



Foto: Øystein Grue

Konseptvalgutredning for bedre utnyttelse av ERTMS – Automatisk togfremføring (ATO)

Forord

Samferdselsdepartementet har i supplerende tildelingsbrev 3/2022 gitt Jernbanedirektoratet i oppdrag å gjennomføre en konseptvalgutredning for bedre utnyttelse av ERTMS – Automatisk togfremføring (ATO). Hensikten med utredningen er å gi departementet et grunnlag for å beslutte om, og i så fall hvilke, automatiske togfremføringskonsepter som er egnet i Norge.

Arbeidet med konseptvalgutredningen er gjennomført i samarbeid med Bane NOR. Bane NOR har hatt ansvar for å definere alternativ og utrede egenskapene ved disse, mens Jernbanedirektoratet har hatt ansvar for å definere mål og rammebetingelser, gjennomføre den samfunnsøkonomiske analysen av alternativene og gi en anbefaling basert på grunnlaget. Anbefalingen er omforent.

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

Jernbanedirektoratet 18.9 2023

Sammendrag

Innføring av nytt signalsystem pågår, og gir mulighet for utvikling av togdriften gjennom automasjon

Strekningsvis implementering av det nye felles-europeiske signalsystemet ERTMS (European Rail Traffic Management System) pågår, og i perioden frem til 2034 skal alle signalanleggene på jernbanenettet byttes ut. Innføringen av ERTMS gir muligheter for å videreutvikle togdriften gjennom automatisering.

Automatisering kan gi gevinster i form av alt fra økt kapasitet til reduserte driftskostnader.

Samferdselsdepartementet har gitt Jernbanedirektoratet i oppdrag å gjennomføre en konseptvalgutredning (KVU) for bedre utnyttelse av ERTMS – Automatisk togfremføring (ATO). Hensikten med utredningen er å gi departementet et grunnlag for å beslutte om, og i så fall hvilke, automatiske togfremføringskonsepter som er egnet i Norge.

Mer jernbane for pengene ved en *bedre utnyttelse av ERTMS-investeringen* er utgangspunktet for utredningen. ERTMS omtales ofte som et første trinn i en teknologisk utvikling. En videre utnyttelse av denne investeringen gjennom automatisering, har vært omtalt og drøftet, men ikke i en helhetlig analyse der formålet er å komme fram til et konseptuelt valg for videre utvikling.

Hvilke problemer kan automatisering bidra til å løse, og hvorfor gjøres denne utredningen nå?

- *Dagens jernbaneinfrastruktur har kapasitetsutfordringer.* I likhet med mange andre land, er jernbanenettet preget av høy kapasitetsutnyttelse og kjente kapasitetsutfordringer, særlig i bynære områder. Dagens kapasitet gir lite rom for videre tilbudsutvikling. I lys av disse utfordringene er det fornuftig å undersøke om automatisk togframføring kan gi kapasitetsgevinster for jernbanesystemet i Norge.
- *Dagens jernbanetilbud har punktlighetsutfordringer.* For reisende og aktører med behov for godstransport på bane, vil løsninger som bidrar til økt punktlighet være et relevant tema der videre analyser kan avdekke mulige forbedringer som følger av automatisering.
- *Det er for høye klimagassutslipp og for høy energibruk i transportsektoren.* Transportsektoren har en felles utfordring med å redusere utslipp og energiforbruk. Det skal undersøkes om automatisering kan bidra til å redusere energibruk ved togframføring.
- *Økt trafikk og digitalisering gir økt risiko for ulykker/cyberangrep:* Digitalisering og økt aktivitet på og nær jernbanen kan påvirke sikkerheten. Endring i risikobildet gjør det nødvendig med kontinuerlig arbeid for å opprettholde og forbedre sikkerhetsnivået. Sikkerhetsaspektet omfatter både ordinær trafikk og transportsystemets sårbarhet i forhold til uønskede hendelser.
- *Uten et helhetlig grep kan ERTMS og automatisering innføres ukoordinert:* Det foreligger ingen helhetlig strategi for hvordan automatisering kan tas i bruk i jernbanesektoren. Dette øker risikoen for at ERTMS og automatiseringsløsninger innføres ukoordinert, eller at mulige gevinster av ERTMS ikke blir realisert.

Den geografiske dimensjonen har også betydning; problemer på tett trafikkerte strekninger inn mot og i byområder gir et annet utgangspunkt enn trafikk på lengre distanser gjennom mindre tilgjengelige områder.

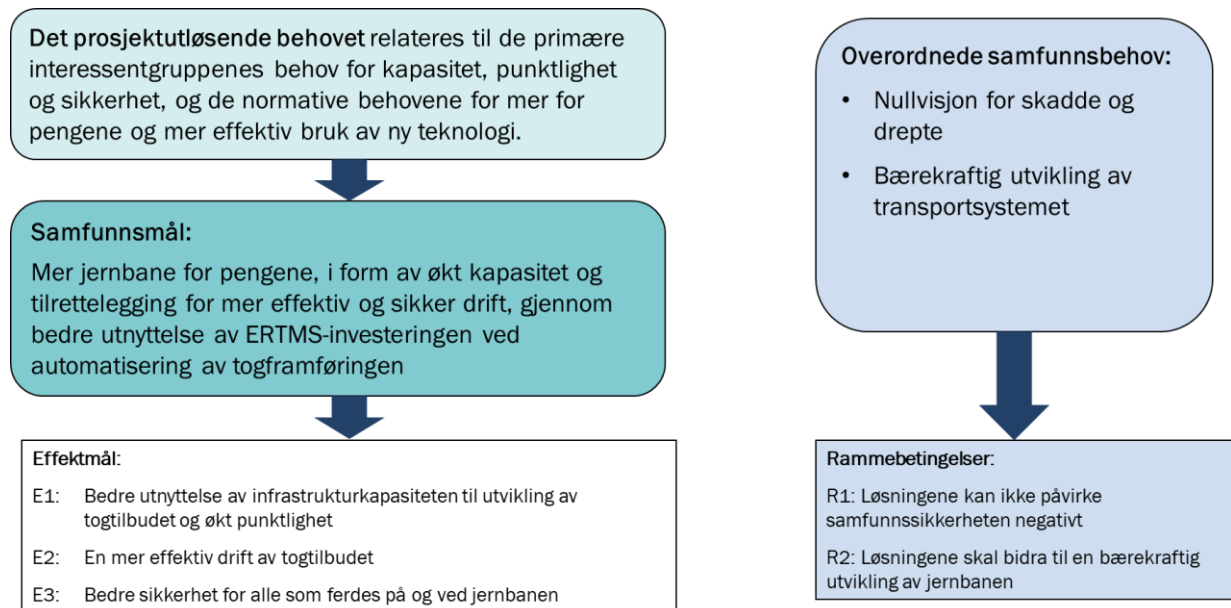
Behov for et bedre tilbud og en bedre utnyttelse av en vedtatt investering

I behovsanalysen er normative, etterspørselsbaserte og operasjonelle behov gjennomgått. Det *prosjektutlæsende behovet* relateres til de primære interessentgruppenes behov for kapasitet, punktlighet og sikkerhet, og de normative behovene for mer for pengene og mer effektiv bruk av ny teknologi.

Samfunns målet som er fastsatt for utredningen er: ***Mer jernbane for pengene, i form av økt kapasitet og tilrettelegging for mer effektiv og sikker drift, gjennom bedre utnyttelse av ERTMS-investeringen ved automatisering av togframføringen.***

Effekt målene er rettet mot bedre utnyttelse av infrastrukturkapasitet for å kunne utvikle togtilbudet og forbedre punktligheten, effektivitetsgevinster i driften av togtilbudet, og sikkerheten til alle som ferdes på

og ved jernbanen. Viktige rammebetingelser gis av samfunnets behov for samfunnssikkerhet og en bærekraftig utvikling.



Følgende alternativer er undersøkt:

Nullalternativet: Tilsvare referansesituasjonen for NTP 2025-2036, og forutsetter at ERTMS nivå 2 er utbygget i hele landet.

A: Førerstøtte: Alternativet inneholder løsninger for førerstøtte som er digitale og i sanntid, men som ikke innebærer at toget er selvkjørende. Overgangen fra nullalternativet innebærer en innføring av automasjon rundt toget og sanntidsinformasjon til fører, slik at fører gis de samme forutsetningene som et selvkjørende tog.

B: Selvkjørende tog: Konseptet innebærer at toget kjører automatisk mellom stoppesteder, men det er en fører til stede som setter i gang og overvåker den automatiske kjøringen. Ansvaret for sikkerheten i togframføringen ligger fortsatt hos fører som i dag. Konseptet vil vise effekten av å innføre ATO på dagens ERTMS løsning, og hvilken kostnad dette vil ha.

C: Førerløse tog helt eller delvis uten ombordpersonell: I alternativet utnyttes ATO-teknologiens øverste nivåer, der toget er selvkjørende og det tekniske systemet har overtatt ansvaret for togframføringen. Konseptet inneholder flere tilleggssystemer utover ATO for å sørge for at sikkerheten er ivaretatt. Dette omfatter også elementer med langt lavere modenhet enn de foregående, og har forutsatt egne risikovurderinger.

Virkningene for samfunnet av teknologiske prosjekter er krevende å identifisere med dagens verktøy, som i stor grad er rettet mot infrastrukturtiltak. Virkningene av alternativ A-C er summen av en rekke mindre forbedringer, der det ikke har vært mulig å kartlegge i alle i denne utredningen, men der det er lagt vekt på å kartlegge noen sentrale egenskaper i tråd med effektmålene.

