretatt dette aspektet, særlig fordi det også ofte er snakk om prosjekter der det er vanskelig å finne et godt sammenlikningsgrunnlag.

På framdriftssiden er det prosjektets evne til å holde avtalte tidsfrister for framdrift og leveranse som studeres. Eksterne og prosjektinterne hendelser kan medføre både forsering og forsinkelse sammenliknet med plan, noe som også gjerne har kostnadmessige konsekvenser.

Kvalitet og mengde handler i den enkleste forstand om eventuelle avvik fra avtalte leveranser, fortrinnsvis også sett opp mot påløpte kostnader. Må det kuttes i leveringsomfang eller kvalitet, er det viktig at det skjer der det gjør minst skade for de overordnede målsettinger for prosjektet.

Helse, miljø og sikkerhet i utbyggingsperioden står høyt på dagsorden i all infrastrukturbygging, ikke minst i offentlige etater.

I det følgende går vi gjennom resultatmålområdene i den rekkefølgen de var prioritert.

### 4.2 HMS

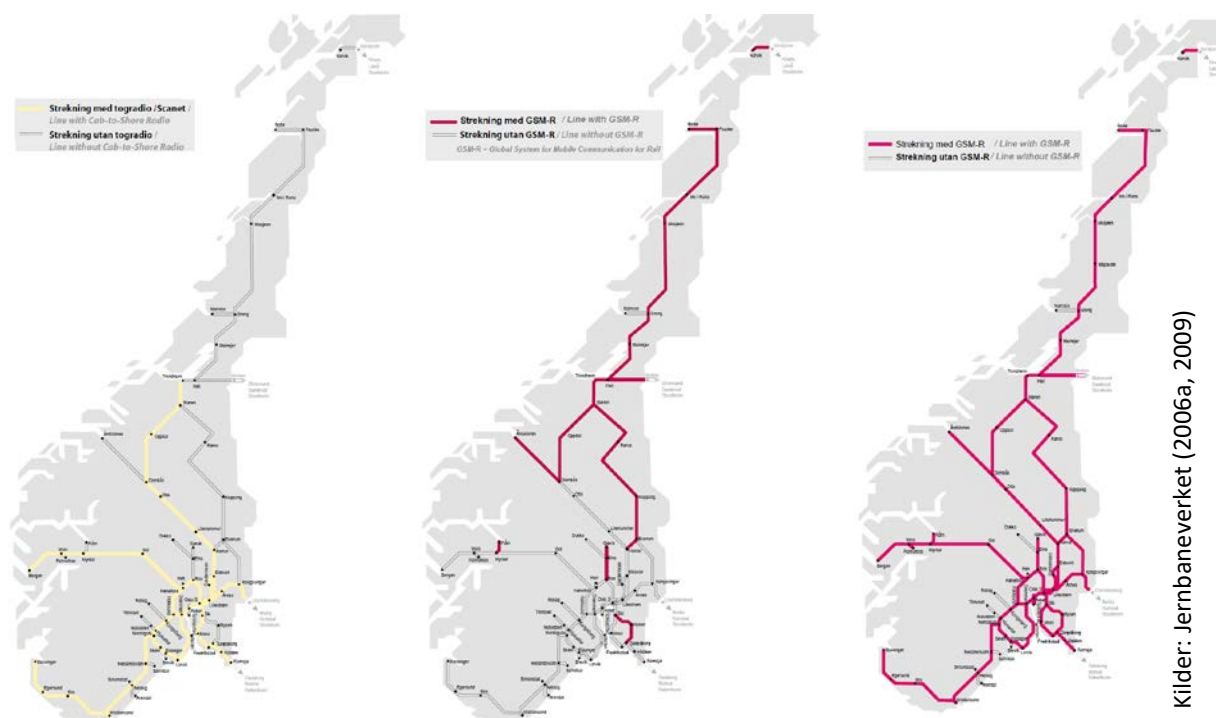
HMS-målet i prosjektet var å unngå skader eller tap av menneskers liv, helse og arbeidsmiljø eller materiell og utstyr. Et delmål var å ha dokumentasjon og rutiner på plass slik at prosjektet unngikk å bli gransket eller mistenkt for HMS-forhold. Så vel Jernbaneverket selv som underleverandører var omfattet av disse målene.

Kontraktstrategien for utbygging i terrenget gjorde at mange bygg- og anleggsentreprenører var engasjert, på de forskjellige delstrekningene. Det var da behov for å koordinere mot mange aktører. Arbeid langs jernbanen, og særlig i tunneller, kan være utsatt, men Jernbaneverket har gode rutiner og praksis på å holde togframføring og vedlikeholdsarbeid i atskilte tidsvindu. Antall hendelser har vært lavt. En anmeldelse etter en arbeidsulykke er registrert. Ut fra dette må HMS-målet må sies å være tilfredsstillende oppfylt.

### 4.3 Kvalitet

Kvalitetsmålene ble formulert som å tilfredsstill alle de spesifikasjoner/krav som var forhåndsformulert i kontrakter og teknisk regelverk, og de premisser som var og ble gjort mellom prosjektet og de informasjonsteknologisk ansvarlige i Jernbaneverket.

Togradiodekningen ble nesten doblet, sammenliknet med Scanet-dekningen, se Figur 6. Det venstre panelet viser i gult Scanet-utbredelsen da den var på sitt største (i 2005). Det midterste panelet viser i rødt GSM-R-dekningen på samme tid (etter utbyggingens fase 1). Panelet til høyre viser i rødt GSM-R-utbredelsen tre år senere (etter utbyggingens fase 2), da Scanet også var tatt ut av drift.



**Figur 6: Togradiodekning i 2005 (Scanet og GSM-R fase 1) og 2008 (GSM-R fase 2)**

Togradiodekningen med Scanet i 2005 var identisk med tilstanden i 2000, med unntak av at Scanet på Ofotbanen i 2005 var koblet ned etter en separat utbygging av det svenske GSM-R-systemet helt fram til Narvik. I 2005, i overgangen mellom fase 1 og 2 av utbyggingen, var både GSM-R og Scanet i drift mellom Dombås og Trondheim. De få strekningene som er uten GSM-R-dekning i 2008, har ingen eller svært liten trafikk.

De spesifiserte funksjoner i systemet ble utviklet og implementert, nødvendig utstyr sentralt og langs jernbanen ble levert og installert, likeså nødvendig utstyr på tog, de planlagte strekninger (og litt til) ble bygd ut, dekningsgraden langs strekningene ble som planlagt (samt at noen strekninger i tillegg fikk dobbel dekning), en driftsorganisasjon for bruk av systemet ble etablert og satt i prøve-drift før overlevering til basisorganisasjonen i Jernbaneverket. Løsningen ble også innenfor rammen av prosjektet testet ut som bærer for NSBs ombordfunksjonalitet. Vi kjenner ikke til drifts- eller stabilitetsproblemer av betydning på leveringstidspunktet. Senere har det vært utskifting av utstyr fastmontert i tog og håndholdte apparater. Når det gjelder senere oppdagede systemproblemer, se kapittel 5.3.3.

Ut fra tilgjengelig informasjon vil vi karakterisere dette som tilfredsstillende måloppnåelse for prosjektet.

#### 4.4 Tid/framdrift

Planlagt og realisert framdrift framgår av Tabell 2.

**Tabell 2: Hovedmilepæler**

Milepæl	KS2	Revidert	Faktisk	Merknad
Prosjektstart	2003-06		2003-06	Første kontraktinngåelser
Strekningen Rognan-Bodø tatt i bruk	2003-12		2004-05	
Øvrige fase 1-strekninger tatt i bruk	2004-10		2004-12	
Funksjonell fase a+ tatt i bruk		2004-12	2005-08	
Funksjonell fase b tatt i bruk		2005-07	2006-01	
Funksjonell fase c tatt i bruk		2006-12		
Fase 2-strekninger tatt i bruk	2005-09	2007	2007-01	
Sluttføring	2006-02	2007	2008-12	

Merknad: Funksjonell fase a+, b og c (våre betegnelser) er tre nivå av funksjonalitet innbygd i systemene. Alle nivå var opprinnelig planlagt implementert for ibruktaking fra første banestrekning, men måtte faseinndeles på grunn av forsinkede leveranser.

Datakilde: Jernbaneverket.

Som det framgår sist i kapittel 2.2.5, ble det innført en finansieringspause i prosjektet mellom fase 1 og fase 2 som medførte en merkostnad og en revisjon av framdriftsplanen. Forsinkelser i en del leveranser av teknisk art gjorde det nødvendig å fordele implementeringen av funksjoner ut over prosjektperioden. Dette frigjorde noe likviditet til å forsere andre deler av prosjektet samtidig.

Finansieringspausen førte til forsinkelse i den framdriftsplanen som Stortinget hadde fastsatt i 2002, og som også lå til grunn ved KS2 (Terramar 2003). Sluttdatoen ble to år etter nevnte plan og ytterligere ett år etter den sluttdato som BaneTele først hadde annonsert (Ryvarden 2002b). Eller, om man vil, en sluttdato akkurat i begynnelsen av andre halvdel av perioden for Norsk transportplan, der altså prosjektet først var tiltenkt å begynne hvis det kunne skaffes finansiering til det.

Jernbaneverket har framhevet prosjektet som en stor suksess hvor det er gjennomført et høyteknologisk prosjekt på rekordtid sammenliknet med andre liknende prosjekter i Europa. Vi noterer at GSM-R-prosjekter på enkeltstrekninger hadde vært gjennomført i mange år, men bare Nederland kom i mål med et heldekkende GSM-R-nettverk før Norge, og Sverige lå hakk i hæl.

Avhengig av hvilken plan vi sammenlikner med, varierer konklusjonen på hvordan framdrift og sluttdato står seg i forhold til målene som var satt. I denne vurderingen må vi gi forrang til de forutsetninger som Stortinget til enhver tid har satt, altså de som i Tabell 2 står i kolonne KS2 for fase 1 og kolonne Revidert for fase 2. Vi ser da noen forsinkelser på noen måneder for fase 1, ingen forsinkelse for fase 2, men et års forsinkelse på sluttleveranse, en kombinasjon som ble muliggjort ved å prioritere den grunnleggende funksjonaliteten tidsmessig, slik at togradioen kunne tas i bruk snarest mulig, selv om ikke alle funksjoner var implementert. Det at prosjektet ble ferdig før det egentlig var påtenkt å begynne, er ikke så relevant under overskriften produktivitet i prosjektgjennomføringen.

#### 4.5 Økonomi

Kostnadsplanene utviklet seg over tid som vist i Tabell 3. p50 er styringsramme og p85 kostnadsramme.<sup>24</sup> Der bare ett beløp er oppgitt, er det mest sammenliknbart med p85. Beløpene er ikke indeksregulert, ettersom mange av dem er en sum av påløpte kostnader over flere år og planlagte kostnader for resten av perioden uten videre prisindeksjustering.

**Tabell 3: Kostnadsplaner over tid (løpende MNOK)**

kilde	år	p50	p85	beløp
statsbudsjett 2002	2001			648
revidert statsbudsjett 2002	2002			1 400
kvalitetssikringsrapport	2002	1 500	1 700	
revidert statsbudsjett 2003	2002	1 500	1 700	
statsbudsjett 2004	2003	1 530	1 750	
statsbudsjett 2005	2004	1 543	1 747	
statsbudsjett 2006	2005	1 696	1 791	
statsbudsjett 2007	2006	1 792	1 898	
statsbudsjett 2008	2007			1 810
endelig	2009			1 740

Note: Beløp som er oppgitt i kolonnen uten sannsynlighetsangivelse er mest sammenliknbart med p85.

Det store spranget er fra anslaget i statsbudsjettet 2002, der det ennå ikke forelå en bevilgningssak, til revidert statsbudsjett et halvt år senere. I mars 2002 hadde Jernbaneverket og BaneTele gått ut med et anslag på 1,2 milliarder kroner, noe som vakte reaksjoner både i Samferdselsdepartementet, blant politikere, og i allmennheten. Vi tilskriver doblingen i kostnadsanslaget i løpet av et år til en ikke ukjent kombinasjon av en initiell uvilje mot å overdrive finansieringsbehovet og en tiltakende realisme i omfangsbeskrivelse når det nærmer seg bevilgningstidspunktet (se for eksempel Welde m. fl. 2014 for en systematisk gjennomgang).

Kostnadsforløpet over tid svingte en god del sammenliknet med tilgjengelig finansiering. Den største uforutsette ekstrakostnaden, nesten 90 millioner kroner, kom som følge av en beslutning om å holde prosjektorganisasjonen intakt til tross for en pause i bevilgningene, med dertil hørende utsettelse av sluttidspunkt. Dette ble bedømt som mer hensiktsmessig i forhold til kvalitet, framdrift og kostnader framfor å bygge ned prosjektorganisasjonen til et minimum og så bygge den opp igjen. Økningen i budsjettallene for 2006 og 2007 avspeiler dette, noen utvidelser av utbyggingsstrekninger, og prisstigning.

Bokførte kostnader knyttet til sentrale komponenter, det utviklings- og installasjonsarbeid som måtte på plass uansett hvor lange strekninger som ble bygd ut, lå etter våre opplysninger i størrelsesorden 280 millioner kroner. Kontraktpartnere som var verdensledende på GSM-R-installasjons-erfaringer ble valgt. Det var en overraskelse hvor mye konkrete utviklingsarbeid som måtte gjøres

<sup>24</sup> Disse kodene stammer fra usikkerhetsanalyser for kostnadsberegninger, der hendelsesusikkerheter og estimatusikkerheter med betydning for kostnadene bidrar til et samlet bilde av sannsynlige kostnader. p85 er den beregnede kostnaden som prosjektet med 85 prosent sannsynlighet vil holde seg under. p50 er tilsvarende beløp med 50 prosent sannsynlighet.



på toppen av eksisterende standarder og anbefalinger for at systemet skulle ivareta de funksjoner som standardene foreskrev (og litt til); men selv om utviklingsarbeidet var nødvendig for å oppnå full funksjonalitet, var det ikke av så stort omfang at prosjektet ble et utviklingsprosjekt.

KS2 hadde anbefalt at kabler i tunneller skulle legges i rør i stedet for Jernbaneverkets foreskrevne kanaler for andre kabler for å redusere kostnadene, men reglene for dette ble ikke endret, og kanalløsningen ble også foretrukket på grunn av større fleksibilitet i forhold til senere vedlikehold og endringer.

Selv om dette var Jernbaneverkets infrastrukturprosjekt, ville det ikke ha noen hensikt dersom ikke togene (lokomotivene) på jernbanen ble utstyrt med tilpasset utstyr. Dette utstyret og, ikke minst installasjon og ombygging på det enkelte tog, kan koste mange hundre tusen kroner per tog. NSB, som på det tidspunkt fortsatt var eier av persontogene, ble etter det vi forstår ikke belastet med disse kostnadene, men de stod selv for innkjøp av mobile håndsett for sine ansatte, og opplæring.

Prosjektet kom i havn under revidert styringsramme, uten å gjennomføre noen av de kutt som var presentert som mulige i KS2-rapporten. Dette er klart tilfredsstillende for et komplekst prosjekt som dette, selv om vi ikke har noe sammenlikningsgrunnlag for absolutte kostnadsnivå.

#### **4.6 Konklusjon**

Framdriften i prosjektet ble forrykket etter omtrent et år fordi Stortinget ikke klarte å finne tilstrekkelig finansiering, og la inn en finansieringspause mellom fase 1 og fase 2. Jernbaneverket valgte å opprettholde prosjektorganisasjonen for egen risiko. Dette medførte en ekstrakostnad, som det senere ble tatt høyde for i budsjettrevisjon. Å sette prosjektet på vent hadde trolig kostet enda mer. Ytterligere forsinkelser på slutføring av prosjektet ble til en viss grad forårsaket av forsinkede systemleveranser. Dette betydde lite for utrulling langs jernbanenettet og ibruktaking av GSM-R som togtelefon for samtaler, det var full funksjonalitet som ikke ble iverksatt etter opprinnelig plan. Slutt-kostnad lå to prosent over opprinnelig kostnadsramme (p85) og tre prosent under sist reviderte styringsramme (p50) (alle beløp i løpende kroner). Sistnevnte hadde også tatt høyde for noen mindre forlengelser av de strekninger som skulle dekkes av systemet.

## 5 EFFEKTER AV INVESTERINGEN

### 5.1 Måloppnåelseskriteriet og hvordan det kan vurderes

Måloppnåelseskriteriet handler om i hvilken grad de tilsiktede effekter av prosjektet er oppnådd, og i hvilken grad de kan tilskrives prosjektet og/eller andre forhold. Egenskaper (kvaliteter) ved det ferdig leverte resultatet kan noen ganger legge godt til rette for at effekter skal oppnås, men effektene kan allikevel utebli fordi det brukes på andre måter enn tiltenkt. Omvendt kan det også være slik at det er helt andre forhold enn investeringen som utløser de tiltenkte effekter.

I dette prosjektet var målformuleringene og målstrukturen slik at det var en tett sammenheng mellom samfunns mål og effektmål på alle tre områder: sikkerhet, utnyttelse av jernbanenettet, og driftssikkerhet. Vi deler derfor diskusjonen i tre delkapitler, ett for hvert av disse områdene, og strekker effektmåldiskusjonen opp til samfunnsmålnivå innenfor hvert av dem.

### 5.2 Sikkerhet

#### 5.2.1 Tilnærming

Forbedret sikkerhet hadde høyeste prioritet på alle nivå i målhierarkiet for prosjektet, se kapittel 3 og Figur 5. På samfunnsnivå var målet formulert som å øke sikkerheten på norsk jernbane ved å redusere

- antall driftsulykker
  - antall nestenulykker
  - omfanget av ulykker hvis de skulle oppstå,
- og vi har vist at disse tre er å betrakte som effektmål.

Det gir mening å omtale disse som tre ulike dimensjoner. Ulykkesomfanget (skadeomfanget på mennesker og materiell) per ulykke er for det meste noenlunde normalfordelt, men med et lite antall statistiske utliggere som har stor betydning for den samlede skadestatistikken. Det er derfor spesielt fokus i jernbanesystemet på å unngå de største enkeltulykkene. Materiellskader registreres, men den publiserte statistikken gjelder antall drepte og alvorlig skadde. Nestenulykker vurderes etter deres potensielle (mest sannsynlige) skadeomfang dersom de hadde materialisert seg. Nestenulykker er altså små hendelser, men med potensielt skadeomfang i samme variasjonsbredde som faktiske ulykker. Læring fra eksplisitt fokus på nestenulykker er derfor sterkt fokusert i sikkerhetsarbeid i jernbanen som i andre sektorer. Det er imidlertid ikke nødvendigvis de samme årsakene som ligger bak store og små ulykker. Sikkerhetsforskere påpeker derfor at en sterk oppmerksomhet om alle de små hendelsene ikke nødvendigvis er tilstrekkelig for å redusere sannsynligheten for de store (Hollnagel 2014).