Oppsummering av egenskaper ved alternativene:

	0	A	B	C
Tiltak	ERTMS Nivå 2	Signalteknisk infrastruktur for ATO C-DAS	Signalteknisk infrastruktur for ATO ATO Ombord-utrustning	Signalteknisk infrastruktur for ATO ATO Ombord-utrustning Sikkerhetstiltak
Persontog: Endring i forsinkelser i rush, basert på simulering i Østlandsområdet	Gj.snitt 1,19 min	-17 prosent	-19 prosent	-23 prosent ¹
Endring i forsinkelser utenfor rush, basert på simulering i Østlandsområdet	Gj.snitt 1,08 min	-22 prosent	-24 prosent	-27 prosent ¹
Endring i forsinkelser i rush, basert på simulering Trondheim - Grong	Gj.snitt 0,76 min	-14 prosent	-2 prosent ²	<i>Ikke simulert</i>
Endring i forsinkelser utenfor rush, basert på simulering Trondheim - Grong	Gj.snitt 0,71 min	-19 prosent	-8 prosent ²	<i>Ikke simulert</i>
Godstog: Endring i forsinkelser over døgnet (hele simuleringsområdet)	Gj.snitt 0,48 min	-27 prosent	-13 prosent ²	-33 prosent ¹
Simulert reduksjon i energibruk ved energioptimal kjøring	Lokaltog	-	0 prosent	0 prosent ¹
	Regiontog	-	-1 prosent	-2 prosent ¹
	Fjerntog	-	-2 prosent	-2 prosent ³
	Godstog	-	-3 prosent	-2 prosent ³
Modenhet	Under bygging	Høy Levers som proprietære løsninger i dag	Middels Finnes som proprietære løsninger i dag	Lav Finnes som proprietære løsninger, men kun på lukkede strekninger. Krever modning av sikkerhetsløsninger
Basisestimat	-	1 050	2 050	29 750
Forventningsverdi (~P50)	-	1 100	2 300	34 300

Alternativene bidrar positivt til måloppnåelse, men er ikke tilstrekkelig til å løse problemene

¹ Bare simulert for strekningen Oslo – Ski.

² Resultatene fra simuleringene på Nordlandsbanen gav et uventet resultat. Simuleringene viser at reduksjonen i forsinkelser er mindre i alternativ B sammenliknet med alternativ A. Dette skyldes antakelig at referanseruteplan medfører noen begrensninger for ATO på enkeltspor, og utilsiktet begrenser ytelsen til alternativ B her. Dette kan anses både som en reell risiko i overgang til ATO og en simuleringsrelatert problemstilling. Problemstillingen bør løses ved optimalisering av rutemodellen, som også ville løst et lignende problem i virkeligheten.

³ Verdien er anslått, ikke simulert.

Alle alternativene bidrar positivt til måloppnåelse, men alternativene er ikke alene i stand til å løse utfordringene jernbanesystemet står overfor i form av kapasitetsutfordringer og lav punktlighet. Alternativene bidrar til en viss grad til reduserte forsinkelser, men fjerner ikke problemet, og gir ikke i vesentlig grad mulighet for ny tilbudsutvikling. Selv om automatisering kan bidra til redusert slitasje og energibruk, vil behovet for å følge ruteplanen redusere potensialet for effektivitetsgevinster. Dette til tross, automatisering vil gjøre det mulig å oppnå lik kjøring med vekt på de parameterne som prioriteres, så dersom ruteplanen tillater det vil redusert energibruk være mulig. Den største gevinsten for effektivisering er muligheten for førerløs kjøring som alternativ C representerer. All automatisering vil innebære et økt sikkerhetsnivå, men opplevd sikkerhet kan bli redusert i alternativ C, der en fører er fraværende, og der det på enkelte strekninger vil være mulig å kjøre uten ombordpersonell. Alle tiltakene som er lagt inn i alternativ C for å sikre spor og stoppesteder bidrar vesentlig til reduksjon i risiko for uønskede hendelser, men tiltakene medfører en tilsvarende vesentlig kostnadsøkning.

Samfunnsøkonomisk vurdering av alternativene

Det er gjort to samfunnsøkonomiske beregninger for hvert av alternativene, en der løsningen benyttes for å redusere energibruk, en der løsningen brukes til å redusere tidsbruk til togfremføring. Av de vurderte alternativene er det kun alternativet med førerstøtte innrettet mot å øke kapasiteten som gir en positiv netto nåverdi, og følgelig er en samfunnsøkonomisk lønnsom investering.

Det anbefales et konseptvalg for Alternativ A: Førerstøtte

Alternativ A: Førerstøtte, er beregnet til å være en samfunnsøkonomisk lønnsom investering, dersom løsningen implementeres med formål å redusere kjøretiden. Løsningen vil bidra til å nå det fastsatte samfunnsmålet om mer jernbane for pengene gjennom en bedre utnyttelse av ERTMS-investeringen.

Vi anbefaler et konseptvalg som tar utgangspunkt i alternativ A, der det etableres en sentral signalteknisk løsning for ATO, som kan videreformidle sanntidsinformasjon for førerveiledning i tog.

Alternativ A vil også være et første trinn i utviklingen mot en løsning der ATO tas i bruk på det norske jernbanenettet. Alternativet har den laveste investeringskostnaden, og løsningen lar seg skalere ved at investeringen i ombordutrustning i tog kan tas over tid, og innebærer dermed mindre risiko enn alternativ B og C. Ombordutstyret som alternativ A baserer seg på, er også på vei inn i nytt togmateriell gjennom anskaffelse av nye lokaltog, og vurderes som del av anskaffelsen for nye fjerntog.

Det anbefales at oppstart av forprosjektfase avventer videre utbygging av ERTMS

Alternativ A forutsetter ERTMS, og det er mulige gevinster av å se de to prosjektene i sammenheng. Nasjonal signalplan, som detaljerer videre utbygging av ERTMS, er under revisjon. Vi anbefaler at et forprosjekt for Alternativ A Førerstøtte, først settes i gang når en revidert signalplan foreligger, og utbygging av ERTMS er kommet lengre. En senere oppstart vil gi tid til å utvikle mer kunnskap og gi større mulighet for å fastlegge en kostnadseffektiv tidsplan for gjennomføring.

Vi anbefaler at Jernbanedirektoratet gjør en ny vurdering av om det er grunnlag for å vurdere tidspunkt for oppstart av forprosjekt, som del av det forberedende arbeidet til NTP 2029-2040.

<p>Rapporten er skrevet av:</p> <p>Jernbanedirektoratet; Cecilie Bjørlykke (PL), Ingar Østerby (ass.PL), Øyvind Sunde og Hanne Dybwik</p> <p>Bane NOR; Kjell Holter (PL), Hege Magnussen (PE). WSP har bistått Bane NOR i deler av prosjektet</p>	<p>Saksnummer</p> <p>202200907</p>
<p>Godkjent av:</p> <p>PE: Jan Frederik Geiner</p> <p>PA: Tatiana Klougman</p>	<p>Dokumentnummer</p> <p>202200907-26</p>
<p>Dato</p> <p>18.09. 2023</p>	<p>Versjon</p> <p>01</p>
<p>Endringslogg:</p>	<p>Prosjektnummer</p> <p>210118</p>

Innhold

1. Innledning	9
1.1 Bestilling.....	9
1.2 Organisering av arbeidet	9
1.3 ERTMS og ATO	10
2 Problembeskrivelse	14
2.1 Dagens jernbanetilbud gir liten restkapasitet.....	15
2.2 Dagens jernbanetilbud har for dårlig punktlighet	17
2.3 Redusere utslipp av klimagasser og øke energieffektiviteten i transportsektoren.....	20
2.4 Opprettholde sikkerheten på jernbane.....	21
2.5 Andre problemstillinger knyttet til ny teknologi	22
2.6 Oppsummering	23
3 Behovsanalyse	24
3.1 Normative behov.....	24
3.2 Etterspørselsbaserte behov	26
3.3 Operasjonelle behov.....	27
3.4 Behov, oppsummert	31
4 Strategiske mål	33
4.1 Samfunns mål.....	33
4.2 Effektmål og indikatorer	33
5 Rammebetingelser	38
5.1 Rammebetingelser utledet av mål.....	38
5.2 Oppsummering: Behov, mål og rammebetingelser.....	39
6 Mulighetsstudie	40
6.1 Formål og rammer	40
6.2 Tilnærming til undersøkelsen av mulighetsrommet	40
6.3 Kartlagte muligheter gjennom bruk av firetrinnsmetodikken	42
6.4 Utforming av konsepter for videre analyse.....	48
7 Alternativanalyse	50
7.1 Forutsetninger for analysen	51
7.2 Grunnlag for analysen	52
7.3 Gjennomgang av alternativene som analyseres.....	58
7.4 Vurdering av måloppnåelse	69
7.5 Vurdering av alternativene opp mot rammebetingelser	73
7.6 Samfunnsøkonomisk analyse.....	75
7.7 Oppsummering	82
7.8 Anbefaling	86
8 Føringer for forprosjektfasen	87
8.1 Innledning	87
8.2 Premisser for styringen av forprosjektfasen	87
8.3 Kontraksstrategi	88
8.4 Plan for arbeidet med å optimalisere samfunnsøkonomisk lønnsomhet.....	88
9 Referanser	89
10 Vedlegg	90
11 Ordliste	91

1. Innledning

1.1 Bestilling

Samferdselsdepartementet gav gjennom tildelingsbrevet datert 4. april 2022, Jernbanedirektoratet i oppdrag å gjennomføre en konseptvalgutredning for bedre utnyttelse av ERTMS – Automatisk togfremføring.

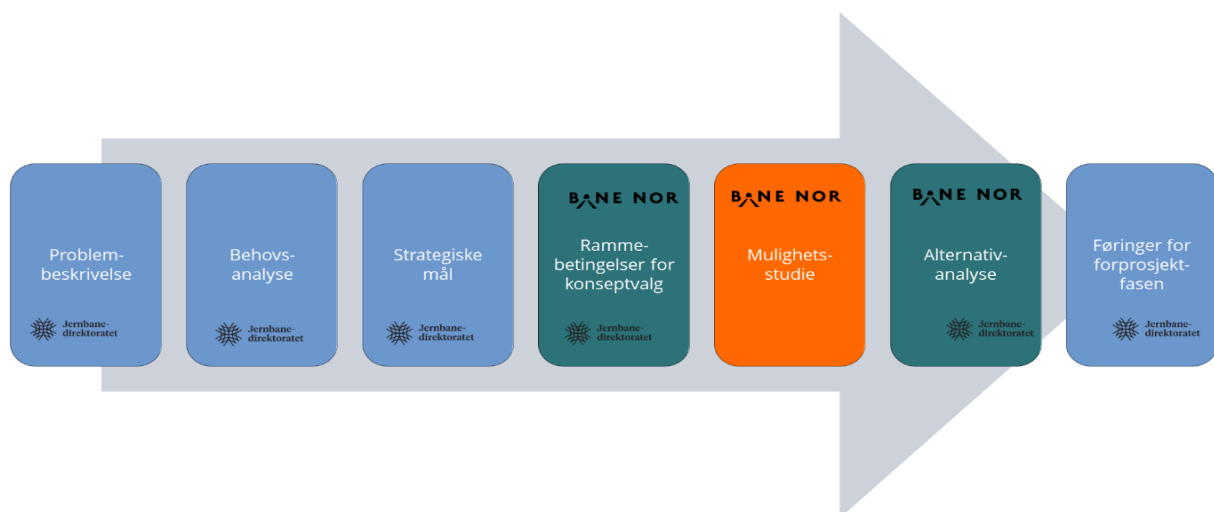
Innføring av ERTMS (European Rail Traffic Management System) er en omfattende og kostnadskreven oppgave, og investeringen etablerer en mulighet og et første trinn for ytterligere utnyttelse og digitalisering av signalsystemene. Hensikten med denne KVV-en er å gi et grunnlag for å beslutte om, og i så fall hvilke, automatiske togfremføringskonsepter som er egnet i Norge. Det skal vurderes nivå av automatisering, hvilke forutsetninger eller andre tilleggssystemer som bør på plass, hvilke kombinasjoner av tiltak som kan være aktuelle og hvilke strekninger som kan være aktuelle.

Gjennom tildelingsbrevet har SD gitt som føring at konseptvalgutredningen bl.a. skal inneholde:

- «En vurdering av muligheter for bedre utnyttelse av ERTMS-investeringene, herunder hvilke skritt som bør tas for å maksimere samfunnsøkonomisk nytte både av tidligere og ev. nye investeringer.
- En vurdering av om, og i så fall hvilke, automatisk togfremføringskonsepter som er egnet i Norge. Det skal vurderes nivå av automatisering og hvilke strekninger som kan være aktuelle.
- En vurdering av ulike kombinasjoner av ERTMS-nivå og ATO-nivå på ulike strekninger.
- En vurdering av kostnader, rekkefølge, effekter og andre konsekvenser for operatørene i et samfunnsøkonomisk perspektiv.
- En vurdering av tidsperspektiv for hvilke teknologier og nivåer av disse som kan være aktuelle. Teknologisk modenhet og nødvendig investeringer i infrastruktur og tog skal belyses og vurderes.
- En vurdering av hvorvidt det bør legges føringer for ansvars og kostnadsdeling mellom staten og togoperatørene som kommersielle aktører.
- En vurdering av mulighetene knyttet til satellittposisjonering av tog.»

1.2 Organisering av arbeidet

Arbeidet med konseptvalgutredningen er gjennomført i samarbeid med Bane NOR. Bane NOR har hatt ansvar for å identifisere og definere alternativ og utrede egenskapene ved disse (tekniske løsninger, kostnader og ytelse), mens Jernbanedirektoratet har hatt ansvar for å definere mål og rammebetingelser, gjennomføre den samfunnsøkonomiske analysen, anbefale konseptvalg og beskrive føringer for forprosjektfasen.



Figur 1-1 Ansvarsdeling mellom Jernbanedirektoratet og Bane NOR i arbeidet med KVV-en.

Hva er ERTMS?

Signalanleggene er nødvendig for å styre togtrafikken på en trygg og god måte. ERTMS, European Rail Traffic Management System, er betegnelsen på et standardisert databasert signalsystem som skal gi interoperabilitet for tog i Europa. Med ERTMS flyttes blant annet signalene fra jernbanesporet og inn på en skjerm i toget.

ERTMS innebærer:

- Ett system for hastighetsovervåking og signalering i hele Norge
- Felles europeiske trafikkregler
- Full overvåking av lokale hastighetsbegrensninger og signalpassering på alle banestrekninger

Nye ERTMS signalanlegg består av en rekke delsystemer. Noen av de viktigste er:

- Trafikkstyringssystem: Togleder styrer togtrafikken via trafikkstyringssystemet. Systemet har oversikt over alle togbevegelser og ber signalanlegget om stilling av togveier og signaler for tog i henhold til rutetabellen. Informasjon om togenes posisjon, retning, hastighet og lignende rapporteres fra signalanlegget og vises på togleders betjeningsplass
- Sikringsanlegg: Sikringsanlegget ivaretar at toget kan kjøre sikkert fram til neste sjekkpunkt. Sikringsanlegget styrer og overvåker objekter langs sporet kontinuerlig med hensyn til togveien og togets kjøretillatelse, og sørger blant annet for at sporveksler ligger i riktig stilling og at sporet er ledig for togets kjøring. En kjøretillatelse gir toget informasjon om at det kan kjøre fram til neste sjekkpunkt.
- Radioblokkcenter: Radioblokkcenteret er kommunikasjonssenteret for ERTMS og sender kjøretillatelser og signalering til togene, basert på informasjon fra trafikkstyringssystemet og sikringsanlegget. Samtidig innhenter radioblokkcenteret informasjon om alle tog innenfor sitt område og sender status tilbake til trafikkstyringssystemet og sikringsanlegget
- Ombordutrustning i kjøretøy: Alle kjøretøy som skal kjøre på det norske jernbanenettet må installere ERTMS datasystem for å ivareta sikker togframføring. Dette omfatter blant annet ERTMS-datamaskin, førerpanel (DMI) i togets førerrom og utstyr for å angi togets posisjon. Togradiosystemet GSM-R benyttes for formidling av data og tale mellom kjøretøy og infrastruktur.

1.3 ERTMS og ATO

1.3.1 Plan for innføring av ERTMS i Norge

Gjennom ERTMS-programmet er Bane NOR i ferd med å fornye alle signalanlegg i landet fra en blanding av over 20 forskjellige anleggstyper til ett felles nytt programvarebasert system for alle strekninger og stasjoner. Strekningsvis implementering av ERTMS pågår og de første strekningene er nå planlagt satt i drift i 2024.

Nasjonal signalplan viser planlagt år for ibruktaking av ERTMS på de forskjellige banestrekningene, og planen ble sist revidert i 2022. En ny revisjon av gjeldende Nasjonal signalplan er påbegynt og planlagt ferdigstilt høsten 2023. Dersom sentrale forutsetninger endres i program-perioden til ERTMS implementeringen, vil nasjonal signalplan gjennomgå nye revisjoner.

En eventuell innføring av infrastruktur for automatisk togframføring må koordineres med nasjonal signalplan. Automatisk togframføring forutsetter ERTMS, og tidspunktet for når det vil være aktuelt med en implementering vil være avhengig av tidsløpet som fastsettes gjennom nasjonal signalplan.

1.3.2 Hvordan påvirker ERTMS ytelsen til jernbanen?

ERTMS er et nytt signalsystem som erstatter mange gamle utdaterte installasjoner, og i tillegg vil antall komponenter ute i sporet reduseres. Dette vil gi reduksjon av antall signalfeil og redusert behov for korrektivt vedlikehold, som til sammen vil gi bedre oppetid og regularitet for jernbanen.

Alle parametere i signalsystemene som påvirker kapasiteten og ytelsen til infrastrukturen vil endres i større eller mindre grad ved innføring av ERTMS:

- Endring av førermiljø og informasjon til fører påvirker førers ytelse. Fører vil få mer informasjon og tidligere informasjon om restriksjoner på strekningen foran toget, som gir bedre mulighet for å planlegge og optimalisere kjøringen. I tillegg får fører informasjonen inn i et display (DMI) i førerrommet, i stedet for via lyssignaler ute med varierende siktførhold
- Endring av tekniske responstider som påvirker kjøretider
- Endring av funksjonalitet og regelverk påvirker hvordan infrastrukturen kan utformes og tog kan kjøres, blant annet endres bremsekurver, som vil påvirke kjøretider
- Etablering av samtidige togbevegelser på mange flere stasjoner enn i dag påvirker sikkerhetssoner og kryssingslengder på stasjoner, og kan gi kortere kjøretider og større fleksibilitet i trafikkavvikling
- Endring av driftsform og overvåkning. ERTMS medfører innføring av full overvåkning og fjernstyring på strekninger som i dag har delvis hastighetsovervåking (D-ATC) (ca. 65% av jernbanenettet) og strekninger med togmelding og togekspeditør (TXP) uten fjernstyring (ca. 25% av jernbanenettet). Dette øker sikkerheten, men kan også øke tidsbruken og redusere trafikkapasiteten

Noen av endringene ERTMS medfører vil gi noe økt trafikkapasitet på jernbanenettet, mens andre endringer vil føre til noe redusert kapasitet. Det er ikke gjort helhetlige analyser som konkluderer med total nettoeffekt for trafikkapasitet, men antakelig vil effekten variere noe over forskjellige banestrekninger. Bane NOR har ansvar for å prosjektere løsningen, slik at trafikkapasiteten som minimum er opprettholdt etter innføring av ERTMS.

I samarbeid med Bane NOR og Norconsult utarbeidet Jernbanedirektoratet rapporten «ERTMS – Mer jernbane for pengene (MJfP)» i 2019. Rapporten viser til at kapasiteten på jernbanenettet kan reduseres ved innføring av ERTMS nivå 2 grunnet en mer restriktiv overvåkning av togets hastighet, og at det bør vurderes kompensierende tiltak.

Utgangspunktet for innføring av automasjon er å erstatte manuelle aktiviteter med et teknisk system, med et mål om å utføre aktivitetene mer effektivt (både mht. tid og kost) og/eller utføre flere aktiviteter samtidig. Innføringen av ERTMS endrer mange av systemene som fører forholdet seg til for å framføre et tog, og påvirker derfor mange av arbeidsoppgavene og arbeidsmiljøet for føreren, som igjen vil påvirke ytelsen ved manuell framføring. Det er foreløpig ikke kartlagt nettoeffekten av disse endringene for fører. I forbindelse med denne KVVU-en er det utarbeidet en rapport (Vedlegg 02: Rapport fra arbeidet med førers tidsbidrag) hvor det er begynt å kartlegge de forskjellige aktivitetene en fører vil utføre med ERTMS.


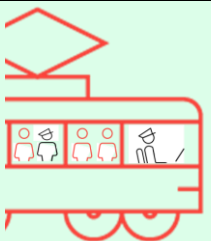


Hva er ATO?

Betegnelsen Automatisk togfremføring (ATO – Automatic Train Operation) benyttes for å beskrive en fremføringsmåte for tog, der datamaskiner erstatter førers oppgaver helt eller delvis. Sensorer og algoritmer benyttes for å kjøre tog automatisk og optimalisert, basert på sanntidsinformasjon fra blant annet trafikkstyringssystemer. Algoritmene benytter forskjellig informasjon om f.eks. togets posisjon, kjøretillatelse og hastighetsbegrensninger i infrastrukturen sammen med predefinerte kriterier for optimalisering av kjøringen til å finne en anbefalt hastighet. Omfanget av inngangsinformasjon vil variere i henhold til graden av automatisering.

Økt bruk av automatisering er en trend som er tydelig i samferdselssektoren. Mange andre sektorer har allerede vært gjennom tilsvarende overganger fra manuelle til automatiske operasjoner, som i kraft- og oljeproduksjon i energisektoren og monteringsroboter i produksjonsindustrien (automatisering – Store norske leksikon (snl.no)). Samferdsel og jernbane har allerede automatisert mye innenfor trafikkstyring og kundeinformasjon.