Tilsiktet effekt på disse tre dimensjonene var ikke tallfestet. En kan finne data for alle disse tre fra både før og etter GSM-R. Det finnes også metoder for å normalisere etter blant annet trafikkvolum, dersom målsettingene ikke skal tolkes dithen at alle endringer i ulykkestallene skal tilskrives GSM-R-prosjektet. For eksempel har antall personkilometer økt fra ca. 2,5 til ca. 3,5 milliarder, eller 40 prosent, fra 1995 til 2015, noe som naturligvis har betydning for sammenlikning av passasjerskadetall over tid. Antall togkilometer kjørt per år vil også ha betydning for antall driftsulykker og nestenulykker på jernbanestrekningene, men ikke for skiftarbeid på stasjonsområdene. Som antydning kan det dermed være behov for disaggregerte data på mange områder for å få direkte sammenlikn-

bare ulykkesdata som korrigerer for trafikkvolum. Det kan la seg gjøre, men det vil kreve ressurser som ikke er tilgjengelig i dette prosjektet. Å tilskrive eventuelle endringer til innføring av ny togradio, basert på statistiske analyser, er imidlertid tilnærmet umulig av to grunner. Den ene er at ulykkestallene er små og, som nevnt, veldig ujevnt fordelt over skadeomfang og tid, ettersom det er langt mellom de store ulykkene. Den andre er at togradioen spiller sammen med andre tekniske systemer, ikke minst med automatisk togkontroll (ATC), jamfør diskusjonen i kapittel 2.2.1.

På effektmålnivå var det imidlertid framhevet fem hovedmekanismer for hvordan togradio skulle bidra til å forbedre sikkerheten:

- høy tilgjengelighet (i kommunikasjon) mellom togleder og tog
- full kommunikasjonsdekning på GSM-R-strekningene
- økt sikkerhet for alle grupper om bord i tog
- nok kapasitet og funksjonalitet i nettet til ikke å begrense beredskap og redningsarbeid
- brukerne trenger kun å forholde seg til ett system

Vi har vist at dette er egenskaper eller kvaliteter ved den ferdige installasjonen og derfor er for resultatmål å regne, midler til å kunne oppnå effektmålene når systemet tas i bruk. I tillegg har vi påpekt at den tredje er plassert feil i målhierarkiet, den skulle vært en egen komponent i samfunnsmålet, hvis den i det hele tatt gir noen mening å differensiere etter. Det måtte da være dersom nytten ville variere mellom grupper om bord i toget, hvilket er lite trolig.<sup>25</sup> Derimot avgrensers denne formuleringen målgruppen for tiltaket, som dermed altså ikke har noen sikkerhetsmålformuleringer for verken personell, passasjerer eller tredjepersoner som ikke er om bord i tog, men som befinner seg langs linjen eller på stasjonsområder. Det kan imidlertid argumenteres for at tredjepersoner uansett omfattes av samfunnsmålformuleringen, særlig knyttet til den tredje dimensjonen (skadeomfanget). Vi utelater dette aspektet i det videre arbeidet.

Vi omtaler de fire øvrige hovedmekanismene i kortform slik:

- **tilgjengelighet** (som er en kombinasjon av at utstyret er tilgjengelig og fungerer, og – ikke minst – responstiden ved anrop)
- **dekning** (altså om togradioen har kontakt med mobilnettverket der toget er)
- **kapasitet** (til mange samtidige, prioriterte samtaler)
- **brukskvalitet** (som er en kombinasjon av funksjonalitet og antall radiosystemer brukerne må forholde seg til).

Disse fire hovedmekanismene som skal skape effektene når systemet tas i bruk, kan i prinsippet måles, og en form for resultatmåloppnåelse kan dermed i prinsippet etterprøves, selv om målformuleringene er kvalitative. I tillegg, og ikke minst, kan det undersøkes hvorvidt de som mekanismer faktisk bidrar til effektmålene om økt sikkerhet, altså om de fungerer som gode effektmål på veien mot samfunnsmålet.

### 5.2.2 Hvordan GSM-R kan bidra

Jernbaneverket gjennomførte i 2001 en del analyser av hvilke effekter de store, planlagte tiltakene for bedring av sikkerheten ville ha. Disse tiltakene omfattet blant annet signalanlegg, planovergang-

---

<sup>25</sup> En kan naturligvis påpeke at ved sammenstøt tog-tog er personell i førerkabinen mer utsatt enn passasjerer bak i toget, men der vil de være enten toget har togradio eller ei.

er, rassikring og radiokommunikasjon til tog (GSM-R). Analysene ble gjort strekningsvis og sortert etter de åtte typer uønskede hendelser som sikkerhetsarbeidet i jernbanesektoren da var orientert mot. Disse kalles topphendelser i tråd med terminologien for feiltreanalyse. Utfallet av effektanalysen for GSM-R-systemets vedkommende er vist i Tabell 4. Før- og etter-situasjon viser til hvilken sikkerhetsrelevant funksjon GSM-R vil ha henholdsvis før og etter vedkommende hendelse. Den siste kolonnen i tabellen viser et estimat på de enkelte topphendelsenes bidrag til tap av menneskeliv totalt sett i norsk jernbanevirksomhet, basert på historiske data. Disse tallene kan da brukes for å vekte den kvalitative betydningen av så vel GSM-R som de øvrige planlagte sikkerhetstiltakene.

**Tabell 4: Betydning av GSM-R for risikobildet**

Tophendelse	Før-situasjon	Etter-situasjon	Andel av kalkulert risiko*
Avsporing	Svært liten betydning. Varsling av ras eller annet som kan forårsake avsporing.	Stor betydning for varsling av andre tog på linjen og redningsmannskaper.	11 %
Sammenstøt tog – tog	Delvis stor betydning på stasjoner ifm. kryssing m/deteksjonssystem (akustisk alarm). Stor betydning ved tog i ukontrollert drift, eneste (1.) barriere.	Stor betydning for varsling av andre tog på linjen og redningsmannskaper.	14 %
Sammenstøt tog – objekt	Liten betydning. Tog kan bli varslet og unngår sammenstøt.	Stor betydning for varsling av andre tog på linjen og redningsmannskap.	8 %
Brann	-	Stor betydning for varsling av andre tog på linjen og redningsmannskap.	3 %
Personer skadet i tog	-	Stor betydning for varsling av redningsmannskap.	0 %
Passasjerer skadet på plattform	Liten betydning.	Stor betydning for varsling av redningsmannskap.	3 %
Personer skadet ved planovergang (PLO)	-	Stor betydning for varsling av andre tog på linjen og redningsmannskap.	39 %
Personer skadet i spor	Svært liten betydning.	Stor betydning for varsling av andre tog på linjen og redningsmannskap.	22 %

\* Andel av samlet kalkulert risiko aggregert over de enkelte strekninger, uttrykt i PLL (Potential Loss of Life).

Kilde: Utdrag fra en samlet vurdering av hvilken effekt sikkerhetstiltakene i Jernbaneverkets handlingsprogram for sikkerhet for perioden 2002-2005 ble forventet å få for potensielle tap av menneskeliv (Jernbaneverket 2001a s. 9-10).

Merk at analysen omfatter alle målgrupper og ikke bare de som er om bord i tog. PLL kan i prinsippet brukes som en operasjonalisering av effektmålet om redusert ulykkesomfang. Analysen har imidlertid ikke beregnet noen effekter på absolutte PLL-tall av GSM-R eller noen av de andre planlagte sikkerhetstiltakene.

Analysen viser at GSM-R vil ha stor eller delvis stor betydning for å unngå sammenstøt tog-tog, og liten, svært liten eller ingen betydning for å unngå de sju øvrige topphendelsene. Systemet vil ha stor betydning for varsling etter samtlige åtte topphendelser. Varsling av andre tog på linjen i forbindelse med seks av disse har selvsagt i neste omgang betydning for å unngå ytterligere sammenstøt. Sammenstøt tog-tog, som i Åsta-ulykken, er med sin PLL-andel på 14 prosent blant de største bidragsytere til tap av liv, men ikke den største; men fordi det er noen få, men store ulykker i denne kategorien, preger denne hendelsestypen den offentlige debatten og dermed også jernbanesektorens

omdømme ganske sterkt når den inntreffer og i lang tid etterpå. Det er derfor betydelig fokus på å unngå denne typen store møteulykker. Det er også her analysen viser at GSM-R har størst avvergende effekt.

Togradiosystemets bidrag til å redusere tap av menneskeliv etter inntrufne hendelser vil være en raskere behandling av livstruende skadde i alle typer hendelser, og selvsagt til allmenn koordinering av redningsarbeid og annen togtrafikk, med virkninger langt ut over livredning.

Merk også at i Jernbaneverkets kvalitative vurdering av hvordan GSM-R kan bidra til sikkerhetsmålene, er det forutsatt at de fire egenskapene ved det installerte systemet (tilgjengelighet, dekningsgrad, kapasitet og brukskvalitet) faktisk er på plass. I et ulykkesscenario er det ofte svært korte tidsvinduer på minutter eller sekunder for at kommunikasjonen skal kunne ha avvergende, og dermed livreddende, virkning. Derfor er det særlig viktig at tilgjengelighet og brukskvalitet er helt på topp, og at kapasiteten er høy nok for toppbelastning, på de steder der det er dekning, for at systemet skal kunne bidra positivt til sikkerheten.

Det ble ikke gjort en tilsvarende analyse for et alternativt togradiosystem. Sammenlikningsgrunnlaget var underforstått en situasjon uten togradio. En må forvente at analysen ville være den samme for systemer med samme funksjonalitet, herunder det eksisterende Scanet-systemet, hvis det hadde hatt tilsvarende tilgjengelighet, dekningsgrad, kapasitet og brukskvalitet. Dette bekreftes av Elvenes (2013 s. 16), som i intervjuer utført i Jernbaneverket i 2013 fant at man der ikke forventet at GSM-R skulle forbedre absolutte tall for PLL, sammenliknet med tidligere togradiosystemer. GSM-R ble imidlertid i samme undersøkelse sagt å ha

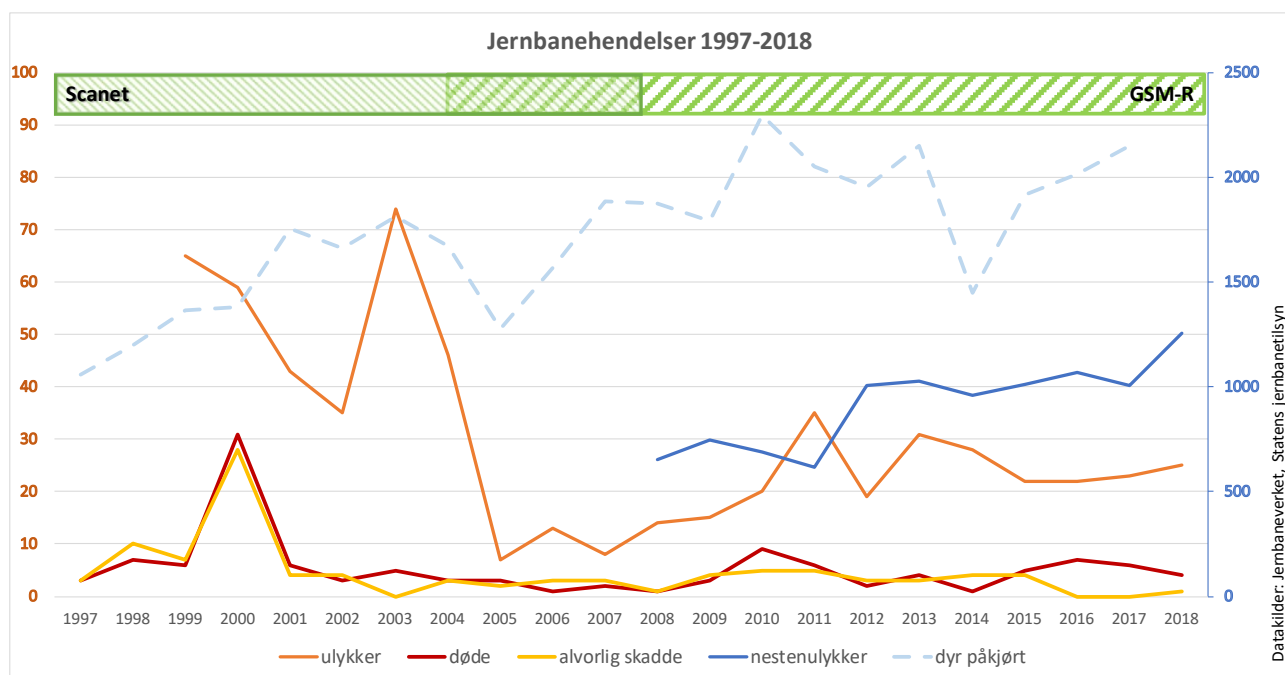
- bedre funksjonalitet
- bedre dekning langs hele strekningen der det ble utbygd
- dekning over en større del av jernbanenettet totalt (inklusive tunneller), og
- bedre pålitelighet, som i vår terminologi kan uttrykkes som bedre tilgjengelighet

sammenliknet med de tidligere, analoge systemene. Det er formodentlig dette som ligger bak Jernbaneverkets egen konklusjon fra 2001 om at analysen som Tabell 4 er hentet fra, "viser at den sikkerhetsmessige effekten av GSM-R investeringen er fullt på høyde med, eller større enn mange planlagte investeringer i sikkerhet", selv om den altså ikke lot seg beregne (Jernbaneverket 2001a s. 3).

### 5.2.3 Ulykkes- og hendelsesbildet

Vi har enkel tilgang til årlig statistikk for antall driftsulykker, antall alvorlige hendelser (nestenulykker med skadepotensial) og antall drepte og hardt skadde personer i tilknytning til disse. Figur 7 viser tidsseriedata for disse for perioden 1997-2018, med utbyggingsperioden for GSM-R-nettet inntegnet (med dobbel grønn skravur) som skille mellom data før og etter.<sup>26</sup> Blå kurver leses mot blå skala (til høyre) og røde/oransje kurver mot rød skala (til venstre). Tynne kurver er hendelser, tykke kurver viser skadeomfanget. Stiplet kurve er for dyr drept ved påkjørsel. Statistikk for nestenulykker er ikke tilgjengelig før 2008 – en systematisk registrering av nestenulykker og mindre hendelser ble påbegynt etter 2006.

<sup>26</sup> En ulykke involverer alvorlig personskade eller død, eller større materiell skade. En nestenulykke er en hendelse som kunne ha blitt en ulykke under litt andre omstendigheter, vurdert etter sannsynlig utfall hvis den hadde inntruffet. Dødsfall som etter politiets konklusjon er tilsiktet, regnes ikke som forårsaket av en (drifts)ulykke og er derfor ikke inkludert i statistikken. Merk også at mens GSM-R ble koblet inn suksessivt for togradioløse strekninger, ble overgangen til GSM-R for Scanet-strekningene gjennomført samlet ved slutten av utbyggingsperioden.



**Figur 7: Jernbanehendelser 1997-2018**

Antall ulykker (tynn oransje kurve) synker kraftig rundt 2004, men dette henger sammen med at for at en hendelse uten personskade skal telle som en ulykke, må de materielle skadene ha et visst omfang, og denne grensen økte fra 10 kEUR til 150 kEUR i 2005. Det ble også innført forbedrede rutiner for innrapportering av driftsulykker fra 2003. Tap av menneskeliv i ulykker skjer så å si årlig på jernbanen, men fordelingen over tid og over personkategorier er ujevnt fordelt. I perioden 2009-2018 omkom det i alt 1 passasjer, 0 ansatte og 38 tredjepersoner (Statens jernbanetilsyn 2019). I 2000 bidro Åsta-ulykken alene med 16 passasjerer og 3 ansatte til denne statistikken. Tallene er så små og spredningen så stor at det må gå enda mange år før det kan fastslås med statistiske metoder hvordan PLL-verdiene har endret seg og hvilke bidrag GSM-R-prosjektet eventuelt har gitt til det.

Det er uråd å se noe mønster i disse dataene som henger sammen med tilgjengelighet, deknning, kapasitet og brukskvalitet på GSM-R og/eller forgjengeren Scanet. Antallet ulykker er også så lavt at det ikke anses hensiktsmessig å splitte opp dataene for en nærmere statistisk analyse etter om de skjedde på strekninger med eller uten Scanet, GSM-R eller begge togradsystemene.

#### 5.2.4 Faktiske og avvergede enkeltulykker

Vi har derfor i stedet prøvd en kvalitativ tilnærming til spørsmålet om effekter på sikkerhetssiden. Den går ut på å identifisere driftsulykker eller nesten-ulykker (under de åtte toppkategoriene) og se hvorvidt GSM-R-systemet har bidratt, eller ikke bidratt, til å avverge ulykker og redusere skadeomfanget, på de måter som er lagt til grunn i Jernbaneverkets analyse av 2001. Merk at vi dermed ikke blir avhengige av en sammenlikning med tilstanden før GSM-R. Dette metodiske grepet er også forenlig med det empiriske faktum at det er de største ulykkene som lager mest varians i statistikken, og som dermed gjør det vanskeligst å bruke statistiske metoder.



Som datagrunnlag har vi brukt de 57 jernbaneulykker og alvorlige jernbanehendelser i perioden 2007-2016 som Statens havarikommisjon for transport har undersøkt og skrevet enkeltrapper om. Enkelt påkjørsler i sporet utenfor planoverganger inngår ikke i dette rapportmaterialet.

I langt de fleste tilfellene er togradio ikke relevant i før-situasjonen, og lite til moderat relevant i etter-situasjonen (fordi redningsarbeid ikke er nødvendig eller lite tidskritisk). Dette underbygger Jernbaneløstasjonsanalyse fra 2001 av i hvilke situasjoner GSM-R kunne ha en betydning.

Av de 57 rapportene handler 19 om faktiske sammenstøt, med andre tog eller med gjenstander. Mange av disse sammenstøtene foregikk i lav fart mellom for eksempel et skiftelok og en vogn under skifteoperasjoner på stasjonsområder med høy plassutnyttelse på sporene. Ingen av de 19 var av den typen som Åsta-ulykken var, der to passasjertog møtes i marsjfart. I ingen av disse 19 tilfellene er det rapportert om at GSM-R kunne ha hatt noen avvergende funksjon, men som av en eller grunn ikke var benyttet.

Derimot har vi funnet ett tilfelle i de øvrige rapportene der togleder med hell har ringt togfører for å stanse toget, og dermed avverget et sammenstøt mellom to passasjertog som var på vei inn i samme spor (i samme retning). I dette konkrete tilfellet var det også tekniske barrierer på plass som trolig ville ha redusert muligheten for det bakfra kommende toget til å få klarsignal. Videre har vi funnet to tilfeller der togfører har varslet togleder, som igjen med hell har varslet andre tog, om tilstander som kunne ha medført møteulykker. I det ene tilfellet var det signalfeil, i det andre tilfellet var det en bil som stod fast på en planovergang ved en stasjon. Under intervjuer med driftspersonell har vi også fått henvisning til ytterligere en egenopplevd episode av samme karakter og med samme forløp som den sistnevnte. I alle disse fire tilfellene har GSM-R-systemet bestått sin prøve for hvordan det var tenkt å kunne avverge møteulykker, uten at vi med sikkerhet kan si noe om hvorvidt ulykker faktisk hadde inntruffet dersom systemet ikke var tatt i bruk eller ikke fungerte optimalt. Potensielt skadeomfang i disse fire tilfellene er ikke anslått i rapportene, men antall personer involvert har en spredning fra en i den minste hendelsen til flere titalls i den største.

Dyre påkjørsler er et omfattende og økende problem. Målhierarkiet for prosjektet omfatter ikke dette spesielt. Togradiosambandet kan brukes til å avverge påkjørsel av dyr som går langs sporet eller dyreflokker som krysser det, dersom observatører eller gjetere ringer inn til togleder og varsler. Vi har ikke noen data om hvorvidt dette gjøres, annet enn sporadiske kommentarer at dette ikke er utbredt praksis. Togførere kan også varsle neste tog om dyreflokker.

### 5.2.5 Alnabru/Sydhavna-ulykken i 2010

I perioden 2007-2016 er det registrert en eneste ulykke med mer enn to drepte. Dette var en togstamme med godsvogner som i 2010 under skifting på Alnabru løp løpsk, sporet av og drepte tre personer på sin ferd. To radiosystemer var i bruk. Togekspeditør, togleder og togfører brukte GSM-R, mens togekspeditør og skifteleder brukte den eldre skifteradioen (da GSM-R ikke var bygd ut for bruk under skifting, slik intensjonen var). Begge systemene fungerte, men kommunikasjonen inneholdt misforståelser, noe som neppe hadde vært avverget ved bruk av samme togradiosystem. Andre personer i togets ferdsretning var ikke tilknyttet jernbanen og dermed ikke utstyrt med togradio, slik at varslingsfunksjonene i GSM-R-systemet ikke hadde noen betydning for disse.<sup>27</sup> Havari-

<sup>27</sup> To ansatte arbeidet ved et spor som ble vurdert (og forkastet) som mulig styrt rømningsvei for det løpske toget, men ettersom dette sporet aldri var i bruk for tog, bar de to ikke skifteradio, og var ikke kontaktbare.

kommisjonens rapport er utydelig på hvilke kommunikasjonskanaler som ble brukt for å avgjøre hvordan vognene skulle veksles inn på spor med minst mulig potensiell skadevirkning, og for å tilkalle nødetatene, men det er ingen anmerkninger om at det var noen begrensninger eller usikkerhet i situasjonen knyttet til kanalvalg eller funksjonalitet (Statens havarikommisjon for transport 2011).<sup>28</sup> Tilgjengelig tid (og kunnskap) for raske beslutninger med store konsekvenser var langt viktigere, blant annet en rask beslutning om ikke å lede vognene gjennom tunell og dermed etter hvert i motbakke mot Oslo S, slik det forelå en anbefalt rutine for. Begrenset personellkapasitet kan også ha resultert i at nødetater ikke ble umiddelbart alarmert, men havarikommisjonen har ingen anmerkninger om at nødetatene kom for sent fram. Dermed ligger det også under at kommunikasjonssystemenes tilgjengelighet, kapasitet, funksjonalitet og brukskvalitet i seg selv var både nødvendige og tilfredsstillende i minuttene etter at hendelsen var påbegynt. Og, ettersom det ikke var noen togfører eller annet personell på det løpske vogntoget, fungerte systemene også på en måte som bare delvis ble fanget opp av de formulerte effektmålene for GSM-R-prosjektet.

Bidro GSM-R i dette tilfellet til å redusere skadeomfanget? Det er selvsagt vanskelig å si om det hadde blitt flere forulykkede dersom systemet ikke hadde vært på plass. Raske avklaringer mellom de involverte personer over det ene eller det andre radiosambandet kan ha vært avgjørende for å velge spor, men uten sentralisert automatisk trafikkontroll (fjernstyring av sporveksler) hadde det vært umulig å implementere sporvalgene. Uten mulighet til å velge, og implementere, et sporvalg, er det sannsynlig at vognsettet ville ha sporet av og kjørt i høy fart rett gjennom en sterkt trafikkert rundkjøring for biltrafikk (Statens havarikommisjon for transport 2011).

### 5.2.6 GSM-R i etter-situasjoner

Etter-situasjoner handler om reduksjon av skadeomfang etter at en ulykke har inntruffet. Her går vi rett på datamaterialet fra de 57 undersøkte tilfellene.

Når det gjelder funksjon i etter-situasjoner, gir rapportene en del eksempler på at utstyret har fungert som tiltenkt, både funksjonelt og med tanke på tilgjengelighet. Kapasitetsmessig har det egentlig aldri vært satt på prøve. I en rekke av rapportene er kommunikasjon i etter-situasjonen bare omtalt som adekvat, uten referanse til hvilke system som er brukt, eller det er ikke omtalt i det hele tatt, underforstått at det har fungert som forventet (og dermed tilfredsstillende).

I et mindre antall rapporter er det direkte eller indirekte pekt på mangler ved slik systemet har fungert. Ingen av de rapporterte hendelsene har funnet sted på steder uten dekning, men det har vært eksempler på at

- (bærbare) apparater ikke har vært tilgjengelig
- et av de fastmonterte apparatene (i toget) ble ødelagt i et havari
- det ikke har vært oppnådd kontakt mellom togfører og annet togpersonale etter et uhell.

Alle disse merknadene peker på andre forhold enn de fire (dekning, tilgjengelighet, kapasitet og brukskvalitet) som var nedfelt som effektmål i prosjektets styringsdokument.

Dessuten har vi funnet to observasjoner om

---

<sup>28</sup> For ordens skyld: Havarikommisjonen konkluderte med at misforståelse i kommunikasjonen var den utløsende faktor, og at kulturelle og materielle forhold til sammen gjorde at denne misforståelsen resulterte i en ulykke. I vår gjennomgang her har vi også utelatt andre forhold som i liten grad berører vårt fokus på effekten av GSM-R.

- dårlig koordinering mot nødetater,

noe som naturligvis er vesentlig ved etter-situasjoner. I det ene tilfellet tok det en halv time for brannvesenet å få essensiell informasjon fra togleder om hvorvidt kjøreledningen var strømførende eller ikke. I det andre tilfellet fant ikke nødetatene ut hvor det nødstedte toget befant seg.

Hvor mye av dette som kan tilskrives utydelig kommunikasjon, og hvor mye som kan tilskrives systemsvikt, har ikke rapportene gått inn på. Det går imidlertid igjen i mange tilfeller at "misforståelser i kommunikasjonen mellom involverte aktører har ved flere hendelser vist seg å være en vesentlig faktor i årsaksbildet til hendelser" (Statens havarikommisjon for transport 2013 s. 4), og dette inntrykket er ikke svekket etter gjennomlesing av de nyere rapportene, både når det gjelder utløsende årsaker og når det gjelder oppfølgingssvikt i etter-situasjoner.

### 5.2.7 Dekning og tilgjengelighet

Vi har vist at systemet fungerer etter hensikten med tanke på å unngå sammenstøt med tog og ved varsling og koordinering etter inntrufne hendelser. Brukskvaliteten er tilstrekkelig, så langt vi har sett til nå. Dette understøttes av våre intervjuer, selv om det kan ha vært problemer i en overgangsfase, muligens knyttet til opplæring og endring av lokal etablert praksis. Når det gjelder kapasiteten, er den ennå ikke satt på prøve på et ulykkessted.

Forutsetningene er, som vi har sett, at det er lokal dekning og at tilgjengeligheten er høy. I tillegg har vi vist at tydelig kommunikasjon gjennom GSM-R-kanalen er essensielt for både å avverge ulykker og for å redusere skadevirkningene av dem i etterkant.

Vi har to kommentarer knyttet til manglende tilgjengelighet. Den første er at togfører ikke nødvendigvis umiddelbart oppdager at togradioen har falt ut, og vet heller ikke om det er systemet som har falt ut eller om det bare er et lokalt bortfall. Sannsynligheten for dette er liten, da det er designet inn varsling med lyd og signal på togførers panel. Den andre er at dersom togradiosystemet har falt ut akkurat idet det er behov for et nødansrop, vil anropet ikke komme fram. Dermed står en i en situasjon som likner forholdene ved Åsta-ulykken; men også her skal toget da sette ned farten.

Når det gjelder tilgjengelighet på strekning der det i utgangspunktet er dekning, har vi noen observasjoner. Vi har sett på hvordan GSM-R er nevnt i hendelsesdatabasen, ikke som medvirkende til å avverge eller melde om uhell, men som et problem i seg selv. Det finnes en del rapporter på at utstyr ikke virker, og likeledes som nevnt på at rutiner ikke er godt nok innarbeidet. Dette er også et tema for en egen rapport, som igjen understreket behovet for å bygge inn robusthet mot uventede hendelser, ikke bare i teknologien, men også i organisasjonen (Johnsen og Veen 2013).

To omfattende utfall av hele eller store deler av GSM-R-nettverket er registrert, i henholdsvis 2010 og 2013. Vi omtaler disse to begivenhetene i kapittel 5.3.3. Ettersom tog ved slike hendelser skal sette ned farten og stanse ved neste naturlige stoppested, er sikkerhetsproblematikken ved slike totalutfall mindre enn effektivitetsproblematikken. Denne prosedyren gjelder for så vidt uavhengig av om utfallet er lokalt eller dekker større områder.

Jernbaneverket har foretatt en teoretisk beregning av hvilket bidrag en marginal forbedring av oppe-tiden for GSM-R-systemet kan ha på forventet tap av menneskeliv (PLL). En økning fra det gjeldende kravet på 99,975 prosent til 99,999 prosent ville redusere PLL med ett liv per 10.000 år (Jernbaneverket (2011), her etter Elvenes (2013)). Sammenhengene er imidlertid langt fra lineære,

og denne sammenlikningen er ikke gjort mot verken et nullalternativ i GSM-R-prosjektet eller mot noe realistisk null-pluss-alternativ.

Det finnes også lommer langs jernbanen der mottaksforholdene er svakere enn andre. En del av dette henger sammen med at for å holde behovet for basestasjoner og radiomaster nede, ble togene utstyrt med sendere med effekt 8 W og med takmontert antenne. Håndholdte apparater er begrenset til 2 W effekt, blant annet for ikke å komme i konflikt med grenseverdier for radiostrålingsverdier. Om den fastmonterte togradioen er ute av drift, for eksempel etter en ulykke, kan toget være uten kontakt med togleder dersom de håndholdte apparatene har for svake signaler.

Det viser seg også at GSM-R-signalene fra noen basestasjoner blir utsatt for interferens fra kommersielle 3G-nett og 4G-nett, til tross for at standardene for både 2G og 3G håndteres av samme internasjonale organisasjon, og at radiofrekvenser for bruk i de ulike mobiltelefoninettene tildeles av samme myndighet i det enkelte land. På en måte kan man si at GSM-R her møter sin første utfordring fra enda nyere teknologi. Dette problemet er påpekt som et potensielt stort problem for GSM-R i Sverige, der ulike interessenter har utredet en sameksistensstrategi (Trafikverket m. fl. 2013).

Vi har også sett at det er en del andre forhold som er av betydning for at GSM-R-systemet skal ha sin tilsiktede sikkerhetsforbedrende funksjon. Vi nevner to av dem her, men utelukker naturligvis ikke andre.

Det ene forholdet er tilgangen på håndholdte apparater. Våre intervjuer og observasjoner viser at driftspersonell normalt har dem på seg til enhver tid når de er i tjeneste. Som vi skal se i et senere kapittel, kan dette like gjerne tilskrives den rollen de har i den daglige drift som den ulykkesrelevante funksjonen apparatene har. Noen av ulykkesrapportene viser imidlertid at apparater ikke var til stede. Ut fra rapportene ser dette ut til å være situasjoner der apparatene ikke var ansett som nødvendige eller tilstrekkelige for det pågående arbeidet, enten det gjaldt fast opphold i lokomotiv eller førerkabin (med fast GSM-R-radio installert), prøvekjøring, skiftarbeid (der skifteradio var i bruk), arbeid på linjer uten forventet trafikk, eller andre forhold. Om man vil, kan man karakterisere dette som redusert tilgjengelighet, men det ligger da på organisatorisk og ikke på teknisk systemnivå. Våre data er imidlertid av begrenset omfang.

Det andre forholdet er koblingen mot nødnettenes nett. Utrulling av TETRA-nettet skjedde mange år etter GSM-R-nettet, og Stortingets føringer på GSM-R-utbyggingen for koordineringen mellom dem berørte kostnadsaspektet ved utbygging av felles infrastruktur og ikke funksjonalitet i samspillet. Det ligger utenfor denne rapportens avgrensning å gå nærmere inn i dette forholdet, annet enn at vi vil påpeke de potensielle utfordringer som måtte ligge i å ha funksjonalitet som integrerer to lukkede nett med ulike, men overlappende behov.

### 5.2.8 Konklusjon

Vi finner det godt gjort at GSM-R systemet fungerer slik at det kan bidra til å redusere antall nestenulykker og driftsulykker, og å redusere omfanget av ulykker hvis de skulle inntreffe. To forutsetninger er at systemet er tilgjengelig på kontinuerlig basis og at signaldekningen er god over alt. Her kan det skorte i noen tilfeller, uten at vet hvor ofte. Ytterligere forutsetninger er at systemene faktisk blir brukt, og brukt etter forutsetningene, samt at den muntlige kommunikasjonen over togradioen

er entydig. Vi kommer tilbake til bruksmønsteret i kapittel 5.3, men hovedkonklusjonen er at GSM-R mest sannsynlig bidrar til forbedret sikkerhet, uten at vi kan si hvor mye.

### 5.3 Mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet

#### 5.3.1 Tilnærming

Mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet hadde nest høyeste prioritet på alle nivå i målhierarkiet for prosjektet, se kapittel 3. På samfunnsnivå var målet formulert som å bidra til mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet i Norge gjennom

- effektivisert trafikkhåndtering
- høyere punktlighet i trafikkavviklingen
- mindre venting
- færre kanselleringer.

På effektnivå, altså ett trinn lavere i målhierarkiet, var formuleringene

- økt regularitet (muliggjort togframføring når signalsystem var ute av drift)
- bedre togflyt over landegrenser
- nye bruksfunksjoner i forhold til eksisterende radiosystemer
- direkte kommunikasjon gjennom ett system for flere brukergrupper
- mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet og dermed av togene for trafikkoperatører

I analysen vår i kapittel 3 fant vi, se Figur 5, at det var hensiktsmessig å omgruppere disse for å få en bedre forståelse av hva som skulle bidra til hva. Vi klassifiserte da punktlighet, kanselleringer, regularitet og togflyt over landegrenser som de tilsiktede effektene som til sammen utgjorde en mer effektiv utnyttelse av togene for trafikkoperatørene, og som dermed samlet sett bidro til samfunns-målet om mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet. Nøkkelen for å oppnå de tre første av disse var redusert venting for togene, som igjen ville være virkningen av effektivisert trafikkhåndtering og muliggjort togframføring når signalsystem var ute av drift.

Disse punktene er altså ikke uavhengig av hverandre. Effektiv trafikkhåndtering refererer ikke bare til toglederens arbeid, men spesielt til de rutiner og praksiser for togframføring som GSM-R-systemet kunne legge til rette for. Dette ville være en forutsetning for mindre venting, som igjen ville bidra til høyere punktlighet og færre kanselleringer på grunn av forsinkelser i trafikken. Nøkkelen her er å bruke togradioen til å komme raskere ut av en konkret avvikssituasjon, noe som er en normal foreteelse i togdriften fordi kapasitetsutnyttelsen på enkeltstrekningene er så høy at det skal lite til før forsinkelser på ett tog forplanter seg til mange.

Tilsiktet effekt på disse punktene var ikke tallfestet. Punktlighet, regularitet og kanselleringer finnes det datasett for, fra både før og etter prosjektet. Den variabelen som er mest kritisk i dette, er punktligheten, særlig i trafikkette områder, av to grunner. For det første kan selv små avvik fra oppsatt plan gi betydelige følgeforsinkelser for andre tog når det er liten ledig kapasitet på skinnegangen (Olsson m. fl. 2015). For det andre var det forventning om at en effektivisert trafikkhåndtering skulle være viktig for punktligheten. Sammenhengene er imidlertid ikke lineære, og det er mange forhold som påvirker punktligheten. Derfor er det vanskelig å tilskrive observerte endringer i punktlighet til innføring av GSM-R (eller til andre konkrete endringer).

Mens økt regularitet kan forventes å være en effekt i forhold til å ikke ha noen togradio, og dermed manifestere seg sterkest på de tre togradiofrie strekningene som var uten togradio ved oppstarten av prosjektet, er de øvrige også tiltenkte gevinster sammenliknet med Scanet-løsningen.

### 5.3.2 Hvordan GSM-R kan bidra

GSM-Rs tiltenkte bidrag til sikkerheten på jernbanen var først og fremst gjennom forbedrede kommunikasjonsmuligheter etter inntrufne hendelser. Kritisk viktig var det også å bidra til å avverge møteulykker der togframføringen hadde brutt gjennom tekniske eller regulatoriske barrierer (Jernbaneanverket 2001a).

Vi har ikke sett noen tilsvarende forhåndsanalyse av effekter for togframføring. Sikkerhetsaspektet var det som var høyest prioritert, selv om begrunnelsen for togradio i offisielle dokumenter lå tyngre på effektivitet både fram til 1999 og fra om lag 2005.

Vi har funnet to måter som GSM-R kan bidra på til en mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet. Den ene er statisk og den andre dynamisk.