ATO som system ble først tatt i bruk på metroen i London i 1969 (Victoria line), og er siden blitt benyttet på t-bane- og bybanesystemer verden rundt, men etter hvert i større grad utnyttet mer systematisk og strategisk med, f.eks. S-Bahn i Hamburg, og prosjekter som Stuttgart 21. Thameslink i London benytter ERTMS og ATO, og er på flere måter sammenlignbart med trafikkmønsteret rundt Oslo, med blandet trafikk av forskjellige kjøretøytyper, både gods og passasjertrafikk, og opp mot 24 tog i timen pr. retning.

Automatisering kategoriseres i fire ulike grader, benevnt som «Grade of Automation» (GoA 1-4). Grad av automasjon beskriver togframføringens avhengighet av datasystem eller fører, hvor GoA 4 er det mest avanserte nivået, der tog kjøres førerløst. Det laveste nivået (GoA 1) tilsvarer referansesituasjonen etter at ERTMS er bygget ut.

ATO - Grader av automatisering	
	GoA1 Ikke-automatisert Toget kjøres av lokfører som ivaretar alle operasjoner inkludert start, stopp, hastighetsendringer underveis og åpning og lukking av dører. Automatiseringen er kun knyttet til sikringen av at føreren ikke kan kjøre fortere enn maksimal tillatt hastighet, noe som ivaretas av ETCS (European Train Control System) som en del av ERTMS nivå 2 (European Rail Traffic Management System).
	GoA 2 Semi-automatisert Toget kjøres automatisk med ATO idet lokfører iverksetter ATO-funksjonen fra førerpanelet. Fører oppholder seg i førerrommet, overvåker den automatiske togfremføringen og har ansvaret for sikkerheten i togfremføringen. Det er også fører som har ansvaret for å åpne og lukke dørene i passasjertog.
	GoA 3: Førerløs Toget kjøres automatisk med ATO, inkludert start og stopp. En betjent åpner og lukker dørene og kan ta over styringen av toget ved behov (eksempelvis ved tekniske feil på toget). Betjenten sitter ikke nødvendigvis i førerrommet, og har heller ikke sikkerhetsansvar for togfremføringen. Derfor følger betjent heller ikke med på forholdene langs linja. Forhold knyttet til sikker togfremføring ivaretas av støttesystemer som ivaretar førers tidligere oppgaver og sikkerhetsansvar.
	GoA 4: Ubemannet Alle togfremføringsoperasjoner er automatisert. Det er hverken fører eller betjent om bord i toget. De oppgaver som tidligere ble ivaretatt av disse rollene ivaretas av støttesystemer, slik at sikkerheten i togfremføringen ivaretas.

1.3.3 Hvorfor undersøkes bruk av automatisk togframføring (ATO) på norsk jernbane?

Innføring av ERTMS på det norske jernbanenettet er en omfattende og ressurskrevende oppgave, men investeringen etablerer en digital grunnmur som gir mulighet for ytterligere utnyttelse av signalssystemene. Det er derfor gjennomført flere utredninger for å undersøke hvordan økt effekt kan oppnås gjennom å bygge videre fra det første trinnet, enten gjennom teknologiske løsninger eller fysiske tiltak.

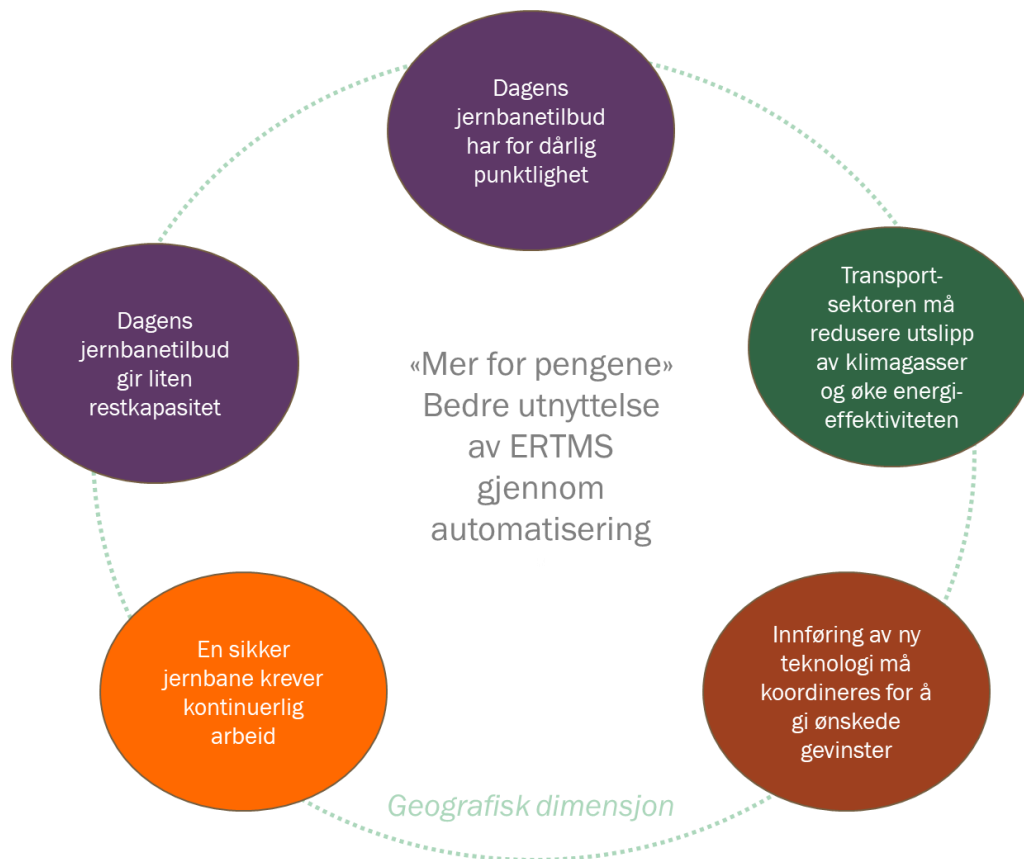
Rapporten «ERTMS – Mer jernbane for pengene (MJfP)» fra 2019, som peker på at kapasiteten på jernbanenettet kan reduseres ved innføring av ERTMS nivå 2, anbefaler å vurdere flere ulike muligheter for bedre utnyttelse av ERTMS videre. I rapporten er det gjennomgått mulige tiltak som kan tilføre ERTMS mer nytte. Noen av disse tiltakene er tatt inn i ERTMS-programmet, eksempelvis utbygging av samtidig innkjør på flere stasjoner, tettere signalering og sikring av planoverganger. Andre forhold er knyttet til omfanget av ERTMS, som f.eks. om også vende- og hensettingsanlegg skal ha ERTMS. Om dette gir økt nytte vil avhenge av stedlige forhold, og denne typen tiltak ble anbefalt lagt til detaljplanfasen. Tiltak som det anbefales å undersøke videre er spesielt i forhold til automatisering av togframføringen (ATO), støttesystemer for fører (DAS, Cruisekontroll) og videre investering i ERTMS med kortere blokkstrekninger (ERTMS hybridnivå 3 og nivå 3).

Bane NORs etterfølgende analyser viser at ATO og tettere signalering bør sees i en større sammenheng og som nye teknologisteg for videreutvikling av signalteknologien, sammen med utvikling av en ny landsdekkende rutemodell for å kunne effektivisere og bedre utnytte jernbaneinfrastrukturen.

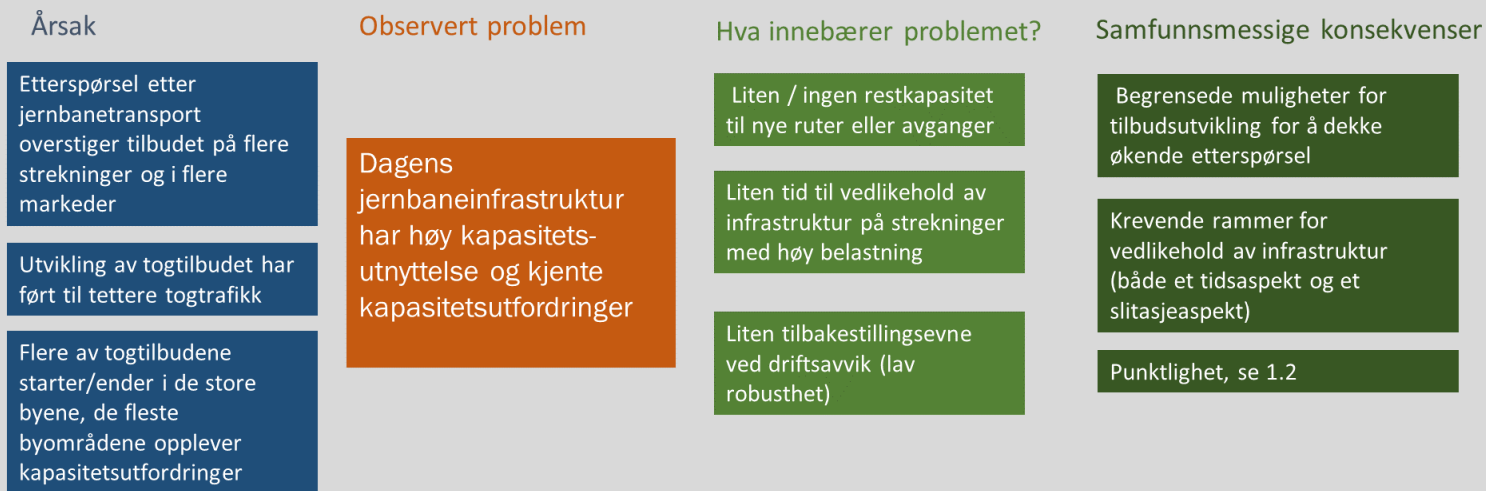
Erfaringer fra andre land mht. bruk av ATO-systemer viser at det blant annet kan muliggjøre økt kapasitet og redusert energibruk sammenlignet med førerbasert togframføring. Dette skyldes at automatisering gir færre manuelle operasjoner og fører til homogen kjøring ved å eliminere førers individuelle kjøremønstre. Automatisering av operasjoner og togframføring forventes også å gi andre effekter som kan gi mer effektiv drift togtilbudet, eller bidra til redusert slitasje på tog og infrastruktur.