En statisk, eller varig, forbedring er knyttet til at GSM-R i noen situasjoner kan gi en mer presis posisjonsangivelse for tog og dermed legge grunnlaget for kortere intervaller mellom tog i samme retning på samme strekning. Det er svært sjelden at omstendighetene gjør at dette kan få noen praktiske konsekvenser. Imidlertid vil den framtidige innføringen av ECTS med kortere avstand mellom baliser i sporet gi betydelig mer presise posisjonsdata for tog, og her er GSM-R planlagt å være kanalen for å sende disse dataene til trafikksentralen. Dette kan altså realiseres med innføringen av ERTMS.

Den dynamiske muligheten er mye mer aktuell, og den kan i prinsippet også innebære en gjennomsnittlig forbedring. I jernbanedriften er forståelsen av togradioen knyttet til kombinasjonen av sikker og effektiv togframføring. Så lenge togene går som planlagt, er det ikke noe stort behov for samtalekommunikasjon mellom togleder og togfører. Men selv de minste avvik fra plan kan ha konsekvenser også for andre tog, og særlig i områder med høy togtetthet. Det er i disse situasjonene at samtalefunksjonen er tenkt brukt, både for å ivareta sikkerheten og for å finne fleksible og effektive løsninger på togframføring når den opprinnelige planen ikke holder.

De sikkerhetsmotiverte kravene som lå i forskriften av 1994, der togradio skulle brukes til å avklare situasjoner, kunne altså isolert sett bidra til forsinkelser, men når situasjoner først var oppstått, kunne togradio bidra til å redusere omfanget av den enkelte forsinkelse, og dermed også redusere følgeforsinkelsene betraktelig i områder med høy togtetthet, alt under bibehold av et høyt sikkerhetsnivå.

### 5.3.3 Kapasitetsutnyttelsesbildet

Det er ved allerede høy kapasitetsutnyttelse at togradio kan øke utnyttelsen ytterligere. I Figur 8 viser vi utnyttelse av strekningskapasitet i timen med høyest belastning i 2015.



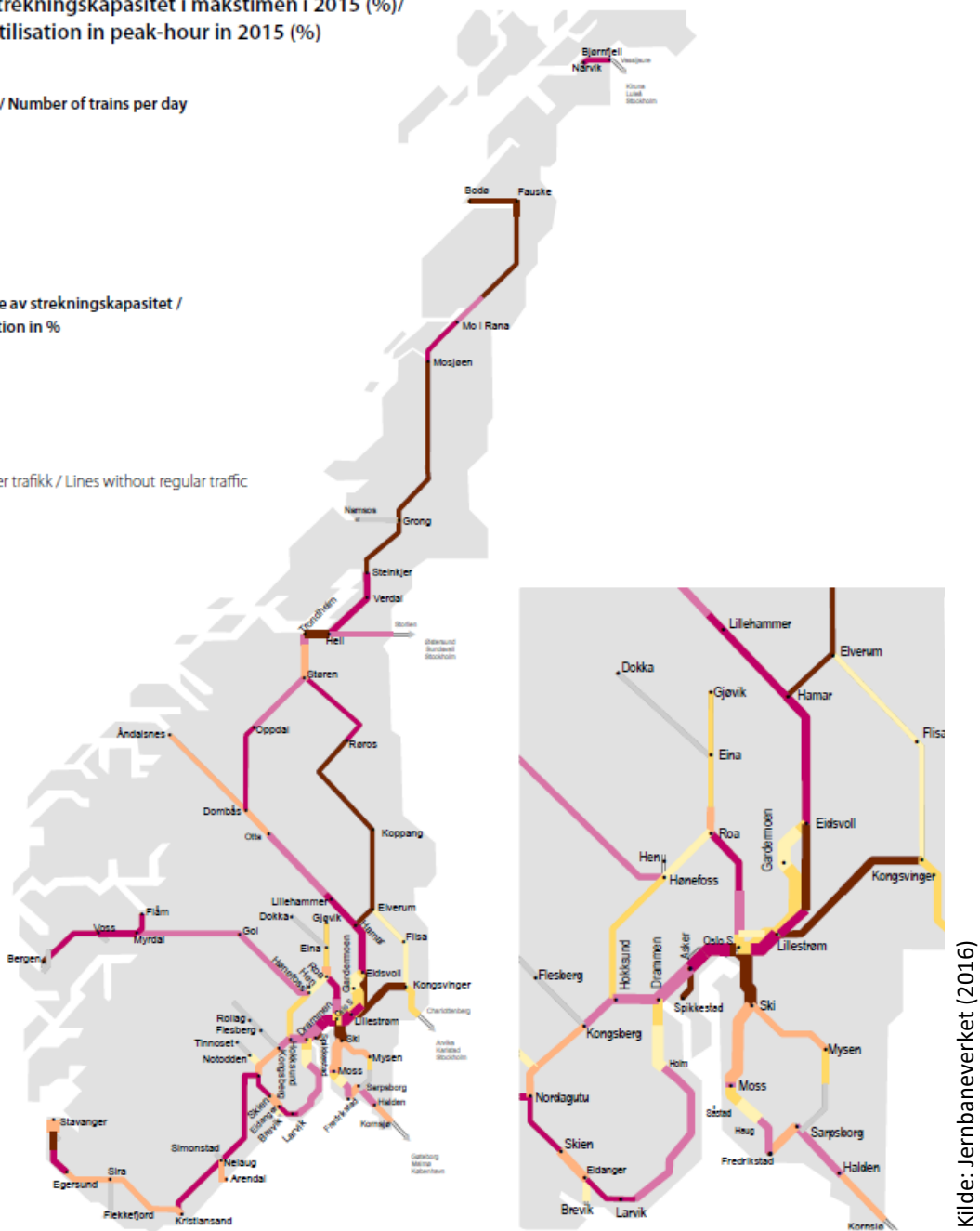
**Utnyttelse av strekningskapasitet i makstimen i 2015 (%) /  
Line capacity utilisation in peak-hour in 2015 (%)**

**Antall tog per døgn / Number of trains per day**

- > 300
- 201-300
- 101-200
- 81-100
- 61-80
- 41-60
- ≤ 40

**Prosentvis utnyttelse av strekningskapasitet /  
Line capacity utilisation in %**

- > 100
- 86-100
- 71-85
- 56-70
- 41-55
- 1-40
- Baner uten regulær trafikk / Lines without regular traffic

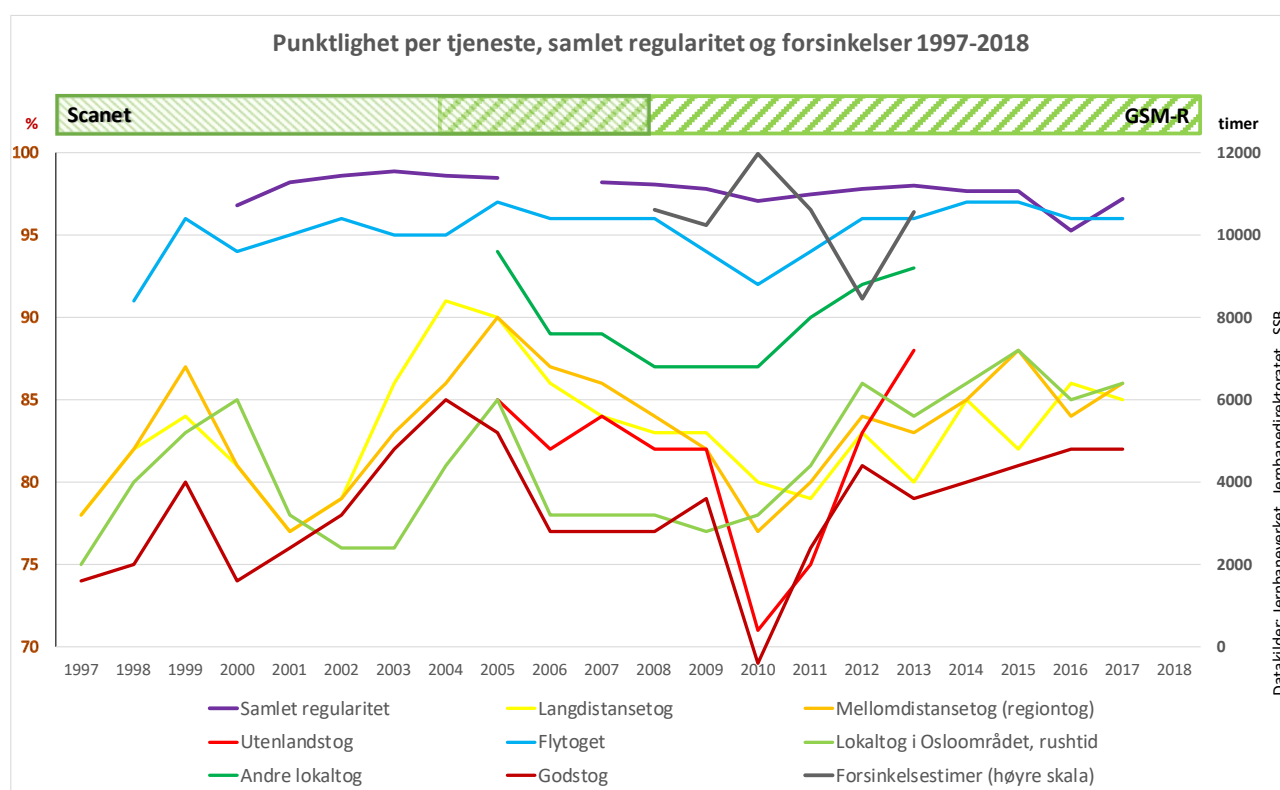


**Figur 8: Maksimal kapasitetsutnyttelse per jernbanestrekning (2015)**

Utnyttelsesgraden er gjennomgående høy. Det er imidlertid ingen endring fra et tilsvarende kart fra 2005, som er det eldste vi har tilgang til. Enkeltstrekninger kan naturligvis ha mindre endringer som ikke flytter dem over til neste intervall (farge), men hovedbildet er at kapasitetsutnyttelsen er uendret. Vi må ta forbehold om at de eldste utnyttelseskartene ikke har den samme detaljoppløsning for Oslo-området.

Kapasitetsutnyttelse av infrastrukturen målt på denne måten sier bare noe om antall tog (per tidsenhet), sammenliknet med det maksimale antall tog framført på samme strekning<sup>29</sup>. Der utnyttelsen av eksisterende kapasitet er lav, kan det skyldes at det ikke er behov for flere tog. Dette målet sier bare indirekte noe om togenes kapasitet<sup>30</sup>, og det sier ingenting om kapasitetsutnyttelsen av togene, altså belegget. Det er altså ikke noen fullgod operasjonalisering av samfunnseffekt målet for GSM-R-prosjektet.

Regularitet, punktlighet og forsinkelser er dimensjoner med større variasjon.<sup>31</sup> De påvirkes mye av de daglige driftsforholdene. I Figur 9 viser vi samlet årlig regularitet, punktlighet og samlet forsinkelse for perioden 1997-2017. I figuren er utbyggingsperioden for GSM-R-nettet inntegnet (med dobbel grønn skravur) som skille mellom data før og etter. Alle kurver leses av mot venstre y-skala (prosent), med unntak av de samlede forsinkelser, som leses av på høyre y-skala (timer). De tynne linjene viser punktlighet for ulike transportkonsepter. Ikke alle datasett er komplette.



**Figur 9: Punktligheit, regularitet og forsinkelser i jernbanen, 1997-2017**

Den tykke lilla kurven viser at regulariteten økte (andelen kansellerte avganger gikk ned) fram til 2003 og har deretter avtatt langsomt. Det ekstra lave tallet for 2016 kan henføres til en månedslang streik i jernbanen.

<sup>29</sup> Kapasitet er gitt av en konvensjonsbestemt verdi. En utnyttelsesgrad på over 100 prosent kan oppnås ved å kjøre flere tog, men med lavere hastighet.

<sup>30</sup> Lange tog kan ikke krysse på alle stasjoner.

<sup>31</sup> Regularitet er andel planlagte tog som ikke blir kansellert. Punktligheit er i statistikken definert ut fra en maksimalt tillatt forsinkelse ved ankomst endestasjon for ikke-kansellerte tog (fire minutter for persontog i lokaltrafikk, seks minutter for regiontog og godstog). Forsinkelser er det detaljerte datagrunnlaget for punktligheitsstatistikken.

Kansellerte avganger kan skyldes mange forhold, ikke minst skade på jernbanelegemet etter ras, avsporing eller solslyng. Forsinkelser på enkelttog i tett trafikkerte deler av jernbanenettverket kan for eksempel medføre at påfølgende avgang(er) må kanselleres for at togene ikke skal følge hverandre for tett på skinnene. Og når en togavgang er kansellert, kan toget heller ikke brukes til returen. Punktlighet er derfor av interesse både i seg selv og som en delforklaring på regularitet.

Punktligheten sier ikke noe om hvor store forsinkelsene er. Mange forsinkelser, særlig i Oslo-området, tilskrives signalfeil, og de kan til dels vare lenge.

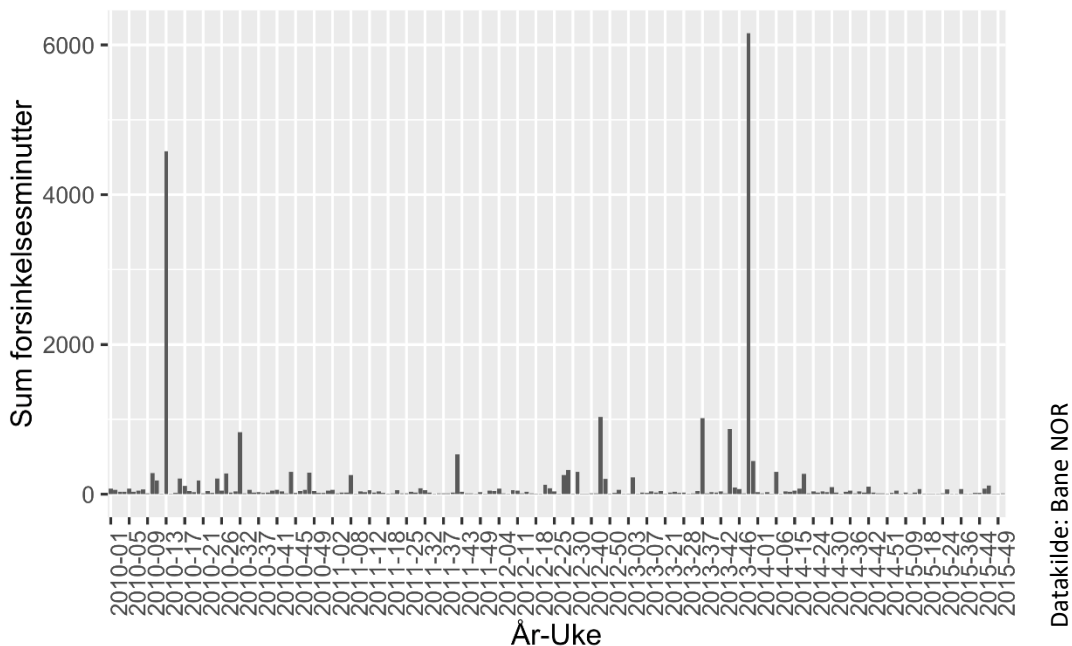
De tynne kurvene med forskjellig farge viser at punktligheten varierer til dels betraktelig fra år, og også en del mellom de ulike transportkonseptene. Det siste avspeiler den faktiske prioritering i henhold til nedfelte regler og praksis (Lium og Werner 2013). Ser vi på alle transportkonseptene under ett, steg punktligheten fram til midt i utbyggingsperioden for GSM-R, deretter sank den til et bunnivå i 2010, og har siden gått opp igjen til omtrent det samme gjennomsnittlige nivået som i perioden før nedgangen, men med et mindre variasjonsspenn.

Tidsserien for samlet antall forsinkelsestimer i figuren er kort, se den tykke, svarte kurven. Når det er mange forsinkelser, går punktligheten ned, som i 2010. Samvariasjonen er imidlertid ikke entydig; lange enkeltforsinkelser bidrar like mye til redusert punktlighet som korte.

Med de tilgjengelige data er det vanskelig å si noe om sammenhengen mellom GSM-R og kapasitetsutnyttelse, punktlighet og forsinkelser. Den viktigste mekanismen, samtalekommunikasjon mellom togleder og togfører for å håndtere avvik fra planlagt togframføring, er hyppig i bruk. Intervjuer med driftspersonale oppgir at disse samtalene er viktige for effektivt å kunne redusere ventetid underveis for tog som får uplanlagt stans.

GSM-R oppgis også i seg selv som kilde til stans og forsinkelser. Dette omfatter primært hendelser der GSM-R-systemet ikke fungerer som tiltenkt. Det kan for eksempel dreie seg om vansker med å få telefonisk kontakt. Dette omfatter dekningsproblemer for håndholdte sett; men det er også påvist tilfeller der bruksfeil eller andre forhold viser seg å ligge til grunn. Særlig kan dette gjelde når apparatene skal brukes til sjelden brukte funksjoner.

I Figur 10 viser vi akkumulerte togforsinkelser per uke i tiden 2010 til 2015, der GSM-R eller GSMR forekommer i tekstfeltet for årsaksangivelse i Jernbaneverkets database for innrapporterte hendelser.



**Figur 10: Forsinkelser i perioden 2010-2015 med forbindelse til GSM-R**

De to store toppene er hendelser der sentrale deler av GSM-R-systemet falt ut. Når dette systemet faller ut, må alle tog i området for utfallet stanse, ettersom bestemmelser for togframføring ikke tillater tog å gå uten togradio. Legg også merke til at de to hendelsene inntraff i 2010 og 2013. Den første sammenfalt med høyt antall forsinkelsestimer og lav punktlighet, men den andre synes ikke å slå vesentlig ut i statistikken.

Den første hendelsen, i mars 2010, ble utløst av en kortslutning og en brann i en strømforsyning for en server som blant annet holdt rede på koblingen mellom tognummer (rutenummer) og de enkelte GSM-R-apparater. Reservestrømforsyningen slo ikke inn, og det tok tre timer å få tjenesten på lufta igjen. Selve samtalefunksjonen mellom togradioene ble ikke berørt, men serveren var essensiell for sikkerhetsfunksjonene i jernbanenettet, så hele landet ble berørt (Jørgenrud 2010).

Etter denne hendelsen ble det bygd ut en kopi av de sentrale datamaskinressursene som ble lokalisert et annet sted. Disse speiles hele tiden og skaper den redundansen i sentrale ressurser som ikke var til stede under det førstnevnte tilfellet. Overraskelsen var derfor stor i september 2013, da GSM-R-nettet falt ut over store deler av Sør-Norge (Kirknes og Oreld 2013; Sveinbjørnsson og Jørgenrud 2013). Etter det vi kan lese, var det et eksempel på to ulike svikter samtidig og i sekvens, en på hver av de to lokalitetene.

Rutiner sikrer som sagt at togene skal stanse ved første stasjon ved slike utfall, slik at sikkerheten ivaretas og feilen tas ut i forsinkelser. Den typen ulykker som fant sted ved Åsta i 2000, vil det ved et slikt systemutfall allikevel være vanskelig å avverge når telefonnettet ikke fungerer. Det er derfor det er så viktig at systemet skal ha tilnærmet 100 prosent tilgjengelighet.

Våre intervjuer avdekket at det var en regulær foreteelse å bruke togradioen til å få tillatelse til å bryte overstyre feilaktige (eller manglende) signaler, i tråd med eksisterende bestemmelser. Informanter beskriver dette som en viktig prosedyre for å redusere forsinkelser. Det å kunne ringe fra

førerposisjon, sammenlignet med å måtte forlate toget og finne en blokktelefon for så å returnere til toget og framføre det, tilsier at dette er mer tidseffektivt per hendelse. Sannsynligvis øker også antallet tillatelser som innhentes, noe som igjen reduserer totale forsinkelser ved forstyrrelser.

Grunnlaget for bedre togflyt over grensen fra Sverige er blitt bedre, ettersom de to GSM-R-systemene som ble bygd ut der samtidig, er gjensidig kompatible. Vi har ikke sett data om hvorvidt denne muligheten er utnyttet til faktisk å bruke flere lokomotiv i samtrafikk enn de som allerede var i bruk.

GSM-R har utvilsomt nye bruksfunksjoner i forhold til eksisterende radiosystemer. Ikke minst settes det pris på gruppeanrop og nødanrop fra tog eller trafikkleder som kommer fram til riktig mottaker uten det tidstapet som ble fatalt ved Åsta-ulykken. Dette bidrar imidlertid primært til sikkerheten. Av nye bruksfunksjoner som bidrar til togframføring, kan vi framheve at GSM-R brukes til samtaler mellom togfører og annen betjening på samme tog. Denne funksjonen fantes imidlertid også tidligere, men var da implementert i et separat radiosystem. Dermed er det overlapp mellom denne effekten og den som gjelder felles system for flere brukergrupper. GSM-R brukes også av personell i vedlikeholdstjeneste på spor og i tunneller, av skiftepersonell på stasjonsområder, og i andre tjenester.

Mer effektiv utnyttelse av jernbanenettet faller til dels sammen med økt regularitet. Imidlertid ligger det også en annen komponent inne i denne effektforventningen. Den knytter seg ikke til GSM-R som samtalsystem, men til posisjonsbestemmelse som en GSM-R-funksjon og til framtidig utvidelse til et fullt ERTMS-regime.

Scanet-systemet hadde en innebygd posisjonsbestemmelse som gjorde at trafikksentralen kunne se forholdsvis nøyaktig hvor på linjen det enkelte tog befant seg. Denne funksjonen lå ikke i GSM-R-spesifikasjonen, men det lå godt til rette for å legge den til i en nasjonal implementering. Dette var nødvendig for at GSM-R skulle yte samme funksjonalitet som Scanet, og det ble gjort. På noen tunnelstrekninger kunne GSM-R sammen med annet utstyr langs sporet ha blitt utnyttet til høyere togtetthet, men så vidt vites er dette ikke gjort. Derimot ligger det i standarder og løsninger for ERTMS at tog skal kunne gå tettere etter hverandre på samme spor, uten at farenivået for sammenstøt heves. Slik sett kunne GSM-R, som en nødvendig del av ERTMS, bane vei for framtidig økt utnyttelse av jernbanenettet uten å høyne farenivået.

#### **5.3.4 Konklusjon**

Samlet sett kan vi si at det viktigste bidraget fra GSM-R til regularitet i togtrafikken har vært å kunne brukes til manuell overstyring av feilaktige signaler eller til bruk i andre situasjoner der automatikken ikke strakk til. Denne funksjonen var også i bruk med Scanet-løsningen, men uten noen form for togradio hadde det vært vanskelig å utøve muligheten til manuell overstyring når det var nødvendig og tilrådelig. De øvrige effektene under punktlighetsoverskriften har vært til stede, men i mindre omfang.

#### **5.4 Driftsøkonomi**

De tre planlagte bidragene fra GSM-R til samfunns målet om forbedret driftsøkonomi var

- færre systemer og mindre opplæring

- reduserte driftskostnader ved deling av delsystemer, infrastruktur og installasjoner med andre (enn Jernbaneverket)
- flere tilleggstjenester for trafikkutøvere.

Det er klart at opplæringstilbudet kunne rasjonaliseres ved å tilby samme kurs til alle, og etterspørselen ville reduseres noe fordi man tidligere hadde noe personell som måtte beherske flere radiosystemer. Det er ikke vist noen beregninger av verken kostnader eller reduserte sådanne ved opplæringssiden.

I sin argumentasjon for å investere i full implementering av GSM-R, hadde Jernbaneverket overfor Samferdselsdepartementet argumentert med en konsulentrapport fra A D Little. Uten tilgang til konsulentrapporten er det utydelig hvilke forutsetninger som er lagt til grunn og hvordan tallene skal tolkes. Vi gjengir Jernbaneverkets argumentasjon her:

"Konsulentfirma Arthur D. Little har foretatt en detaljert beregning av lønnsomheten ved innføring av GSM-R i Jernbaneverket framfor drift og videre utbygging av dagens analoge radiosystemer. Beregningene har tatt utgangspunkt i at dagens togradio kunne bygges videre ut på de strekninger som i dag ikke har togradio. Dette har i ettertid vist seg ikke å være mulig (...) De lønnsomhetsberegninger som konsulentfirmaet har foretatt av anskaffelsen viser at innføring av GSM-R vil være ca 20% billigere enn å videreføre dagens analoge systemer. Konklusjonen er at overgang til GSM-R vil gi en betydelig økonomisk gevinst for Jernbaneverket/trafikkutøver i form av lavere drifts- og vedlikeholdskostnader. (...) Innføring av GSM-R gir betydelig økonomisk gevinst i form av lavere drifts- og vedlikeholdskostnader for Jernbaneverkets og trafikkutøvers radioanlegg" (Jernbaneverket 2001a s. 11).

En ikke urimelig fortolkning av dette kan være at drifts- og vedlikeholdskostnader ved et heldekkende GSM-R-system ville bli 20 prosent rimeligere enn tilsvarende ved et heldekkende Scanet-system, men uten å ta høyde for investeringskostnadene og deres avskrivning.

Kvalitetssikringen av investeringsprosjektet (KS2) omfattet heller ikke driftskostnader, kun selve investeringen (Terramar 2003).

Utfallet ble et helt annet enn forventet på dette området, særlig når det gjelder drifts- og vedlikeholdskostnader for radioanlegget. En tidlig tanke var at dette arbeidet skulle settes ut på anbud til en ansvarlig og kompetent driftsoperatør. Det er mulig man hadde BaneTele i tankene som modell, ettersom de kjente jernbanen særdeles godt og i tillegg tok mål av seg til å bli tilbyder av mobiltelefoni også i et kommersielt marked. Imidlertid ble BaneTele og fiberkabelnettet skilt ut, og den nærmeste relasjonen ble etter hvert en leieavtale av kapasitet i fibernet for datatrafikk for en rekke jernbanerelevante formål. Et stykke ut i prosjektet ble det også klart at det burde opprettes en egen driftssentral med døgnkontinuerlig bemanning for GSM-R-systemet, separat fra togleder-sentralene, som på sin side ville være brukere av mobiltelefonitjenester i en separat del av organisasjonen. Dette framstod som en nødvendig løsning, som det riktignok trengtes betydelige interne avklaringer i Jernbaneverket for å få på plass, ikke minst spørsmålet om lokalisering av den nye, døgnbemannede operasjonssentralen med 35 arbeidsplasser<sup>32</sup>. Det er mulig at en innkjøpt tjeneste ville ha kostet det samme. Uansett ble det en god del dyrere enn drift av den gamle, og mye enklere

---

<sup>32</sup> I alt 230 ansatte er engasjert i drift og vedlikehold av systemet.



Scanet-løsningen. Årlige utgifter til drift og vedlikehold av GSM-R-systemet ble i 2007 anslått til 110 millioner kroner. Vi har ingen tilsvarende data for Scanet.

Når det gjelder det andre punktet, deling av installasjoner med andre, kunne en tenke seg kostnadsdeling av vedlikehold for master, strømforsyning og liknende med andre brukere, dog formodentlig i relativt lite omfang. Det tredje punktet, flere tilleggstenester for trafikkutøvere, er for så vidt oppfylt, i første omgang NSBs ombordtjeneste, senere også andre tjenester, gjør bruk av både taleforbindelse og dataforbindelse mellom tog og faste installasjoner. Prising av disse tjenestene formodes å også dekke inn bidrag til dekning av vedlikeholdskostnader.

Samlet er imidlertid målet om driftsøkonomi ikke nådd. Etter vår oppfatning var det urealistiske forestillinger om arbeidsomfanget knyttet til drifting av slike nettverk. Det er mulig at innleide driftstjenester fra et mobiltelefoniselskap som hadde underutnyttet kapasitet på den døgnekstremt overvåkingen av systemet, kunne ha senket kostnadene noe, men det ville etter vår forståelse ikke ha vært mye å hente på vedlikeholdssiden, all den stund det meste av infrastrukturen ligger langs jernbanen og ikke der andre selskap har sine basestasjoner. Til gjengjeld hadde døgnvaktene på operatørsentralen på Marienborg noe tilgjengelig kapasitet, som Bane NOR også kan bruke til andre formål.

### **5.5 Samlet oppnåelse av effektmål og samfunns mål**

Vi har sett at prosjektet har bidratt til oppfyllelse av effektmål og samfunns mål under overskriftene bedre sikkerhet og effektiv utnyttelse av jernbanenettet, om enn i uspesifiserbart omfang. Disse to målområdene er normalt i et motsetningsforhold til hverandre, men nettopp den måten togradioen er integrert i den daglige driften på, gjør at begge hensyn kan tas samtidig, og den daglige bruken gjør også at systemet fungerer i krisesituasjoner der sekundene teller.

Det er naturligvis ingen garanti for at det ikke kan inntreffe store møteulykker igjen. Vår evaluering viser kun at når systemene er tilgjengelig, gir de positive bidrag til begge målene dersom de brukes som tiltenkt, hvilket de i høy grad gjør. Dette skulle bidra til redusert sannsynlighet for ulykker og nestenulykker, og mindre venting, med påfølgende positive virkninger på punktlighet og regularitet. Når ingen av disse allikevel lar seg påvise i de mest relevante statistikkene, er det to mulige hovedforklaringer. Den ene er at bidragene kan være små, sammenliknet med de variasjoner som forekommer. Den andre er at det er andre krefter som bidrar i motsatt retning, altså at utviklingen ville ha vært mer negativ dersom prosjektet ikke hadde vært gjennomført. Vi har måttet ty til andre metodiske grep enn statistisk analyse for å avdekke hvorvidt, og på hvilke måter, systemet bidrar til de tilsiktede effekter og samfunnseffekter.

Det tredje samfunns målet, om reduserte driftskostnader for radioanlegg, er ikke nådd.

## 6 YTTERLIGERE VIRKNINGER AV PROSJEKTET

Evalueringskriteriet for ytterligere virkninger handler i første rekke om utilsiktede virkninger, både positive og negative, som det ikke var tatt høyde for i målformuleringene. Ett forhold som ofte dukker opp i en slik vurdering, er hvorvidt miljøkonsekvenser ble annerledes enn det man hadde sett for seg ved planleggingen av prosjektet.

Vi nevner her status på to synergivirkninger som det var et tidlig håp om å oppnå, og to momenter som har duket opp mye senere. Men først et kort blick på eventuelle miljøpåvirkninger.

Vi har ikke hatt grunnlag for å undersøke miljøpåvirkninger på egen hånd. For mange av de 550 basestasjonenes vedkommende er det bygd og ført fram strøm der det ikke var slike installasjoner før langs jernbanen, i mange tilfeller også på privat land. Dette skal ikke ha medført negative påvirkninger i betydelig omfang.

Statlige myndigheter hadde håpet på en betydelig kostnadsbesparelse ved å koordinere utbyggingen av det nasjonale nettet for nødnetene og det som ble oppfattet som et nødnett for jernbanen. Flere forhold lå til grunn for denne forhåpningen. Begge nettverkene var nødvendige oppgraderinger fra analoge og til dels fragmenterte systemer til digitale og integrerte, de skulle være lukket, de skulle ha liknende funksjoner for bruk etter inntrufne ulykker, de måtte bygges ut også der det sannsynligvis ikke ville bli noen kommersielle mobiltelefonitilbud, de var på trappene omtrent samtidig, og staten ville måtte betale regningen.

Få av disse argumentene slo til, og det ble klart ganske tidlig at det ville bli to ulike system. Diskusjonen i det offentlige rom handlet til dels om at Norge ikke trengte to lukkede, kostbare nett, og med lett kamuflerte argumenter om at det var den gamle sektorinteressen fra en helintegrert jernbane som stod i veien for en samlet utbygging (Kvistad og Ryvarden 2003). Tekniske argumenter og forankringen i politisk vilje til rask utbedring av sikkerheten i jernbanen fikk overtaket. Det eksisterer nå koblinger mellom nødnettet og GSM-R som kan være spesielt viktig ved redningsarbeid i jernbanetuneller, der nødnetene i realiteten kan dra nytte av at GSM-R-nettet er bygd ut der. Erfaring tilsier at det trengs øving også i dette i praksis, ettersom denne sammenkoblingen utgjør ytterligere et kompliserende element sammenliknet med redningsarbeid i veituneller.

Et annet håp var at togpassasjerer også skulle få dekning for mobiltelefoni langs hele jernbanenettet. På investeringstidspunktet var det bare snakk om telefoni, men i takt med økende datakapasitet i de kommersielle nettene (3G og 4G) er det klart at selv om GSM-R-nettet hadde kunnet (og villet) åpne for passasjerbruk, hadde det snart blitt et utilfredsstillende tilbud igjen. Av og til kom det utsagn om at GSM-R skulle gi bedre tjenester for togpassasjerer. Noen tolket dette som at de reisende skulle få tilgang til å bruke mobiltelefonen på hele reisen. Utsagnene handlet imidlertid om utsending av reiseinformasjon fra togledersentralen og tilsvarende informasjon, for eksempel sanntidsoppdatering på skjerm i vognene av forventede ankomsttider og så videre. Master, strømtilførsel og annen infrastruktur vil kunne gjøre det rimeligere å bygge ut 4G- eller 5G-nett for publikum.<sup>33</sup>

---

<sup>33</sup> Et overslag fra 2015 sa at full 4G-dekning langs jernbanen ville koste mellom 1,5 og 2,1 milliarder; halvparten hvis de kommersielle utbyggerne kunne bruke Jernbaneverkets eksisterende, relevant infrastruktur (Zachariassen 2015).

GSM-R-prosjektet kan ha bidratt til kulturendring og profesjonalisering i Jernbaneverket. Profesjonalisering har ikke her noe å gjøre med jernbanekompetansen i sektoren, som ikke blir bestridt, men med forhold som kundeorientering, eksplisitte avtaler om servicenivå, og så videre, som i økende grad preger tjenesteytende næringer. Vi har observert at operasjonssentralen for telenettet drives etter slike kriterier. De har ansvar for et mobiltelefonisystem, ikke for jernbanedrift. Det er det andre som har. Tjenesteleveranser internt i Bane NOR, som typisk gjelder togledersentralene, behandles på forretningsmessig og avtalemessig grunnlag, omtrent som om det hadde vært eksterne kunder for telefoni- og datatjenester. Operasjonssentralen har da også i sin lagt inn tilbud på utlyste tilbud knyttet til drift av nødnett, og også lagt inn tilbud når andre teleselskaper har hatt behov for systemkomponenter der GSM-R-operatøren har hatt fordelaktige forsyningstilganger for sitt eget behov. Hvorvidt og i hvilken grad denne kulturendringen har hatt noen spredningseffekt internt i Bane NOR eller sektoren for øvrig, slik en informant mente å ha observert, har vi ikke tilstrekkelig data til å si noe om.

Som tidligere anført har ett av Europa-kommisjonens formål med å adoptere GSM-R som obligatorisk standard vært å bidra til å skape mer flyt av tjenester i det indre marked, for dermed å styrke konkurranseevnen til europeisk næringsliv. Det tyske selskapet (Siemens) som fikk hovedansvaret for systemsiden ved utbyggingen, fikk det på grunnlag av sin erfaring med å utvikle og bygge tilsvarende anlegg i andre land i Europa. Riktignok var det et sveitsisk firma som hadde utviklet Scantnet og en amerikansk utstyrproducent som leverte utstyret, så tjenesteflyten var allerede etablert, men volumet på europeiske GSM-R-kontrakter som kom omtrent samtidig, gjorde at de selskaper som hadde vært tidlig ute med å skaffe seg erfaring, fikk et betydelig marked i neste omgang. Om dette har hatt noen betydning for pris eller kvalitet på leveransen til Jernbaneverket, er det vanskelig å si. Siemens er i dag i det verdensledende skiktet, uten at vi dermed kan si noe sikkert om hvilken betydning det norske GSM-R-prosjektet har hatt for europeisk konkurranseevne på feltet.

Samlet sett kan vi si at prosjektet ikke har hatt ytterligere virkninger av betydelig omfang. Hvis man da ikke regner med at det norske jernbanenettet ble tilrettelagt for utbygging av neste trinn i ERTMS, nemlig det ETCS-systemet som forutsetter GSM-R som underliggende datakommunikasjonssystem.

## 7 FORTSATT RELEVANS

Evalueringkriteriet for relevans handler om hvorvidt det leverte produktet tilfredsstillende dagens behov. Behov kan endres over tid. Empirisk sett er det ofte overlapp med levedyktighetskriteriet, men analytisk sett er de forskjellige.

Spørsmålet om fortsatt relevans kan ta to utgangspunkt. Det ene er dagens situasjon, der jernbanesektoren fortsatt er i stor forandring, både strukturelt og på andre måter. Det andre er en mulig situasjon ytterligere noen år fram i tid, der forandringene eventuelt kan være enda større.

Dagens situasjon preges av en oppgradering av eksisterende jernbaneinfrastruktur, inklusive noen utbygginger av parallellspor for å øke kapasiteten på de mest overbelastede strekningene. Den grunnleggende infrastrukturinvesteringen er langt mer kostbar per transportkapasitet på jernbane enn for vei, og behovet for kostbare systemer for trafikkregulering er langt større enn for veitrafikken. Det er ingen trafikkledere for bil. En fortsatt investering i jernbanedrift vil neppe kunne brukeres finansieres i samme grad som nye veier faktisk blir i dag.