2 Problembeskrivelse

Problemområdene som beskrives i kapitlet adresserer flere av de store utfordringene i dagens transportsystem og for dagens jernbanetilbud: Kapasitet til utvikling av tilbudet i tråd med etterspørselen, punktlighetsnivået på dagens tilbud, kostnader til utvikling, drift og vedlikehold, trafikksikkerhet og transportsystemets bidrag til den totale samfunnssikkerheten. Transportsektoren har også et ansvar i forhold til fastsatte mål for reduksjon av klimagassutslipp, og et kontinuerlig arbeid med å sikre mest mulig effektiv bruk av knappe felles energiresurser. I tillegg innebærer den raske teknologiutviklingen innenfor digitalisering og automatisering andre utfordringer knyttet til koordinering og effektiv utnyttelse av investeringer.



Figur 2-1 Oversikt over problemområder omtalt i problembeskrivelsen

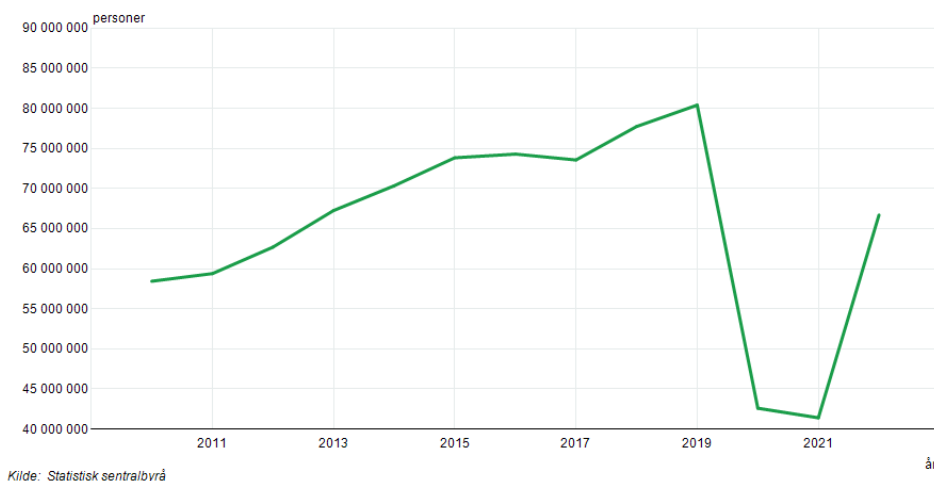


Figur 2-2 Illustrasjon av årsak – virkning for problemområdet «kapasitet»

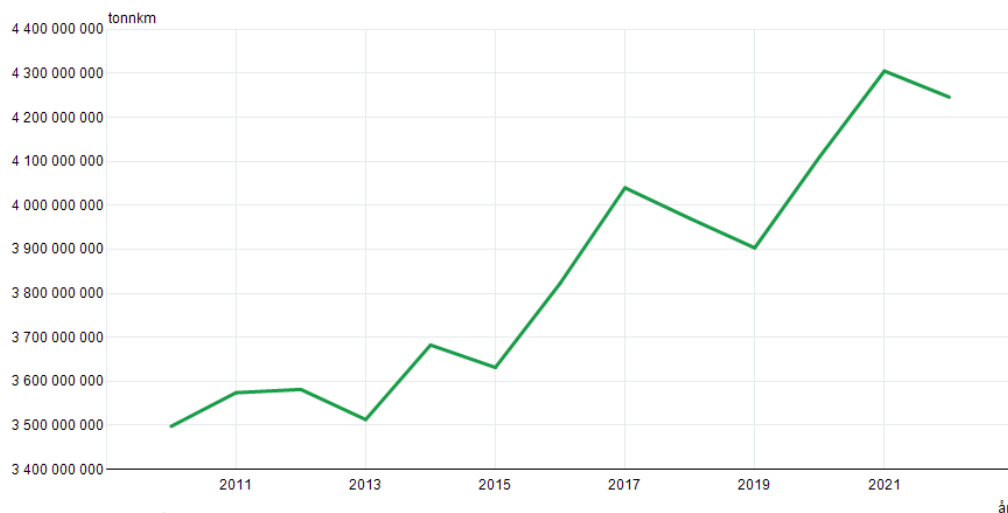
2.1 Dagens jernbanetilbud gir liten restkapasitet

2.1.1 Økende etterspørsel etter jernbanetransport, flere avganger og tett trafikk inn mot byene fører til kapasitetsutfordringer

Utviklingen i antall reisende med jernbanen de siste 10 årene har vært stor, og mellom 2007 og 2017 var det en vekst i antall reiser på 3,1 prosent hvert år. Den samme utviklingen kan en se også for godstransport på jernbane, med vekst i både transporterte tonn og tonnkilometer. I 2021 ble det kjørt ca. 11 prosent flere tonnkilometer sammenlignet med totalen for perioden 2018-2020.



Figur 2-3 Utvikling i antall passasjerer (påstigninger) Kilde: SSB



Kilde: Statistisk sentralbyrå

Figur 2-4 Utvikling i transportarbeid, godstransport Kilde: SSB

Økt etterspørsel etter jernbanetransport er møtt med en stadig utvikling av rutetilbudet. Dette legger press på kapasiteten på jernbanenettet, og flere strekninger er erklært for overbelastet. Kapasitetsutnyttelsen er særlig høy inn mot de store byene.

Prognosene for etterspørsel etter jernbanetransport viser en videre økning, særlig for godstransport og i enkelte markeder for persontransport.

2.1.2 Forventet utvikling ved innføring av ERTMS

Innføring av et nytt signalsystem vil ikke bidra til økt transportkapasitet. Effekten av et nytt signalsystem vil i hovedsak komme i form av bedret driftsstabilitet og et redusert behov for korrektivt vedlikehold.

2.1.3 Konsekvenser av høy kapasitetsutnyttelse

Høy kapasitetsutnyttelse gir liten restkapasitet, og dette har flere konsekvenser.

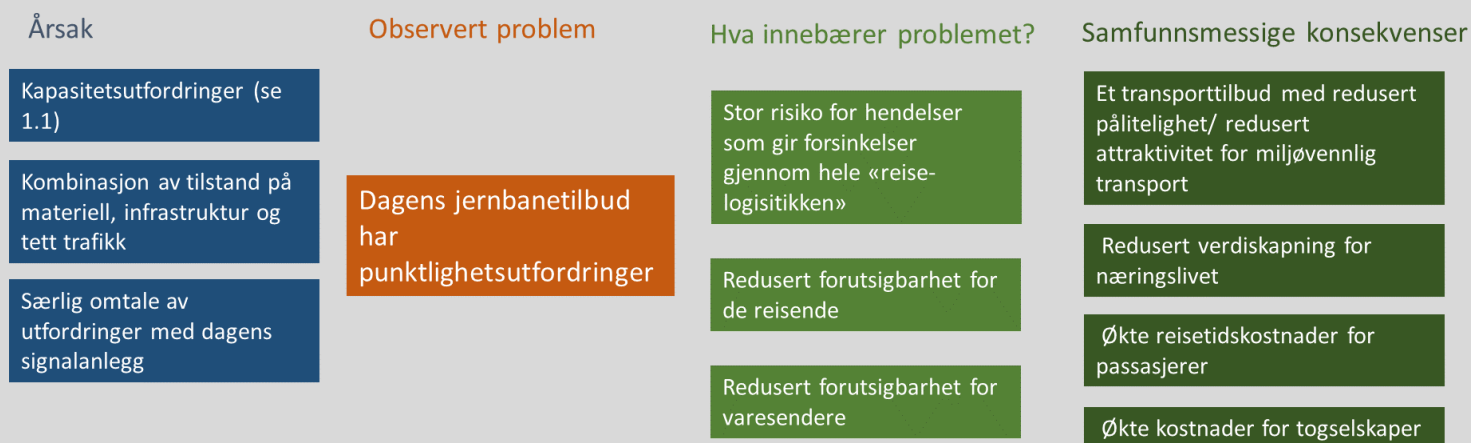
Økt togtrafikk sammen med klimaendringer fører til stor slitasje på infrastrukturen. Lite restkapasitet gir lite rom for vedlikehold av infrastrukturen. Samtidig gir høy kapasitetsutnyttelse også liten mulighet for videre tilbudsutvikling, uten at nye tilbud enten må gå på bekostning av eksisterende tilbud, eller få konsekvenser for framføringstid eller punktlighet.

Ved forstyrrelser i togtrafikken vil konsekvensene for trafikken ofte være særskilt store på strekninger med høy belastning, og det kan ta lang tid å tilbake stille til normalsituasjon, fordi de berørte togene tar med seg forsinkelsen til grenbaner de også trafikkerer.

Inn mot de store byområdene og gjennom byer som Oslo og Trondheim fører den pressede kapasitetsutnyttelsen til en krevende prioritering mellom godstrafikk og persontrafikk.

2.1.4 Utvikling over tid

Tett trafikk, økt slitasje på infrastrukturen og krevende rammer for vedlikehold påvirker punktligheten. Flere tiltak er under planlegging og gjennomføring, herunder ERTMS, som vil bidra til å redusere den negative utviklingen, men vil også medføre noen utfordringer for kapasiteten på enkelte strekninger. Andre forhold, som høy trafikkbelastning og klimapåkjenninger, forventes å vedvare eller styrkes over tid. Uten tiltak kan det også forventes at dagens situasjon med lite rom for tilbudsutvikling, og sterk konkurranse mellom ulike trafikktypene om kapasiteten, vil forverres.



Figur 2-5 Punktlighetsutfordringer, årsak og konsekvenser

2.2 Dagens jernbanetilbud har for dårlig punktlighet

2.2.1 Kapasitetsutfordringer og tilstanden på infrastruktur og materiell fører til dårlig punktlighet

Innenfor dette problemområdet ser vi både på punktlighet og på regularitet.