På kort sikt vil sannsynligvis de organisatoriske reformene i jernbanesektoren befestes seg. To utenlandske selskap har allerede fått kontrakter på å kjøre persontog i Norge. Statlige jernbanemyndigheter kan få flere aktører å forholde seg til, aktører som ikke nødvendigvis utvikler de samme preferanser. Et utenlandsk selskap kan for eksempel ønske å dra nytte av sine egne ressurser som i utgangspunktet er lokalisert andre steder. Jernbanedirektoratet og Bane NOR vil mest sannsynlig fortsette å utvikle sine respektive posisjoner, og ikke nødvendigvis alltid de heller i samforstand. Det kan tenkes at de ulike tjenesteoperatørene også utvikler ulike preferanser, og ikke minst kan man se for seg at de vil utfordre de prioriteringsregler som nå gjelder for framføring av tog på delt infrastruktur.

På lang sikt er det alltid mange forhold som kan endre seg. Det skjer store utviklinger i både luftfart og veitrafikk, og selv om de ikke nødvendigvis verken blir slik vi tror i dag, eller går så raskt som vi forestiller oss, kan de forrykke balansen mellom transportmodi, og jernbane kan komme i en annen situasjon. De største konkurrentene de neste årene framover, slik det kan se ut nå, er autonome biler for korte strekninger og elektriske kortbanefly for lange strekninger. Gitt et scenario der dette medfører redusert vilje til offentlige investeringer i jernbanen, vil det ha noen konsekvenser for GSM-R-investeringens relevans?

I et slikt scenario vil trafikken på en del strekninger kunne reduseres eller sågar legges ned. Antakelig ville de ulike forretningskonseptene (arbeidsreisetog rundt to eller tre storbyer, hurtigtog, raske regiontog, langsomme lokaltog, internasjonale forbindelser, og godstog) få ulike skjebner. Det som binder alle sammen, er imidlertid at de bruker den samme infrastrukturen, og den henger sammen i et sammenhengende nettverk. Noen få banestrekninger (sidespor) er i dag ikke fullt utstyrt, ut fra lavt trafikkvolum; jamfør også Jernbaneverkets påpekning i sin tid av at strekninger som ikke var tiltenkt ERTMS, heller ikke egentlig ville trenge GSM-R (Jernbaneverket 2002c). Når GSM-R-systemet en gang blir modent for utskifting, kunne man da trappe ned igjen til et enklere og rimeligere system for hele det norske jernbanenettverket? Interoperabiliteten mot Sverige kunne ivaretas med dedikerte systemer på de aktuelle strekningene. Imidlertid vil det også i et slikt scenario være en åpning for at ikke bare utenlandske selskaper skal operere norske tog, men også at de skal kunne

bringe sine egne, noe som da igjen kunne bety fortsatt behov for interoperabilitet gjennom hele nettverket.

Eller, for å konkludere med litt andre ord: Så lenge lokomotivene er bemannet, er det bruk for to-gradio. Hvor lenge den vil hete GSM-R, kan være et tema for neste kapittel.

## 8 LØSNINGENS LEVEDYKTIGHET

### 8.1 Levedyktighetskriteriet og hvordan det kan vurderes

Levedyktighetskriteriet gjelder i hvilken grad de positive effektene av tiltaket kan opprettholdes. En viktig indikasjon er ofte om hvorvidt det er vilje til å opprettholde et drifts- og vedlikeholds nivå som er nødvendig for å sikre disse effektene. Selv om etterevalueringene finner sted noen år etter at prosjektene er gjennomført, kan det fortsatt skje omprioriteringer enda lengre fram i tid. Det er derfor viktig å også se framover i denne vurderingen.

### 8.2 Levetid: teknisk, økonomisk, behovsdrivet, standardbestemt, eller hva?

Hva er levetiden for et togradsystem? Scanet ble utviklet tidlig på 1990-tallet og rullet ut i perioden 1993 til 1996. I 2001 anslo Jernbaneverket at systemet etter åtte år i drift var driftsmessig og teknologisk modent for utskifting. Denne vurderingen ble forsterket av hovedleverandørens beslutning om å avslutte produksjonen av viktige komponenter samme år. I 2007 ble Scanet-systemet stengt ned, etter at GSM-R var tatt i bruk på alle strekninger der Scanet hadde vært i drift. Den første generasjonen var altså i bruk i 15 år, halvparten av denne tiden var det modent for utskifting, og de siste årene var tilgangen til vedlikeholdsleveranser sterkt begrenset, med dertil hørende kontinuerlige avveining mellom å opprettholde driftssikkerhet mot stadig økende vedlikeholdskostnader.

I et jernbaneperspektiv er 15 år et ganske kort tidsspenn for en infrastruktur. Selv om vi ikke har funnet noen forutsetninger om teknisk eller økonomisk levetid for GSM-R i prosjektdokumentasjonen, har det ligget under at dette var en investering for fremtiden. Bare det at systemet ble en del av spesifikasjonen for ERTMS allerede i 1997, da det var klart at det kom til å ta mange år før signal- og styringsdelen (ETCS) av det totale systemet fikk noen utbredelse, pekte i retning av et langvarig liv. Selve utviklingsperioden av GSM-R varte i nesten ti år, fra UIC satte i gang EIRENE-prosjektet i 1992 til den første praktiske uttestingen var gjort på tre jernbanestrekninger i Italia, Frankrike og Tyskland i 2000 (UIC [2016]). Leverandørmedvirkning i uttestingen gjorde det neste steget, til kommersiell utbygging, kortere, slik at det var mulig å spesifisere anbudsdokumenter i 2002 for utbyggingen i Norge, og få systemkomponenter og periferiutstyr levert. Norge ble i 2007 det andre landet i Europa (etter Nederland) som hadde innført GSM-R som full erstatning for analoge togradsystem i sitt nasjonale jernbanenettverk (UIC 2009). Først i 2015 var den andre delen av ERTMS, ETCS, den som blant annet inneholder signalsystemene, for første gang klar til regulær bruk på en 80 km lang strekning på Østfoldbanens østre linje mellom Ski og Sarpsborg. Tidshorisonen for ERTMS-utbygging langs hovedstrekningene og på Oslo S er fra 2021 til 2034. Utvikling av ombordutstyr for tog (lokomotiv) er også påbegynt, og kontrakter for ombygging av togene er inngått (Aagesen 2018). Levetiden derfra og utover er det ikke sagt noe om, men GSM-R er altså en integrert del av spesifikasjonen for de systemene som er tenkt bygd ut fram til etter 2030.

I et mobiltelefonisystemperspektiv er 15 år et forholdsvis langt tidsspenn for en infrastruktur. Fra første gang første generasjon (1G, NMT) ble tatt i bruk i 1981 i Sverige og Norge til første gang 5G ble tatt i bruk i 2018 i mindre skala i en rekke land, gikk det 37 år, altså i gjennomsnitt ni år per generasjon (Crowd 2019b). Mange av disse har riktignok sameksistert i mange år, men i Norge begynte teleselskapene å slukke 3G-nettene sine i 2018; de fikk altså en levetid på i overkant av 15 år i Norge. GSM-nettene slukkes litt senere, men også de står nå for tur. En viktig årsak er at de radiofrekvensene som de bruker, er sterkt etterspurt for nyere teknologier. Det er altså verken teknisk



eller økonomisk levetid for utstyret som er utslagsgivende, men mulighetene for enda bedre løsninger som slår ut.

Hvordan står GSM-R seg i dette landskapet? Her er det flere relevante bindinger med relevans for levetiden. Vi omtaler fire slike i tur og orden.

Den ene er konkurransen om frekvensspekteret for radiosignaler. Her kan vi anta at selv om nasjonale reguleringsmyndigheter vil være under press for å frigi konsesjoner, vil de nasjonale finansierer av togradio holde igjen, slik at ikke nye store infrastrukturinvesteringer for jernbanen presser seg gjennom bare av den grunn. Over tid kommer antakelig konkurransen om tilgang til de frekvenser som jernbane har i dag, til å bli enda sterkere.

Den andre er jernbanens behov. Selv om de nyere mobilsystemene har åpnet for mange nye bruksområder, er GSM-R tilstrekkelig for de funksjoner som er spesifisert i de ERTMS-standardene som gjelder. Dette omfatter både samtale og datatrafikk. Hvilke ytterligere behov som måtte oppstå, og som kan knyttes til togradioen, kan være en usikkerhetsfaktor. Sending av videosignaler mellom tog og togledelse har vært nevnt, uten at dette nødvendigvis trenger å måtte sendes gjennom togradio-systemet, som i så fall måtte oppgraderes til en nyere mobilstandard. Og togoperatørene vil naturligvis kunne ha behov for bredbåndsdekning for sine passasjerer, i konkurransen med andre transporttilbud, men etter utskillingen av ansvaret for togdriften fra ansvaret for infrastrukturen, er nok dette et behov som i alle fall ikke alene vil slå ut på levetiden for togradio-systemet.

Den tredje er tilgangen på utstyr for vedlikehold og oppgradering. Her er tilstanden differensiert. Flere av komponentene i GSM-R-nettet langs jernbanen nærmer seg teknisk levealder. Dette gjør at vedlikeholdskostnadene øker. Noen av disse kan enkelt byttes ut, andre er vanskeligere tilgjengelig fra leverandørene. Rett nok kan dette være utstyr som ikke berører GSM-R-standarden, men ligger lengre ned i lagene. Andre komponenter som er mer spesifikke for GSM-R-implementeringen kan vise seg å bli trangere flaskehals. Produksjonen av viktige Scanet-komponenter opphørte i 2001, seks år før Scanet-nettet ble lagt ned. En liknende situasjon kan oppstå for GSM-R. Selv om verdensmarkedet for GSM-R er betydelig større enn det norske markedet var for Scanet, så er også GSM-R-markedet lite sammenliknet med markedet for den underliggende GSM-teknologien, som altså nå mister kjøpere verden over. Det er allikevel fortsatt en betydelig forskjell, og GSM-R utbygginger fortsetter i mange land. Jernbanemyndigheter internasjonalt burde kunne ha en viss forhandlingsposisjon i å opprettholde leveranser i mange år framover.

Den fjerde er bindingen til ERTMS-standarden. Så lenge GSM-R er en del av den standarden, og så lenge det samtidig investeres i ERTMS, så lever også mobiltelefonistandarden.

Men hvor lenge lever ERTMS-spesifikasjonen? Eller, på en annen måte, hvor lenge lever GSM-R som en del av ERTMS? Det pågår standardiseringsarbeid som formodentlig kan resultere i en ny standard for mobiltelefonidelen av ERTMS, og det innen 2030, da UIC har annonsert at støtte for GSM-R som teknisk standard vil begynne å trekkes tilbake. Organisasjonen satte i gang sitt arbeid for å utarbeide en ny standard i 2012, med to begrunnelser: Jernbanesektorens behov for nye tjenester ville kreve betydelig større dataoverføringskapasitet enn GSM-R kunne tilby, og implementeringer av den underliggende GSM-teknologien ville snart bli foreldet og ikke lenger tilgjengelig fra leverandører. En hel rekke prosjekter skal resultere i et Future Rail Mobile Communications System (FRMCS) (UIC [2018]). En del av strategien er at dette systemet også på sikt skal overta den rollen

som GSM-R i dag har i ERTMS, der den er bundet inn både teknisk, avtalemessig og – i Europa – gjennom overstatlige direktiver.

Her kan det også være på sin plass å nevne at utrulling av ETCS går betydelig langsommere i Europa enn tidligere forespeilet. EUs organ tilsvarende vår riksrevisjon har påpekt at framdriftsplaner mot å ferdigstille ERTMS på de ni kjernenettverkskorridorene på tvers av Europa, 67.000 km, innen 2030, er helt urealistiske, uten en overgripende politisk, finansiell og operativ plan. Kostnadsaspektet er framtreddende: kilometerprisen på utbyggingen ligger på nesten 1,5 millioner Euro per kilometer, og ombyggingskostnader på opptil 550.000 Euro per lokomotiv. I tillegg vil ombyggingen i mange tilfeller gjøre det umulig å bruke togene på linjer eller strekninger som ikke har ERTMS utbygd (Barrow 2017; Vosman 2017). Det er derfor mye som taler for at levetiden på disse standardene kommer til å følge en jernbanelogikk og ikke en mobiltelefonsystemlogikk. Skal jernbane fortsette å bygge på teknologi som drives fram på helt andre premisser enn jernbanens investeringslogikk, må den utvikle standarder som bruker andre grensesnitt mellom funksjoner og kommunikasjonsteknologi enn de som ble institusjonalisert gjennom UIC-arbeidet fra 1990 og framover.

### 8.3 TETRA og andre konkurrerende standarder

Som vi har sett, var valget av GSM-R som løsning gitt av en lang rekke tunge institusjonelle føring-er helt tilbake til UICs forstudie i 1990, som konkluderte med å gå inn for GSM i stedet for TETRA som standard for framtidige togradiosystemer. En vellykket strategi over tid førte deretter til en omforent GSM-R-spesifikasjon og dens innrulling i Europakommisjonens pålegg om ERTMS som standard for framtidig togtrafikk-kontroll. Dette utfallet var godt underbygd underveis av frivillige avtaler om standardvalg og implementeringsframdrift mellom norske og utenlandske jernbaneaktører.

Men TETRA var ikke død. UICs hovedbegrunnelse i 1990 var som sagt at GSM-konseptet var mer modent, noe som var viktig for å være sikker på at konseptet ville virke tilfredsstillende, og fordi det allerede fantes kommersielt tilgjengelige løsninger på grunnkomponenter. På mange områder gikk imidlertid TETRA forbi GSM de neste årene, som et lukket mobiltelefonnett spesifikt innrettet mot behov under til dels uoversiktlige krisehåndteringer, som var ett av behovene som også GSM-R skulle dekke. Også på sin egnethet for tog i høy hastighet hevdet TETRA å komme på samme nivå som GSM-R i samme periode. I sitt varsel til Jernbaneverket av 2001 om utfasing av Scanet, framhever også Motorola sine TETRA-produkter, som de har markedssuksess med, framfor sine GSM-R-produkter, som alternativer for togradio til jernbanedrift.

I Norge kom diskusjonen om TETRA eller GSM-R opp i ulike kanaler, også i den offentlige debatt, ettersom redningsetatene vurderte dette systemet. Deres valg av TETRA som nasjonalt nødnett falt imidlertid ikke før i 2010. Vi har sett spor etter TETRA-diskusjonen også i forkant av investeringsplanene for GSM-R, men da var som sagt valget av GSM-R egentlig avgjort lenge i forveien.

Den fremste tekniske fordelen med TETRA er at den trenger ikke et heldekkende basestasjonsnett, ettersom hvert enkelt apparat har fire radiokanaler (derav navnet) og dermed også selv kan fungere som basestasjon (eller signalforsterker) for et lite antall apparater som er for langt unna til selv å ha dekning fra en fast basestasjon. Dermed kan en skaffe dekning for eksempel langt til fjells under en redningsaksjon ved å stasjonere ut apparater på vei ut mot skadestedet, uten å ha bygd ut et nett med stasjonære baser som dekker hele landet like godt.

Nå som GSM i sin alminnelighet er en foreldet teknologi, og før GSM-R er erstattet av en ny standard tilpasset 4G eller 5G, ser noen jernbaneanstasjoner seg om etter alternative løsninger. TETRA-industrigruppen har produsert en utredning som viser betydelige fordeler med TETRA sammenliknet med GSM-R på ca. 50 tekniske, funksjonelle, økonomiske og andre sammenlikningspunkter som de anser som relevante for beslutningstakere (Beynon 2017).

Om sammenlikningen er tilstrekkelig overbevisende for de som skal investere i nye togradsystem, skal vi ikke ha noen mening om. Finlands GSM-R-løsning fra 2008 nådde sin tekniske og økonomiske levetid etter ti år, og med dispensasjon fra europeiske myndigheter har de valgt å koble seg på det nasjonale nødnettet basert på TETRA-standard, med et påbygg av jernbanefunksjoner, i påvente av en jernbanespesifikk 4G- eller 5G-løsning. Fastmonterte togradier må være TETRA-utstyr, men håndholdte smarttelefoner på kommersielle nett kan bruke en spesialutviklet app for jernbanefunksjonene (Critical Communications Today 2019). Ettersom Finland ikke har samme sporvidde som Europa ellers, er interoperabiliteten for togsett ikke en avgjørende faktor. Erfaringene fra Finland kan bli interessante i debatten om en ny standard.

Det finske caset peker neppe i retning av at TETRA vil overta for GSM-R, men det viser at dagens kommersielt tilgjengelige mobiltelefoni gir mulighet til å implementere jernbanespesifikke funksjoner som det ikke var mulig å få til de tre til fem første årene da GSM-R-nettverkene, herunder det norske, ble etablert i Europa. En tilsvarende erfaring finnes i Danmark.

## 9 SAMFUNNSØKONOMISK LØNNSOMHET

### 9.1 Lønnsomhetskriteriet og hvordan det kan vurderes

Samfunnet har ikke ubegrenset med ressurser, og offentlige midler som brukes på ett offentlig tiltak går på bekostning av andre goder innbyggerne kunne ha fått. Det er derfor ikke nok å spørre om prosjektet er nyttig, en må også forsikre seg om at nytten står i et rimelig forhold til ressursbruken, og at den valgte løsningen er kostnadseffektiv og ikke innebærer sløsing. En samfunnsøkonomisk analyse av prosjektet inngår derfor som et sjette kriterium i evalueringsmodellen (Volden og Samset 2013).

En fordel med å underlegge konkurrerende prosjekter en økonomisk logikk er at man i prinsippet kan beregne nytte/kostnadsforholdet i dem etter samme målestokk, noe som forenkler sammenlikningen mellom dem betydelig. Jo flere fordeler og ulemper ved et prosjekt man kan prissette og dermed beregne verdien av, jo mer dekkende kan lønnsomhetsberegningene sies å være for prosjektet som helhet. En ulempe er at man i beslutningsprosesser ikke alltid ønsker å redusere alle forhold til økonomiske størrelser. Hvis man i en slik situasjon argumenterer for at det bare er et spørsmål om hvilken pris man er villig til å betale for å oppnå et mål, glemmer man nettopp at det ikke er gitt at alle forhold bør reduseres til et spørsmål om økonomiske verdier, selv om det i prinsippet kunne la seg gjøre.

Evalueringsteknisk kan det også være en utfordring at de samfunnsøkonomiske lønnsomhetsberegningene overlapper med enkelte av de vurderinger som er gjort under de fem andre kriteriene.

### 9.2 Nullalternativet: Hva sammenlikner vi med?

Sammenliknet med andre investeringer i jernbaneinfrastruktur, er det i dette prosjektet ikke klart hvilke fordeler og ulemper prosjektet har for brukerne og samfunnet. Når et prosjekt gir økt togkapasitet (nye strekninger, flere parallelle spor eller høyere hastighet), dreier nytten seg om reduksjon av reisetid. Når planoverganger fjernes eller erstattes av sikrere løsninger, finnes det etablerte metoder for å beregne samfunnsøkonomisk nytte. Nyttefunksjonene for GSM-R er både flere og mer sammensatt.

Det ble likevel i forkant av anskaffelsen gjennomført en detaljert kost-/nytteberegning, med vekt på drifts- og vedlikeholdskostnader, av ekstern konsulent fra Arthur D Little. Konklusjonen var at overgang til GSM-R ville være ca. 20 prosent billigere enn å videreføre dagens analoge systemer (Jernbaneløst 2001a).

Nullalternativet i denne utredningen antok at en fortsatt kunne benytte datidens radiosystemer, altså Scanet for togframføring og øvrige systemer for lokal kommunikasjon. Denne forutsetningen ble endret da leverandøren av Scanet-utstyr innstilte produksjonen, og det ikke fantes alternativer. Når et system går ut av produksjon, vil det ikke lengre være en garanti for reservedeler, og systemet vil fase seg selv ut. Scanet var derfor ikke lengre et reelt alternativ, og da heller ikke et reelt nullalternativ for vår sammenlikning. Dette ses på som et "end of life"-problem, og gjorde det vanskelig å finne et nullalternativ for GSM-R-investeringen. Det ble derfor ikke utført en ny kost-/nytteberegning i videre utredninger av prosjektet.

Vi kjenner heller ingen prosjekter som kunne brukes som sammenlikningsgrunnlag. Ettersom det ikke ble gjennomført en kost-/nytteberegning hvor man så på et reelt nullalternativ, vil det være svært krevende å gjennomføre en fullstendig samfunnsøkonomisk analyse av dette prosjektet i en etterevaluering. Vi benytter derfor en forenklet samfunnsøkonomisk analyse, der vi kvalitativt vurderer kostnader og nytte per berørte aktør, før vi vurderer samfunnsøkonomisk lønnsomhet skjønnsmessig til slutt.

Den samfunnsøkonomiske lønnsomheten av et investeringsprosjekt må vurderes opp mot konsekvensene av å la være å gjennomføre investeringen, ofte kalt referansebanen eller nullalternativet. Ettersom det ikke finnes en konkret vurdering av nullalternativet i det eksisterende grunnlagsmaterialet, blir vurderingen av referansebanen i all hovedsak en hypotetisk framstilling. Vi kan i dette prosjektet definere nullalternativet som bruk av tidligere Scanet og se bort fra de øvrige, mindre radiosystemene. Vi forsøker å sannsynliggjøre hva som ville vært situasjonen gitt en uteblivelse av GSM-R. I en slik situasjon foreskriver Finansdepartementet et nullalternativ som baserer seg på en forsvarlig videreføring av dagens situasjon, der vedtatt politikk legges til grunn. For investeringsprosjekter vil dette bety kostnader til det minimum av vedlikehold som er nødvendig for at alternativet er reelt (FIN 2014). Siden systemet hadde begynt å gå ut av produksjon og måtte fases ut, dukker det opp en "end of life"-situasjon. Dette betyr at togradiofunksjonen ikke kunne videreføres uten en betydelig reinvestering.

På tidspunktet for innføringen av GSM-R var det ikke iverksatt eller bestemt andre tiltak for å utbedre togradionettet i jernbanen. Vi finner det imidlertid sannsynliggjort i løpet av evalueringen at den tidligere tekniske løsningen var utdatert og at flere tekniske komponenter var under utfasing fra leverandørens portefølje. Vi vurderer det derfor som nødvendig med en betydelig økning i drifts- og vedlikeholdskostnader dersom en videreføring av det eksisterende systemet skulle vært et reelt alternativ. Det tidligere nødnettet var heller ikke heldekkende for jernbanen, og problemer hadde kommet fram ved utredningen av Åsta ulykken.

Ettersom Jernbaneverket og NSB hadde skrevet under et MoU om at kommunikasjonssystemet til jernbanen i Norge skulle bygges på GSM-R, fantes det ikke noen andre løsninger. En mulighet kunne vært utsettelse av prosjektet med noen få år, men dette var ikke ønskelig på bakgrunn av det politiske presset etter Åsta-ulykken. Det var heller ikke ønskelig, ettersom det fantes en "end of life"-situasjon på det togradiosystemet som var i bruk. Hvis prosjektet skulle vært utsatt i noen år, kunne dette ha ført til høyere vedlikeholdskostnader, det kunne også ha ført til en mindre effektiv jernbanedrift med mye nedetid på bakgrunn av et ikke fungerende togradiosystem, samt en ikke oppfylt MoU. Ettersom noen av strekningene ikke hadde eksisterende togradio, ble kjøringen på disse strekningene gjennomført med dispensasjoner. Dette var ikke noe som kunne fortsette.

På bakgrunn av dette anser vi det derfor som svært sannsynlig at et realistisk nullalternativ til GSM-R ville ha medført en betydelig økning i kostnader, betydelig høyere enn forutsatt av Arthur D Little for systemdriftens vedkommende. Ytterligere kostnader ville ha påløpt ved at målene som var satt for prosjektet for sikkerhet og effektivitet i jernbanen, og dermed er vedtatt politikk, neppe ville ha blitt nådd.

Andre alternative løsninger ble undersøkt ved utredningen av GSM-R. Et nødtelefoninett basert på TETRA-standarden ble implementert som fra 2010. Hvis denne løsningen også kunne tilpasses jernbanen, noe som vi i kapittel 8.3 har sett etter hvert var mulig, kunne utbyggingen av jernbanens

radionett langs skinnegangen vært gjort sammen med utbyggingen av TETRA. Beregninger gjort på investeringsstidspunktet viste imidlertid forholdsvis små gevinster ved å kombinere TETRA med GSM-R (St.meld. nr. 49 (2002-2003)). En utsettelse kunne muligens ha gitt bedre synergieffekter. Bruk av kommersielt GSM-nett var også mulighet som ble vurdert, men funnet utilstrekkelig.

Begge disse alternativene var i prinsippet muligheter, men jernbanen var bundet av et MoU skrevet under av Jernbanedirektoratet som begrenset jernbanens muligheter til GSM-R, som store deler av Europa. Vi har ikke noe grunnlag for å anslå samfunnsøkonomiske kostnader ved eventuelt å gå tilbake på en slik avtale.

### 9.3 Samfunnsøkonomisk nytte

Når det gjelder nyttesiden, har vi ikke funnet det mulig å kvantifisere effekter av prosjektet. Det er også begrenset tilgang på modeller for å prissette relevante effekter. Vi må derfor avgrense oss til noen refleksjoner.

De viktigste nytteeffektene synliggjort i prosjektplanen var knyttet til sikkerhet, utnyttelsesgraden av jernbanenettet, og drifts- og vedlikeholdskostnader for togradiosystemene. Vi kan i tillegg løfte blikket og se om det kan være noen konsekvenser knyttet til ytterligere tre forhold: togets plass i det samlede transportbildet, interoperabilitet mellom nasjonale jernbanesystemer for å styrke det indre markedet for så vel jernbaneutbygging som for person- og godstrafikk med jernbane (som har vært Europakommisjonens overordnede mål med standardiseringen), og om grunnlaget er lagt for framtidige forbedringer i sektoren. Vi går kort gjennom en og en av disse.

I kapittel 5.2.2 fant vi ikke noen tilfredsstillende måte å anslå prosjektets betydning for tap av menneskeliv, blant annet fordi det trengs lengre tidsserier for å kunne fastslå hvorvidt sannsynligheten for dødsulykker er endret. Dette skyldes som sagt at de store møteulykkene slår sjelden, men veldig sterkt ut i statistikken.

I samfunnsøkonomiske analyser av sikkerhetsforbedrende tiltak i trafikken settes verdien av et ekstra reddet (eller tapt) liv til verdien av et statistisk liv (VSL), en størrelse som er beregnet på grunnlag av undersøkelser av folks vilje til å betale for å få en statistisk sett bedre overlevelsesmulighet i trafikken (Elvik 2018). Rundt regnet er VSL for tiden 30 mill. kr per liv. Det betyr at den samfunnsøkonomiske gevinsten ved å unngå én møteulykke som Åsta-ulykken, alene ville forsvare en investering på nærmere 600 mill. kr. Da er ikke hardt skadde tatt med i regnestykket.

I kapittel 5.2.1 fant vi fire konkrete bidrag til sikkerheten: Tilgjengelighet, dekningsgrad, kapasitet og brukskvalitet. Disse fire kan faktisk også hver for seg i prinsippet gjøres til gjenstand for en avveining mellom marginalkostnad og marginalnytte. De kan implementeres med ulike grader og dermed også ulike kostnader. I praksis er det imidlertid ganske vanskelig å beregne sammenhengene mellom implementeringsgrad og kostnad. Enda vanskeligere er det å beregne noen direkte sammenheng mellom implementeringsgrad på disse fire systemegenskapene og sikkerhetsnivået. Vi avstår derfor fra å gjøre noen videre avveininger mellom disse.

Når det gjelder utnyttelse av jernbanenettet, fant vi i kapittel 5.3.2 at det heller ikke der var noen entydig god indikator. Det er forsinkelser sammenliknet med planlagt togframføring som er den viktigste konsekvensen for både punktlighet og regularitet, og der GSM-R-systemet har noen påvirkningsmulighet. Her finnes det i prinsippet muligheter for beregning av den økonomiske verdien



av endringer (tapt eller vunnet) reisetid for passasjerer og framføringstid for gods. Det ligger imidlertid utenfor mulighetene i dette prosjektet å vurdere om slike nytteberegninger kunne gjennomføres med henblikk på GSM-R som årsak, enn si å gjennomføre slike beregninger.

Hva angår drifts- og vedlikeholdskostnader for radiosystemene, fant vi i kapittel 5.4 at det heller ikke der forelå noe godt grunnlag, annet enn at en tidlig beregning fant en innsparing i disse på ca. 20 prosent, sammenliknet med før-situasjonen, og forutsatt at Scanet fortsatt hadde kunnet holdes ved like. Så snart Scanet ikke lenger var en mulighet, ville innsparingen etter det samme regnestykket ha blitt betydelig større. Vi har imidlertid ikke funnet noen data som kan illustrere nytten i form av reduserte kostnader. I det siste året da både Scanet og GSM-R var i drift, meldte Jernbaneverket at kostnadene var høye, men at de naturlig nok ville gå ned igjen neste år. Selv om den første analysen var gjort på et tidspunkt da investeringsanslaget var i overkant av en tredel av det som faktisk ble omfanget, vil det allikevel overraske oss om nytten på dette punktet skulle være negativ.

Har toget fått en forbedret konkurransesituasjon som følge av investeringen? Jernbanens omdømme kommer her inn i tillegg til endringer i reisetid og framføringstid for gods. Punktlighet for passasjerer og antallet ulykker med personskade vil antakelig være de to viktigste bidragene her. Som vist i kapittel 5.2 og 5.3 har vi ikke noe sikkert å si om verken det ene eller det andre av disse bidragene, og dermed heller ikke om den samfunnsøkonomiske verdien av dem.

Interoperabiliteten er blitt bedre, men vi har ikke data om det faktisk har medført mer trafikk over landegrensene eller færre togbytter på grensen, så vi kan heller ikke si noe om en eventuell samfunnsøkonomisk nytte av dette.

Vi kan heller ikke se at vi har noe tydelig grunnlag for å si om dette har redusert barrierene for fri flyt av varer og tjenester i det indre markedet. Per 2019 har et britisk og et svensk selskap fått ansvar for persontogtrafikk på det norske nettet. De skal bruke norske tog, som altså er tilpasset det norske jernbanenettet, men i framtidige konstellasjoner kan en se for seg at interoperabilitet også vil gi mulighet for bruk av utenlandske togsett. Derimot har GSM-R formodentlig styrket det indre markedet for utbyggere av telekommunikasjon og styringssystemer for jernbaneinfrastruktur. Selv om det er nasjonale tilpasninger, betyr de underliggende standardene at så vel konkrete løsninger som akkumulerte erfaringer har verdi i andre land enn der de først er opparbeidet. Vi har ingen måte å anslå den samfunnsøkonomiske verdien av dette innenfor rammen av dette prosjektet.

Da GSM-R ble etablert, var den en standard for framtiden. Man visste at det ville ta lang tid før den ble den dominerende praksis, ettersom investeringer i jernbanesektoren for det meste er et statlig anliggende og bare i liten grad kan finansieres utenfor statsbudsjettet. Den virkelig store gevinsten ville ligge i å kunne bygge om hele kontrollinfrastrukturen for togframføring, ERTMS, der GSM-R var definert både som systemet for samtaler og som databærer for styringssignaler, og ETCS som den styringsrelevante delen. En kan dermed snakke om ETCS som en realopsjon, altså at verdien av GSM-R bare får begrenset samfunnsøkonomi verdi i seg selv, og ikke gir full uttelling før det sees i sammenheng med neste investeringstrinn i et heldigitalisert styringssystem.

Utviklingstakten i jernbanen og utviklingstakten i den kommunikasjonsteknologiindustrien som legger grunnen for disse systemene i jernbanen, er forskjellig. Mens kommersielle aktører nå fysisk legger ned sine GSM-nett, er det fortsatt vekst i GSM-R-markedet på verdensbasis. Arbeidet med en ny standard for kommunikasjonsdelen ble påbegynt i 2012, men den vil neppe være klar for

praktisk implementering før innføringen av ETCS vil begynne for alvor i mange land. Det oppstår da en situasjon der ETCS må leve med to generasjoner togradio. Dette forholdet adresseres uten tvil i standardiseringsarbeidet, men det er uklart hvilke kostnader som vil knyttes til dette. En mulighet er at man kommer opp i en situasjon der oppgradering fra GSM-R til neste generasjon er nødvendig, uten at det ennå foreligger kostnadsoptimale løsninger, akkurat som i overgangen fra Scanet til GSM-R.

## 10 SAMLET VURDERING OG KONKLUSJONER

### 10.1 Samlet vurdering

Vi trekker nå sammen vurderingene etter de seks kriteriene og gir begrunnede tallkarakterer på dem. Normen er gitt som vist i Tabell 5.

**Tabell 5: Skalafortolkning for vurderingskriterier**

Skåre	Normal skalafortolkning
<b>Kriterium: Produktivitet</b>	
5-6	Prosjektet har levert innenfor styringsramme, tidsplan og med meget god kvalitet, og kommer i tillegg godt ut på en referansesjekk.
3-4	Prosjektet leverer innenfor kostnadsrammen, har ikke større forsinkelser samt leverer akseptabel kvalitet, på linje med andre sammenliknbare prosjekter.
1-2	Prosjektet har betydelig overskridelse av kostnadsrammen (i størrelsesorden 20 % eller mer), samtidig som det leverer på et uakseptabelt nivå tidsmessig og kvalitetsmessig i forhold til sammenliknbare prosjekter.
<b>Kriterium: Måloppnåelse</b>	
5-6	Svært god eller overoppfyllelse av målene, og prosjektet framstår som et treffsikkert virkemiddel for å realisere effektene
3-4	Resultater som anses som akseptable- men ikke noe mer.
1-2	Effektene uteblir eller er klart lavere enn det som er akseptabelt.
<b>Kriterium: Andre virkninger</b>	
5-6	Tiltaket har betydelige andre positive virkninger (ut over måloppnåelsen) og ingen eller bare marginale negative virkninger.
3-4	Tiltaket har få virkninger ut over det som gjelder måloppnåelsen, og få eller ingen vesentlige negative virkninger.
1-2	Vesentlige negative virkninger. Laveste score gis dersom de negative virkningene både i omfang og effekt er vesentlig større enn de positive virkningene av tiltaket.
<b>Kriterium: Relevans</b>	
5-6	Effekt- og samfunns mål er i samsvar med sentrale og høyt prioriterte behov, og tiltaket fører ikke til skjevprioritering eller konflikter mellom sentrale interessegrupper som berøres av tiltaket.
3-4	Akseptabelt samsvar med (dagens) behov og prioriteringer
1-2	Tiltaket er ikke i samsvar med sentrale prioriteringer i samfunnet (i dag), og/eller fører til konflikter eller vesentlig skjevfordeling mellom sentrale interessenter.
<b>Kriterium: Levedyktighet</b>	
5-6	Tiltak der en finner at det offentlige og sentrale interessenter både har evne og vilje til å videreføre de prosessene som prosjektet har gitt opphav til over hele levetiden.
3-4	Dersom dette er usikkert.
1-2	Det er ikke tilfellet, og sannsynligheten for at det vil skje i fremtiden, er lav.

Skåre	Normal skalafortolkning	
	<b>Kriterium: Samfunnsøkonomisk lønnsomhet</b>	
	<b>Ved nytte-kostnadsanalyse og kostnads-virkningsanalyse:</b>	<b>Ved kostnadseffektivitetsanalyse:</b>
5-6	Lønnsomme prosjekter (netto nytteverdi >> 0)	Prosjektet er mer kostnadseffektivt enn gjennomsnittet for sektoren
3-4	Lønnsomheten er lav eller nærmere null	Prosjektets kostnadseffektivitet er på akseptabelt nivå eller på gjennomsnittet
1-2	Ulønnsomme prosjekter (netto nytteverdi << 0)	Prosjektets kostnadseffektivitet er klart under det akseptable

Kilde: Concept-programmet (2017).

Skåringen av GSM-R-prosjektet, basert på vurderinger gjort i de respektive kapitler i det foregående, blir som vist i Tabell 6.

**Tabell 6: Tallfestet vurdering**

Kriterium	Skåre	Begrunnelse
Produktivitet	5	Kvalitet i store trekk som spesifisert, kostnader marginalt over KS2 kostnadsramme, tidsramme overskredet. Det meste av overskridelsene kan tilskrives finansieringspause etter første år (altså prosesser i Stortinget og ikke i prosjektet).
Måloppnåelse	4	Sikkerhet (første prioritet) og utnyttelse av jernbanenetten (andre prioritet) mest sannsynlig positivt, driftseffektivitet radiosystem (tredje) negativt.
Andre virkninger	3	Lite å bemerke, verken positivt eller negativt.
Relevans	5	Så lenge tog er bemannet, trenger de togradio.
Levedyktighet	4	Levetiden vil strekkes så langt det går, men betydelig usikkerhet rundt tidslinjer for rasjonell oppgradering til nyere teknologi.
Samfunnsøkonomisk lønnsomhet	4	Mest sannsynlig lønnsomt, men umulig å beregne (ingen realistiske nullalternativ, heller ingen mulig beregning av nytteverdi).