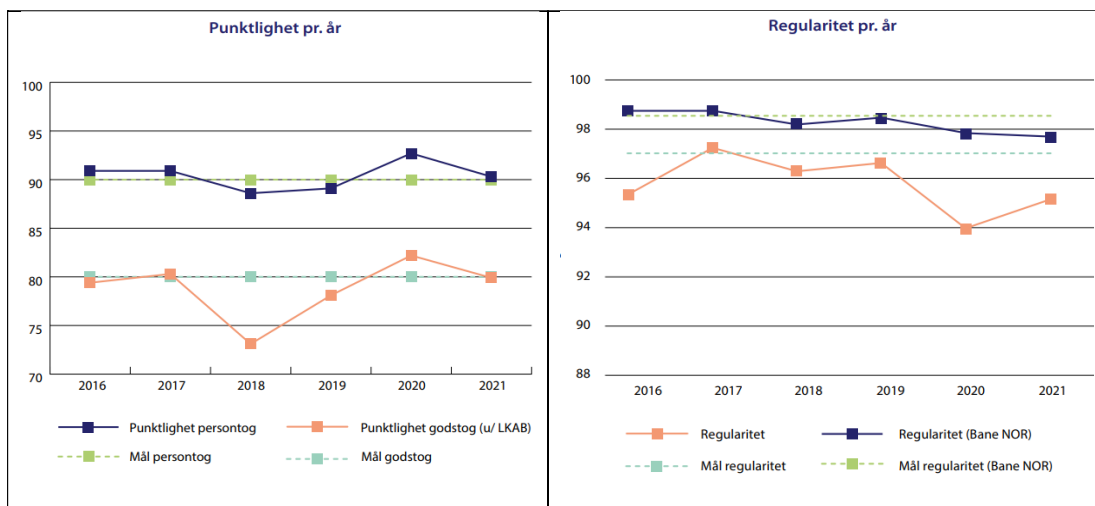
Punktlighet for persontog er definert som andelen tog som ankommer endestasjonen og Oslo S innenfor en margin på 03:59 minutter. For langdistansetog, grenseoverskridende tog og godstog er marginen 05:59 minutter. Forsinkelser som er mindre enn 03:59 registreres ikke med årsak og rapporteres ikke.

Regularitet er et måltall for hvor stor andel avganger som har blitt kjørt uten å være helt eller delvis innstilt. Innstillinger knyttet til planlagt arbeid er ikke inkludert i regulariteten.

Saktekjøringer på kritiske strekninger grunnet infrastrukturforhold, begrensninger grunnet arbeider og prosjekter, og akutte infrastrukturhendelser gir store konsekvenser for togtrafikken. Den viktigste grunnårsaken for forsinkelser i togtrafikken er feil i infrastrukturen, herunder signalfeil. For persontog er også feil på materiell en viktig årsak til forsinkelser.

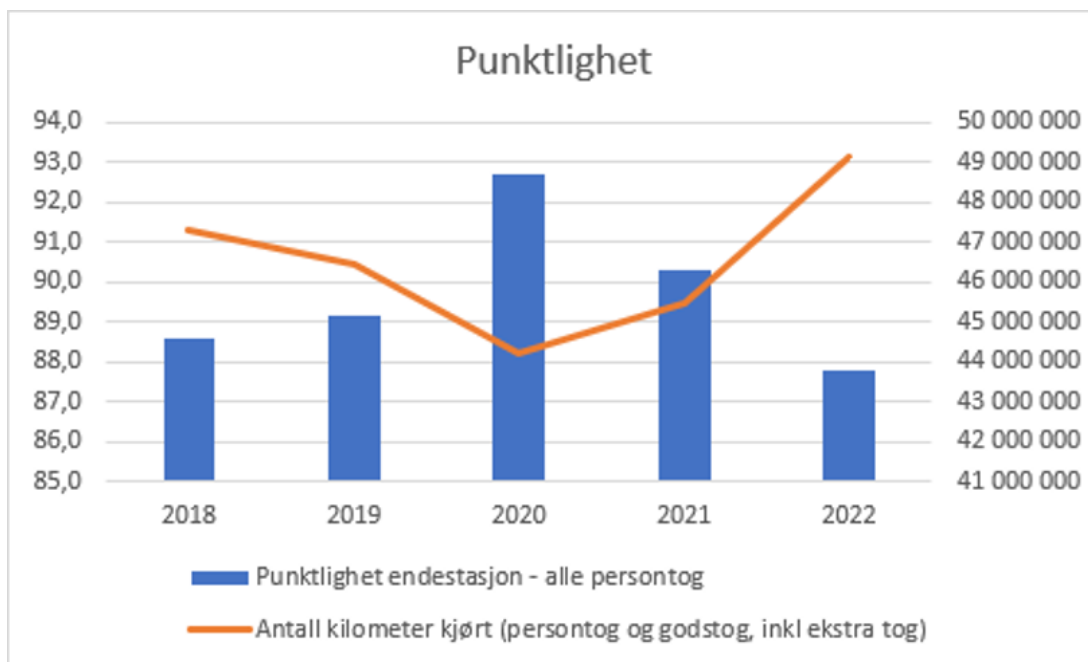
De fleste innstillinger av tog skjer som følge av planlagte vedlikeholdsarbeider. Ser vi bort fra de planlagte innstillingene, er feil på sikrings- og signalanlegg den viktigste årsaken til innstillinger.

Tall for punktlighet og regularitet siden etableringen av Bane NOR i 2017, viser at det er utfordrende å nå målsetningene på disse områdene



Figur 2-6: Punktlighet og regularitet for persontog og godstog 2016-2021. Regularitet viser kun de innstillingene Bane NOR er ansvarlige for. Kilde: Bane NOR

Regularitet og punktlighet må imidlertid også ses i sammenheng med kapasitetsutfordringene beskrevet i 2.1. Høy utnyttelse av infrastrukturen gir lite kapasitet tilgjengelig for å skape marginer i ruteplan. Dette medfører stor sårbarhet for forsinkelser, og for at forsinkelsene forplanter seg fra ett tog til neste og gir følgeforsinkelser. Figur 3 under viser også sammenhengen mellom kapasitet (en indirekte konsekvens av kjørte tonnkilometer) og punktlighet.



Figur 2-7: De blå søylene viser punktlighet for alle persontog i prosent (venstre tallstolpe) pr. år siden 2018. Den oransje linjen viser hvor mange transportkilometer som ble kjørt i de samme årene (høyre tallstolpe).

2.2.2 Forventet utvikling i punktlighet og regularitet ved innføring av ERTMS

Innføringen av ERTMS og utskifting av alle signalanlegg forventes å gi en stor forbedring for antall forsinkelsestimer som er forårsaket av feil i signalanleggene, mens forsinkelser fra andre feilkilder i infrastrukturen antakelig ikke vil påvirkes. Samtidig innfører ERTMS et strengere overvåkningsregime som

gir mindre mulighet for det enkelte tog å hente inn forsinkelse underveis, noe som vil øke risikoen for følgeforsinkelse.

2.2.3 Konsekvenser av dårlig punktlighet og regularitet

Dårlig regularitet og punktlighet gir redusert pålitelighet. En togavgang som blir innstilt eller ikke går etter planen gir en vesentlig ulempe for passasjerer og vareeiere. Dette vil gi et nyttetap, både for de passasjerene og vareeierne det gjelder, og for samfunnet som helhet. Jernbanedirektoratets kundetilfredsindeks for første halvdel av 2022 viser at selv om de fleste reisende med persontog er godt fornøyde med togtilbudet, er forsinkelser den viktigste årsaken i de tilfellene der det er problemer/lav tilfredshet knyttet til reisen.

2.2.4 Utvikling over tid

Redusert punktlighet og regularitet vil over tid kunne påvirke reisevaner og transportmiddelfordeling.

Innføring av ERTMS forventes å gi færre forsinkelsestimer, men kan øke risikoen for følgeforsinkelser. Andre forhold som gir kapasitetsutfordringer og feil i andre deler av infrastrukturen vil trolig vedvare eller styrkes over tid.

Årsak	Observert problem	Hva innebærer problemet?	Samfunnsmessige konsekvenser
<p>Observerte klimaendringer og fastsatte klimamål med strenge krav til reduksjon av utslipp fra transportsektoren</p> <p>Økende forbruk av energi, og knappe energiresurser</p>	<p>Det er for høye klimagassutslipp og for høy energibruk i transportsektoren</p>	<p>Økt konkurranse om knappe energiresurser, økte energipriser</p> <p>Overgang til et lavutslippssamfunn krever økt bruk av klimavennlige transportløsninger</p>	<p>Økte transportkostnader og behov for energiøkonomisering</p> <p>Behov for tilbudsutvikling, ref 1.1</p>

Figur 2-6 Transportsektoren har for høye klimagassutslipp og økende energibruk

2.3 Redusere utslipp av klimagasser og øke energieffektiviteten i transportsektoren

2.3.1 Utslipp og energibruk i transportsektoren må reduseres

For å begrense den globale temperaturstigningen i tråd med Parisavtalen må store utslippskutt på plass før 2030, og i 2050 skal vi være et lavutslippssamfunn. Det er dermed behov for en stor samfunnsomstilling i Norge og alle andre land i årene framover. Det er lave utslipp av CO₂ fra jernbanetransport, og utslippene har blitt redusert med 25 prosent fra 2010 til 2017 (SSB, 2019). Samtidig blir det fraktet flere passasjerer og mer gods på norske skinner enn noen gang. Dermed har utslippene av CO₂ pr. passasjerkilometer og tonnkilometer gått betydelig ned for jernbanetransporten siden 2010.

Det er innen veitransport at potensialet for utslippsreduksjon er særlig stort. Alternative løsninger for drivstoff og elektrifisering av vegtrafikken er de absolutt største bidragsyterne til reduksjon av klimagasser. Men omstillingen gir økt energibruk. Energi til transportbruk økte fra 43 TWh i 1990 til nesten 60 TWh i 2010 og gikk deretter ned til ca. 55 TWh i 2018 (NVE 2021, gjengitt i Menon, 2022). Til sammenligning ble det på fastlands-Norge brukt 235 TWh i 2018. Personbilene anslås å stå for over halvparten av denne etterspørselen, etterfulgt av varebiler, tog, båt og buss.

Elektrifiseringen i transportsektoren inngår altså i en større trend med økt strømforbruk, som vil føre til økte strømpriser (Menon 2019). Sett i lys av nyere erfaringer med samfunnets sårbarhet for energikostnader framstår energieffektivisering som en viktig samfunnsoppgave.