Kilde: Egen vurdering.

## 10.2 Konklusjon: Framtider i utakt

Den viktigste konklusjonen fra dette evalueringsprosjektet handler ikke om at GSM-R-prosjektet er godt gjennomført og skårer relativt høyt på både taktiske og strategiske mål. Den handler om hvilke problemstillinger som oppstår når store offentlige investeringer med lang avskrivningstid finner sted i situasjoner med rask teknologisk utvikling. Det er ikke foreldelse i seg selv som er problemet, men at det er så ulik utviklingstakt på investeringene og de teknologiske mulighetene som realiseres ellers i samfunnet.

Som vi har vist, var det et arbeid med internasjonale standarder for togradio som sakte, men sikkert bandt Jernbaneverket til en bestemt løsning. GSM var valgt som basisteknologi i 1990, GSM-R-spesifikasjonen var ferdigutviklet i 1995, en forpliktende MoU ble signert i 1997, samme år som standarden offisielt ble del av ERTMS-standard for signalanlegg og togkontroll som skulle binde Europas jernbaner mer sømløst sammen. Da var egentlig løsningen fastlagt. Allikevel var Norge blant de første til å ha implementert GSM-R på nasjonal skala, i 2008, og det er fortsatt (i 2019) land i Europa som nå begynner å implementere systemet.

Samtidig er GSM en teknologi som nå er i ferd med å bli faset ut i Norge og mange andre land. Til og med etterfølgeren, 3G, er faset ut mange steder. 4G har vært operativt i mange år, 5G er på trap-

pene, utkast til standarder for 6G er formodentlig i alle fall på tankestatiet. Tilgjengelig teknologi for mobiltelefoni har utviklet seg i en betydelig raskere takt enn standardene for mobiltelefoni i jernbanen.

Kapasiteten og funksjonaliteten i GSM-R vil fortsatt være tilstrekkelig for jernbanen, både når det gjelder tale og datatrafikk, fram til i alle fall 2030. Ett av problemene er at en del av det fysiske utstyret som er utplassert på master, om bord på tog og i sentrale systemer, og som er spesifikt for GSM, har betydelig kortere teknisk levetid enn GSM-R-standardene, og må skiftes ut også etter at kommersielle GSM-nett er avvirket. Dette kan ha betydning for tilgjengelighet og pris på både komponenter og kompetanse. Om og når man kommer til en "end-of-life"-situasjon, er uklart, men situasjonen legger press på utvikling av en ny standard, som da må implementeres for at jernbanene og togene fortsatt skal være del av det europeiske jernbanenettet. Det er dermed usikkert hvor mye av den opprinnelige investeringen som må skiftes ut, og når.

En mer funksjonsorientert standard hadde gjort det mulig å oppgradere fortløpende på en mer kostnadseffektiv måte, slik kommersielle leverandører av mobiltelefoni er i stand til å gjøre. Det vil si, de har jo hjelp av en helt annen betalingsvilje og, ikke minst, et betydelig større volum på etterspørselen, mens utbygginger i jernbanens infrastruktur må følge skattefinansieringens og statsbudsjettets logikk. Som vi har vist, strandet i alle fall forsøk på andre finansieringsformer i 2002.

Da GSM ble valgt som basis for en togradiostandard, var det liten bevissthet om at den snart ville bli erstattet av nyere standarder. GSM er en 2G-standard (2. generasjons mobiltelefoniteknologi), men den fikk ikke 2G-betegnelsen før 3G var godt underveis i utvikling. Da GSM kom, var situasjonsforståelsen at det var en digital etterfølger etter den analoge NMT-teknologien. Hadde standardiseringsarbeidet tatt utgangspunkt i 3G-arbeidet, hadde det muligens vært enklere å finne en løsning for å bygge R-funksjoner på toppen av kommersielle løsninger, men 3G var som sagt alt for umodent ennå i 1990, da kampen stod mellom GSM og TETRA.

Det er imidlertid fortsatt noen tekniske og økonomiske barrierer mot en rent funksjonsorientert standard. Selv om vi har vist at det finnes eksempler på at funksjonalitet tilsvarende GSM-R nå er implementert på andre teknologier enn GSM, hjelper ikke det så mye, i alle all ikke på interoperabiliteten, så lenge lokomotivene må ha maskinvare tilpasset hver av de nasjonale – eller til og med sub-nasjonale – standardene som implementeres på ulike tidspunkt.

Det kan naturligvis hjelpe på situasjonen at når det er så mange land som har bundet seg til GSM-R, så vil i alle fall markedet være større enn det var for den særnorske Scanet-standardene, noe som kan gi en betydelig lettere situasjon.

Problemstillingen er allikevel bredere enn bare spørsmålet om GSM-R-investeringen. Den angår generelt investeringer i infrastruktur der utvikling av standarder og implementering av dem går i svært forskjellig takt i offentlig og kommersiell sektor. Og så må vi legge til at vi ikke har undersøkt hvilke konsekvenser slike ulikheter i takt har for de samlede investeringskostnader og kostnader for drift og vedlikehold. Vi tror imidlertid at det bør være et interessant spørsmål å se nærmere på.

## 11 LITTERATURREFERANSER

- Aagesen, Ragnhild (2018): "Alstom skal levere ombordutrustning for ERTMS." Bane NOR <https://www.banenor.no/Prosjekter/prosjekter/ertms/innhold/2018/alstom-skal-levere-ombord-utrustning-for-ertms/>
- Barrow, Keith (2017): "EU audit shines a light on ERTMS challenges." *International Railway Journal* No. November, s. 38-41.
- Beynon, Kristin (2017): *A comparison of TETRA and GSM-R for railway communications*. Sepura.
- Concept-programmet (2017): *Ettrevaluering av statlige investeringsprosjekter. Retningslinjer for evaluator*. Trondheim: Concept.
- Critical Communications Today (2019): "Finland: Railways can now use the Virve TETRA network." <http://www.criticalcomms.com/news/finland-railways-fta-tetra-gsm-r-replacement-frequentis>
- Crowd, Wikipedia (2019a): "BaneTele." Wikipedia <https://no.wikipedia.org/wiki/BaneTele>
- Crowd, Wikipedia (2019b): "Comparison of mobile phone standards." Wikipedia [https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_mobile\\_phone\\_standards](https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_mobile_phone_standards)
- DnV (1990): *Gjennomgang av sikkerhetsreglement og rutiner vedrørende statens jernbanedrift*. Oslo: Det norske Veritas.
- Elvenes, Gaute (2013): *Pålitelighetsanalyse for GSM-R*. Trondheim: NTNU, Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk. <https://banenor.brage.unit.no/banenor-xmlui/handle/11250/155748>
- Elvenes, Gaute (2017): "ERTMS." *Måling og overvåking av trafikksikkerhet*. Trondheim 2017-03-30: Bane NOR. <https://www.sintef.no/projectweb/trine2018/aktiviteter/seminar-mars-2017/>
- Elvik, Rune (2018): *Økonomisk verdsetting av liv og helse*. Trondheim: NTNU Concept.
- FIN (2014): *Prinsipper og krav ved utarbeidelse av samfunnsøkonomiske analyser mv*. Rundskriv R 109/14, Oslo: Finansdepartementet. [http://www.dfo.no/Documents/FOA/publikasjoner/rapporter/r\\_109\\_2014.pdf](http://www.dfo.no/Documents/FOA/publikasjoner/rapporter/r_109_2014.pdf)
- FOR-1994-07-22-746 (1994): Forskrift om krav til anlegg og drift av jernbane, herunder sporvei, tunnelbane og forstadsbane m.m. *Norsk Lovtidend*.
- Hollnagel, Erik (2014): *Safety-I and safety-II : The past and future of safety management*. Farnham: Ashgate.
- Innst. S. nr. 119 (2000-2001) (2001): *Innstilling til Stortinget fra samferdselskomiteen om Nasjonal transportplan 2002-2011 St.meld. nr. 46 (1999-2000) og to forslag oversendt fra Stortinget 11. oktober 2000*. Oslo: Stortinget.
- Innst. S. nr. 260 (2002-2003) (2003): *Innstilling til Stortinget fra finanskomiteen. St.prp. nr. 65 (2002-2003) og St.prp. nr. 75 (2002-2003)*. Oslo: Stortinget. <https://www.stortinget.no/globalassets/pdf/innstillinger/stortinget/2002-2003/inns-200203-260.pdf>
- Innst. S. nr. 274 (2001-2002) (2002): *Innstilling fra samferdselskomiteen om orientering om status for GSM-R. St.prp. nr. 66 (2001-2002), kap. 10*. Oslo: Stortinget. <https://www.stortinget.no/nn/Saker-og-publikasjoner/publikasjoner/Innstillinger/Stortinget/2001-2002/inns-200102-274/?lv1=0>
- ITU-R (2017): *Description of railway radiocommunication systems between train and trackside (RSTT)*. Geneva: International Telecommunication Union.
- Jernbaneverket (2001a): *GSM-R i Jernbaneverket : effekt av investeringen med fokus på sikkerhet*. Oslo: Jernbaneverket. <https://banenor.brage.unit.no/banenor-xmlui/handle/11250/155726>
- Jernbaneverket (2001b): *Jernbanestatistikk 2000*. Oslo: Jernbaneverket.



- Jernbaneverket (2002a): *OPS-prosjekter i Jernbaneverket. Muligheter og utfordringer*. Oslo: Jernbaneverket. [https://banenor.brage.unit.no/banenor-xmlui/bitstream/handle/11250/154953/09TU09553\\_ocr\\_red.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://banenor.brage.unit.no/banenor-xmlui/bitstream/handle/11250/154953/09TU09553_ocr_red.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jernbaneverket (2002b): *Risikoanalyse av eierskap til GSM-R-system / BaneTele AS*. Oslo: Jernbaneverket Hovedkontoret. <https://banenor.brage.unit.no/banenor-xmlui/handle/11250/156090>
- Jernbaneverket (2002c): *Utbygging av radiokommunikasjon*. Hamar: Jernbaneverket. <https://banenor.brage.unit.no/banenor-xmlui/handle/11250/155732>
- Jernbaneverket (2003): *Styringsdokument for GSM-R utbygging*. Oslo: Jernbaneverket.
- Jernbaneverket (2006a): *Jernbanestatistikk 2005*. Oslo: Jernbaneverket.
- Jernbaneverket (2006b): *Styringsdokument for GSM-R utbygging*. Oslo: Jernbaneverket.
- Jernbaneverket (2009): *Jernbanestatistikk 2008*. Oslo: Jernbaneverket.
- Jernbaneverket (2011): *GSM-R systemet - Vurdere gevinsten ved et SIL 1-sertifisert GSM-R system*. TE 808180-000, Oslo: Jernbaneverket Bane Nett.
- Jernbaneverket (2016): *Jernbanestatistikk 2015*. Oslo: Jernbaneverket.
- Johnsen, Stig O og Mona Veen (2013): "Risk assessment and resilience of critical communication infrastructure in railways." *Cognition, Technology & Work* Vol. 15 No. 1, s. 95-107.
- Jørgenrud, Marius (2010): "Tog-nodnettet har ingen redundans." TU Media <https://www.digi.no/artikler/tog-nodnettet-har-ingen-redundans/199151>
- Kirknes, Leif Martin og Michael Oreld (2013): "GSM-R gikk ned for telling." Computerworld <https://www.cw.no/artikkel/telekom/gsm-r-gikk-ned-telling>
- Knudsen, Ulf Erik og Torild Skogsholm (2002): *Skriftlig spørsmål fra Ulf Erik Knudsen (FrP) til samferdselsministeren*. Dokument 15:54 (2002-2003), Oslo: Stortinget. <https://stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Sporsmal/Skriftlige-sporsmal-og-svar/Skriftlig-sporsmal/?qid=25513>
- Kvistad, Øystein (2002): "NSB vil ha eget GSM-nett til 1,2 milliarder." TU Media <https://www.digi.no/artikler/nsb-vil-ha-egget-gsm-nett-til-1-2-milliarder/297790>
- Kvistad, Øystein og Einar Ryvarden (2003): "Vi trenger ikke to lukkede GSM-nett." TU Media <https://www.digi.no/artikler/vi-trenger-ikke-to-lukkede-gsm-nett/214426>
- Laroche, Florent og Laurent Guihéry (2013): "European Rail Traffic Management System (ERTMS): Supporting competition on the European rail network?" *Research in Transportation Business & Management* Vol. 6, s. 81-87.
- Lium, Arnt-Gunnar og Adrian Werner (2013): *Hvordan gjennomføres togledelse i Norge? Status 2012*. Trondheim: SINTEF Teknologi og samfunn.
- Norsk Telegrambyrå (2002): "Opposisjonen overstyrer regjeringen for tryggere tog." TU Media <https://www.digi.no/artikler/opposisjonen-overstyrer-regjeringen-for-tryggere-tog/216098>
- NOU 2000:30 (2000): *Åsta-ulykken, 4. januar 2000 : hovedrapport : rapport fra undersøkelseskommisjon oppnevnt ved kongelig resolusjon 7. januar 2000 : avgitt til Justis- og politidepartementet 6. november 2000*. Oslo: Statens forvaltningstjeneste, Informasjonsforvaltning.
- Olsson, Nils m. fl. (2015): *Punktlighet i jernbanen : hvert sekund teller*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Ryvarden, Einar (2002a): "FrP: - NSBs GSM-plan er stormannsgalskap." TU Media <https://www.digi.no/artikler/frp-nsbs-gsm-plan-er-stormannsgalskap/211736>
- Ryvarden, Einar (2002b): "Rister på hodet over Jernbaneverkets GSM-nett." TU Media <https://www.digi.no/artikler/rister-pa-hodet-over-jernbaneverkets-gsm-nett/211732>

- Samset, Knut (2016): *Mulighetsrommet. Utgangspunktet for et godt konseptvalg*. Trondheim: NTNU Concept.
- Solberg, Bjørn Olav (1995): "Train radio system for Norwegian State Railways." *Teletronikk* No. 4, s. 73-81. [https://www.telenor.com/wp-content/uploads/2012/05/T95\\_4.pdf](https://www.telenor.com/wp-content/uploads/2012/05/T95_4.pdf)
- St.meld. nr. 39 (1996-97) (1997): *Norsk jernbaneplan 1998-2007*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.meld. nr. 46 (1999-2000) (1999): *Nasjonal transportplan 2002-2011*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.meld. nr. 49 (2002-2003) (2003): *Breiband for kunnskap og vekst*. Stortingsmelding Oslo: Nærings- og handelsdepartementet.
- <http://www.regjeringen.no/nn/dep/nhd/Dokument/proposisjonar-og-meldingar/stortingsmeldingar/20022003/stmeld-nr-49-2002-2003-.html?id=197309>
- St.prp. nr. 1 (2001-2002) (2001): *Statsbudsjettet 2002. SD*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.prp. nr. 1 (2003-2004) (2003): *Statsbudsjettet 2004. SD*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.prp. nr. 1 (2004-2005) (2004): *Statsbudsjettet 2005. SD*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.prp. nr. 1 (2005-2006) (2005): *Statsbudsjettet 2006. SD*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.prp. nr. 1 (2006-2007) (2006): *Statsbudsjettet 2007. SD*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.prp. nr. 1 (2007-2008) (2007): *Statsbudsjettet 2008. SD*. Oslo: Samferdselsdepartementet.
- St.prp. nr. 65 (2002-2003) (2003): *Tilleggsbevilgninger og omprioriteringer i statsbudsjettet medregnet folketrygden 2003*. Oslo: Finansdepartementet.
- Statens havarikommisjon for transport (2011): *Rapport om jernbaneulykke med vognstamme i utilsiktet drift fra Alnabru til Sydhavna 24. mars 2010*. [AIBN] Rapport JB 2011/03, Lillestrøm: Statens havarikommisjon for transport. <https://www.aibn.no/Jernbane/Avgitte-rapporter/2011-03>
- Statens havarikommisjon for transport (2013): *Rapport om alvorlige jernbanehendelse hovedbanen Oslo S 27. februar 2012, tog 2810*. [AIBN] Rapport JB 2013/03, Lillestrøm: Statens havarikommisjon for transport. <https://www.aibn.no/Jernbane/Rapporter/2013-03>
- Statens jernbanetilsyn (2019): "Risikobiletet i Norge - historikk." <https://www.sjt.no/jernbane/statistikk/risikobiletet-i-norge/>
- Sveinbjørnsson, Sigvald og Marius Jørgenrud (2013): "Tog-nødnett klappet sammen." TU Media <https://www.digi.no/artikler/tog-nodnett-klappet-sammen/289792>
- Terramar (2003): *Kvalitetssikring av prosjekt GSM-R*. Oslo: Terramar.
- Trafikverket, Transportstyrelsen, PTS, Hi3G, Tele2, Telenor, TeliaSonera og ASTOC (2013): *Coexistence between GSM-R and 3G / 4G-systems in the 900 MHz frequency band - Swedish view*. TRV 2013/13976, Stockholm: Trafikverket.
- UIC (2007): *EIRENE MoU and AoI*. Paris: UIC.
- UIC (2009): "ERTMS implementation." <https://uic.org/rail-system/ertms/ERTMS-Implementation>
- UIC ([2016]): "GSM-R." <https://uic.org/rail-system/gsm-r/>
- UIC ([2018]): "FRMCS." UIC <https://uic.org/rail-system/frmcs/>
- Volden, Gro Holst og Knut Samset (2013): *Etterevaluering av statlige investeringsprosjekter: konklusjoner, erfaringer og råd basert på pilotevaluering av fire prosjekter*. Trondheim: NTNU Concept.
- Vosman, Quintus (2017): "Dutch freight operators rail against ERTMS." *International Railway Journal* No. November, s. 42-43.
- Welde, Morten, Knut Fredrik Samset, Bjørn Sørskot Andersen og Kjell Austeng (2014): *Lav prising – store valg. En studie av underestimert kostnader i prosjekters tidlige fase*. Trondheim: Ex ante akademisk forlag.

Zachariassen, Espen (2015): "Full dekning på toget kan koste 1,5 milliarder." TU Media  
<https://www.digi.no/artikler/full-dekning-pa-toget-kan-koste-1-5-milliarder/217728>



Teknologi for et bedre samfunn  
[www.sintef.no](http://www.sintef.no)