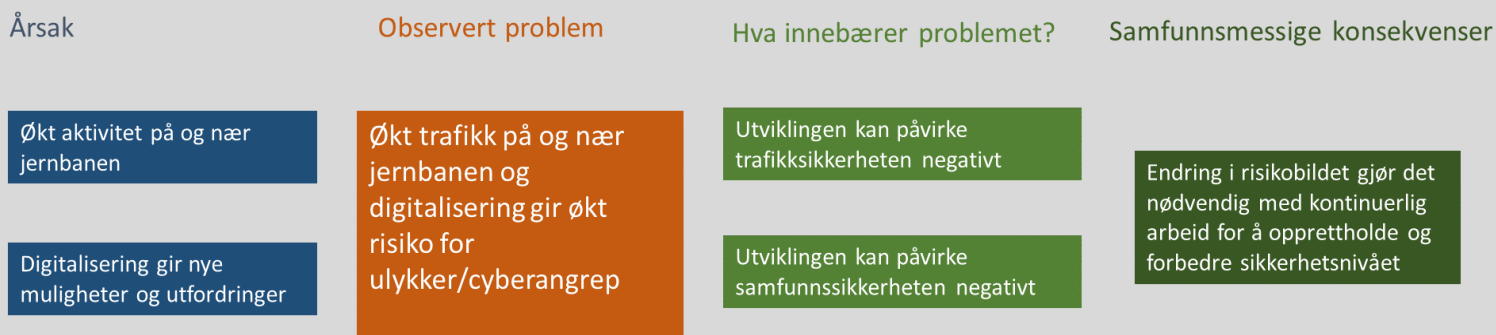
2.3.2 Konsekvenser av reduserte utslipp og energieffektivisering

Overgangen til et lavutslippssamfunn krever økt bruk av klimavennlige transportløsninger. Hovedbidraget fra jernbane til det grønne skiftet og reduksjon i utslipp av klimagasser kommer dermed fra selve transportarbeidet som gjøres på jernbanen. Det pågår en parallell KVVU som ser på mulighetene for å innføre klimanøytrale driftsformer også for den delen av jernbanenettet som ikke er elektrifisert. Et ytterligere bidrag til reduserte klimagassutslipp fra jernbanetransport må komme gjennom økt trafikkapasitet.

Økende energibruk over tid bidrar til økt konkurranse om energiresurser. Energisparing og energieffektivitet nødvendig for alle deler av samfunnet, også for jernbanetransport.

2.3.3 Utvikling over tid

NVE anslår at energibruk til transport vil reduseres til 40 TWh i 2040. Samtidig anslår NVE at strømforbruk for transport vil øke fra 1,2 TWh i 2018 til ca. 9 TWh i 2040.



Figur 2-7 Digitalisering og økt aktivitet på og nær jernbane gir økt risiko

2.4 Opprettholde sikkerheten på jernbane

2.4.1 Økt aktivitet og digitalisering av jernbanen

Norsk jernbane er nå blant de sikreste i Europa. Økt transportandel på bane bidrar til sikrere transport, samtidig som økt trafikk, endret bebyggelse og økt aktivitet nær jernbanen gir økt risiko for ulykker.

Transportsektoren står overfor teknologiske endringer som har potensial til å endre person- og godstransporten på grunnleggende måter. Særlig er digitalisering løftet fram som revolusjonerende for transportsektoren. Den stadig økende integreringen av datateknologi i alle deler av transportsystemet styrker kommunikasjonen og samfunnssikkerheten når teknologiene fungerer etter intensjonen, men øker også sårbarheten for manglende tilgang til transportsystemet ved digitale angrep eller annen systemsvikt.

2.4.2 Forventet utvikling ved innføring av ERTMS

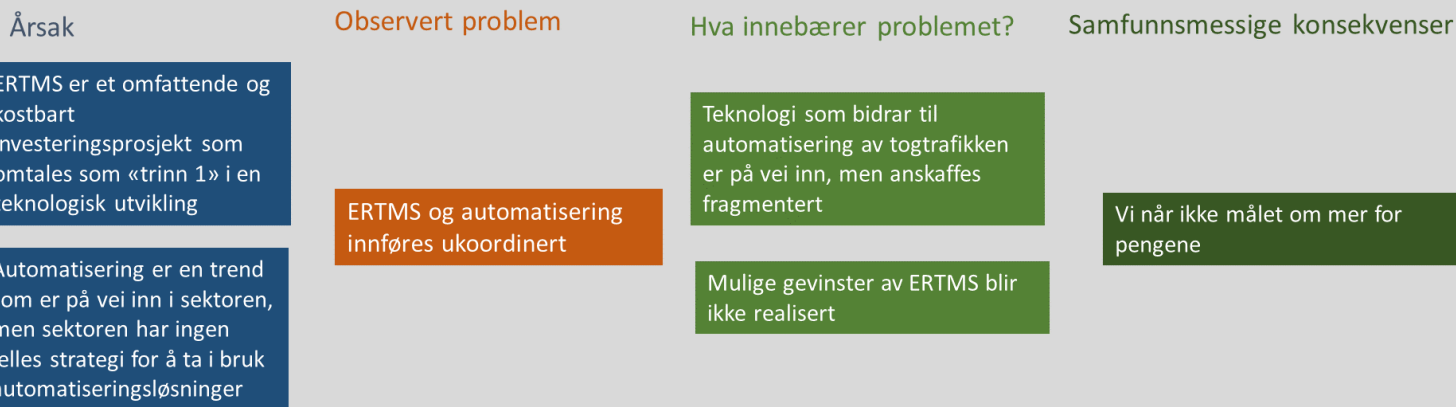
Ved framføring av tog er det mange sikkerhetsbarrierer knyttet opp mot manuelle handlinger, rutiner og vurderinger. Innføringen av ERTMS vil gi fører og annet personell vesentlig mer og bedre informasjon for å utøve sine sikkerhetsfunksjoner enn i dag, men det vil fortsatt være mange manuelle barrierer. Automatisering innebærer en endring fra manuell kontroll på transportmidler, transportsystem, og transportinfrastruktur til maskinell eller automatisert kontroll. Det betyr redusert behov for menneskelig arbeidskraft til gjennomføring av person- og godstransport. Dette vil kunne effektivisere transporten og øke sikkerheten gjennom å redusere risiko for menneskelige feil. Samtidig kan også digitalisering føre til økt sårbarhet for andre typer hendelser, som beskrevet i 2.4.1.

2.4.3 Konsekvenser av endret risikobilde

Jo flere som reiser med jernbane og jo tettere trafikken er, jo hyppigere kan det skje ulykker og jo større kan de potensielle konsekvensene av en ulykke bli. Det er derfor viktig at sikkerhetsarbeidet ligger i forkant av utviklingen, når samfunnet for fremtiden ønsker mer transport på jernbane. Så lenge nullvisjonen for drepte og hardt skadde i trafikken ikke er oppfylt, må trafiksikkerhet ved framføring av tog fortsatt ha fokus og søkes forbedret ved alle endringer. For å ivareta en god transportberedskap i samfunnet, høy oppetid for jernbanesystemene og redusere faren for og konsekvensene av villedede handlinger for å skade samfunnet, må informasjonssikkerheten alltid være en del av vurderingen ved innføring av nye tekniske løsninger. Nødvendige tilleggstiltak for å opprettholde eller redusere risiko og sårbarhet knyttet til forslagene må alltid vurderes.

2.4.4 Utvikling over tid

Det forventes at utviklingen med økt aktivitet på og nær sporet vil tilta over tid. Det kan også forventes en økende digitalisering, både gjennom en trinnvis videreutvikling av ERTMS, og i andre deler av trafikkhåndteringen. Dette understreker behovet for kontinuerlig arbeid med sikkerhet også på lang sikt.



Figur 2-8 Andre problemstillinger knyttet til ny teknologi

2.5 Andre problemstillinger knyttet til ny teknologi

2.5.1 Innføring av ERTMS uten å samtidig ta stilling til grad av automatisering kan gi ukoordinerte løsninger

ERTMS vil gi en rekke gevinster i form av driftsstabilitet, enklere vedlikehold og mer informasjon til fører, men systemet bringer også med seg noen utfordringer. Det er særlig ERTMS-systemets hastighetsregulering og bremsekurver som kan påvirke kjøretiden, spesielt for godstog. ATO vil kunne motvirke noen av disse utfordringene gjennom automatisering av operasjoner og homogenisering av kjøremønster, og samtidig gi andre positive gevinster.

Automatisering inngår i en naturlig teknologisk videreutvikling av all transport. Jernbaneinfrastrukturen som ofte beskrives som et lukket system, gir gode muligheter for automatisering av enkeltoperasjoner eller gjennomgående løsninger. Det er gjennomført flere utredninger som ser på mulighetene for automatisering, og det pågår forskningsprogrammer bl.a. innenfor Europe's Rail som vurderer mulighet for automatisering for å oppnå mer kostnadseffektiv jernbanetransport. Det foreligger imidlertid ingen helhetlig strategi for jernbanesektoren om hvordan automatisering skal tas i bruk. Dette øker risikoen for at ERTMS og automatiseringsløsninger innføres ukoordinert.

2.5.2 Konsekvenser av en ukoordinert innføring av nye systemer og ny teknologi

Utgangspunktet for norsk jernbane er en rekke ulike togtyper, infrastruktur med varierende alder, ytelse og kapasitet, og enkeltstrekninger med svært høy utnyttelse. Automatisering skjer innen en rekke områder innenfor sektoren, og med en ukoordinert tilnærming kan vi risikere at vi anskaffer løsninger som ikke er kompatible og dermed krever ombygging og opplæring i flere systemer. Dette vil være ressurskrevende.

ERTMS er et omfattende investeringsprosjekt som forventes å gi gevinster for ytelsen til infrastrukturen. Grad av automatisering vil imidlertid ha betydning for gevinstrealiseringen, og en ukoordinert innføring av ERTMS og automatisering i togfremføringen vil kunne føre til at mulige gevinster av ERTMS ikke blir realisert.

Sett i sammenheng med overordnede transportpolitiske mål, kan dette føre til at vi ikke når målet om «Mer for pengene».

2.5.3 Utvikling over tid

Det gjøres nå investeringer i ny teknologi som vil påvirke sektoren i lang tid fremover. ERTMS nivå to er nå under utrulling, og vil legge grunnlaget for en videre utvikling av signalteknologien til ERTMS på høyere nivåer. Samtidig vil utviklingen av automatiseringsteknologi påvirke transportsektoren i stort omfang i tiden fremover. Om sektoren ikke evner å koordinere investeringene kan det forventes at gevinsttapet vil bli større over tid.

2.6 Oppsummering

Oppsummering, hovedproblemer:

- Etterspørselen etter togtransport er stor, og prognosene viser en videre økning, særlig for godstransport og i flere persontrafikk-markeder. Kapasitetsutfordringene er særlig store inn mot de store byene. Dette gir lite rom for videre tilbudsutvikling, og denne trenden vil forsterkes over tid.
- Tett trafikk, økt slitasje på infrastrukturen og krevende rammer for vedlikehold påvirker punktligheten. Flere tiltak er under planlegging og gjennomføring, herunder ERTMS, som vil bidra til å redusere den negative utviklingen. Andre forhold, som høy trafikkbelastning og klimapåkjenninger derimot, forventes å vedvare eller styrkes over tid.
- Hovedbidraget fra jernbane til det grønne skiftet og reduksjon i utslipp av klimagasser, kommer fra selve transportarbeidet som gjøres på jernbane. For å øke dette bidraget, må kapasiteten økes.
- Økt trafikk, endret bebyggelse og aktivitet nær jernbanen gir økt risiko for ulykker, samtidig som økt digitalisering gjør oss mer sårbare for cyberangrep. For å ivareta en god transportberedskap i samfunnet, høy oppetid for jernbanesystemene og redusere faren for og konsekvensene av vilde handlinger for å skade samfunnet, må sikkerheten alltid være en del av vurderingen ved innføring av nye tekniske løsninger
- Det er en risiko for at løsninger for automatisering anskaffes uten å være koordinert tilstrekkelig med spesifikasjonen til og utbyggingen av ERTMS, noe som kan føre til at gevinster fra anskaffelsene ikke blir realisert eller at kostnadene ved realisering blir høyere.

3 Behovsanalyse

I behovsanalysen gjennomgås:

- Normative behov, som er politisk vedtatte målsetninger og nasjonale ambisjoner for utvikling av transporttilbudet. Ambisjoner knyttet til teknologisk utvikling og mer for pengene vil være viktig, sammen med ambisjoner for transporttilbudet på lang sikt
- Etterspørselsbaserte behov, som er behov som følger av endret transportetterspørsel. Prognoser for gods- og persontransport, behov for kapasitet og kvalitet i tilbudet vil bli gjennomgått
- Operasjonelle behov er behov som følger av interessentgruppers behov. Ulike grupper sine behov gjennomgås og systematiseres. Det skilles mellom primære interessenter, som for eksempel de reisende og godstransportører og sekundære interessentgrupper som for eksempel lokfører skolen

3.1 Normative behov

3.1.1 Behov for utvikling av transportsystemet: Nasjonal transportplan

Gjennom nasjonal transportplan settes de overordnede målene for transportsektoren, og rammer og utgangspunkt gis for de normative behovene, som mer effektiv bruk av ERTMS gjennom en automatisering av togfremføringen skal møte. I NTP 2022-2033 er det overordnede og langsiktige målet et effektivt, miljøvennlig og trygt transportsystem i 2050. I NTP 2025- 2036 er den nasjonale dimensjonen styrket gjennom tillegget «i hele landet».



Figur 3-1 Målene for transportsektoren, NTP 2022-2033

Det er utviklet fem likestilte mål som gir retningen for ressursbruken i planperioden. Under er målene gjennomgått og de normative behovene som videreføres i KVVU-arbeidet er omtalt.

Mer for pengene

Målet om mer for pengene tar utgangspunkt i handlingsrommet for norsk økonomi, og behovet for bedre kostnadskontroll og -styring i samferdselssektoren. I NTP 2022–2033 er det formulert slik: «Et mer effektivt transportsystem, som med lavere kostnader løser de viktigste utfordringene først og skaper nye muligheter, har stor verdi både i vår tid og for senere generasjoner.»

Mer jernbane for pengene vurderes gjennom videreutvikling av en besluttet investering, og vurdering av effektivisering av alle deler av togdriften der dette er aktuelt. Det vil si at alt fra mindre utgifter til vedlikehold, mer effektiv energibruk, mer effektiv togdrift og i siste instans mer kapasitet eller økt

punktlighet utgjør mulighetsrommet. Vurderingene i denne KVVU-en belyser hvordan ATO kan bidra til mer effektiv utnyttelse av ERTMS, og bidrar derfor til å bygge opp om målet om mer for pengene.

Effektiv bruk av ny teknologi

Innretningen av KVVU-en, der en bedre utnyttelse av ERTMS gjennom automatisk togframføring skal undersøkes, er i tråd med intensjonene i inneværende NTP: «*Ny teknologi tilbyr bedre svar på noen av utfordringene vi tidligere har møtt med tradisjonelle løsninger for framkommelighet, kapasitet og transportsikkerhet. Automatisering, elektrifisering og nullutslippsmobilitet, nye forretningsmodeller og utviklingen av samhandlende intelligente transportsystemer er noen av driverne i det smarte og grønne skiftet, og vil kunne gi oss større grad av bærekraftig bevegelsesfrihet.*»

I KVVU-en møtes behovet for effektiv bruk av ny teknologi ved at flere av problemstillingene som ofte adresseres gjennom løsninger som innebærer fysiske tiltak i infrastrukturen, økt bemanning eller flere kjøretøy, nå undersøkes løst gjennom nye teknologiske løsninger. I tillegg møtes også dette behovet ved at det i KVVU-en utredes muligheter for å optimalisere og søke ytterligere effekter som kan følge av allerede besluttede investeringer.

Bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål

I november 2021 ble «Glasgow Climate Pact» inngått. Her ble landene enige om å holde fast ved målet om at global oppvarming skal stanse på 2 grader, og aller helst ikke mer enn 1,5 grader, slik man ble enig om i Parisavtalen. Gjennom Parisavtalen forpliktet Norge seg til å redusere utslippene av klimagasser med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent i 2030 sammenlignet med nivået i 1990.

Målet om å bidra til oppfyllelse av Norges klima- og miljømål fanges i KVVU-en opp gjennom vurdering av konsepter som styrker konkurransekraften til jernbanetransport. Jernbanetransport har både lave CO₂-utslipp og er energieffektiv. Gjennom mulighetsstudien vurderes det om automatisering kan gi ytterligere bidrag gjennom energieffektivitet. Bidrag til bedre punktlighet og kapasitet er mulige effekter som kan påvirke jernbanetilbudets konkurransekraft.

Nullvisjon for drepte og hardt skadde

Nullvisjon for drepte og hardt skadde er viktig i transportetatens løpende planlegging, utbygging og drift av ulike deler av transportsystemet. Norsk jernbane er nå blant de sikreste i Europa. Økt transport på bane bidrar til sikrere transport, samtidig som økt trafikk, endret bebyggelse og aktivitet nær jernbanen gjør det nødvendig å fortsette innsatsen for å opprettholde og forbedre sikkerhetsnivået.

Også videre sikring av digital infrastruktur mot uønskede hendelser er en økende utfordring, ettersom samfunnet digitaliseres og ny teknologi tas i bruk. Faren for bevisste handlinger for å skade personer eller sabotere transportsystemer er økende. Når ny teknologi eventuelt skal tas i bruk, blir det viktig for samfunnet å sørge for at vi ikke øker sårbarheten, men har systemer for å ivareta informasjonssikkerhet og løpende vurdere om risikobilder endres.

Enklere reisehverdag og økt konkurranseevne for næringslivet

Et velfungerende transportnett, som knytter hele Norge sammen, er nødvendig for å skape velferd, økonomisk vekst, bærekraftige regioner og byer med gode og likeverdige muligheter for alle innbyggere.

Behovet for enklere reisehverdag innenfor jernbane handler om økt mobilitet og egenskaper som kapasitet, punktlighet, redusert reisetid, universell utforming og bedre samspill med andre transportformer. I denne KVVU-en vil vi se på hva automatisering kan gi innenfor disse områdene.

Tilsvarende gjelder innenfor godstransport, for å gi konkurransedyktig transport av gods på jernbane. Næringslivet har behov for stor grad av forutsigbarhet, og NTP peker på behov for økt effektivitet, pålitelighet, redusert transporttid, bedre sikkerhet, klima og miljø i godstransporten, for å øke næringslivets konkurranseevne både nasjonalt og internasjonalt.

3.1.2 Behov for bærekraftig utvikling: FNs bærekraftsmål

I 2015 vedtok FNs medlemsland 17 mål for bærekraftig utvikling fram mot 2030. Bærekraftsmålene gjelder for alle land. Målene er et veikart for den globale innsatsen for en bærekraftig utvikling ved at de

viser miljø, økonomi og sosial utvikling i sammenheng. Målene for transportsektoren bygger opp under en bærekraftig utvikling.

3.2 Etterspørselsbaserte behov

Flere av problemområdene som er omtalt i kapittel 2 vil bli påvirket av utviklingen i etterspørselen etter reiser og godstransport med tog.

Behovet for transportkapasitet vil være bestemt av etterspørselen etter transport av så vel personer som gods. De sentrale driverne for denne etterspørselen er befolkningsvekst og økonomisk vekst, samt demografiske endringer. Vekst i befolkningen kan i utgangspunktet forventes å gi en tilsvarende prosentvis vekst i transportbehovet. Økonomisk vekst kan forventes å gi en tilsvarende prosentvis vekst i korte og dagligdagse reiser, men en noe mindre vekst i lange reiser. Det er ventet at både den økonomiske veksten og befolkningsveksten vil være positiv i årene som kommer, men veksten er noe nedjustert i forhold til tidligere vekstanslag.

I tillegg er det en del utviklingstrekk og trender som kan påvirke behovet for transport og transportmiddel-fordelingen og som vil kunne påvirke etterspørselen etter togtransport:

- *Større fleksibilitet når det gjelder arbeidssted og -tid:* Erfaringene fra pandemien med utstrakt bruk av hjemmekontor og digitale møter vil kunne føre til en vedvarende endring i måten man jobber på i store deler av arbeidslivet. Dette vil ventelig ha konsekvenser for transportbehovene. Økt bruk av hjemmekontor vil kunne føre til at yrkesaktive foretar færre reiser, men kan også føre til at mange velger å bosette seg lenger unna arbeidsplassen, slik at reisene bli lengre. Fleksible arbeidstider vil kunne føre til at trafikken fordeler seg jevnere over driftsdøgnet og dermed demper trafikktoppene, noe som vil ha en gunstig effekt på utnyttelsen av transportkapasiteten.
- *Økt miljø- og klimabevissthet:* Økt bevissthet knyttet til de miljø- og klimamessige belastningene av transport kan føre til endringer i reiseomfang og transportmiddelvalg. Slike hensyn vil kunne føre til en demping av transportomfanget, men vil også kunne vri transporten over på transportformer som er mindre belastende for miljø og klima. Slike endringer kan komme som følge av endringer i trafikantenes preferanser og/eller som følge av endringer i politisk virkemiddelbruk. Togtransport basert på el-drift har i utgangspunktet et fortrinn framfor mange andre transportformer på klima- og miljøfeltet, men dette fortrinnet utfordres etter hvert som andre transportformer går over på klima- og miljønøytrale energiformer i økende grad.
- *Økende grad av netthandel:* Økt grad av netthandel vil kunne øke behovet for hyppige forsendelser av stykk- og kombigods. Samtidig vil det å få varene levert på døra eller i det minste i nærheten kunne bidra til å redusere behovet for persontransport. I så fall vil man kunne få en viss dreining bort fra persontransport og over på mer godstransport.
- *Aldrende befolkning:* En aldrende befolkning vil kunne påvirke transportomfanget. På den ene siden har eldre tradisjonelt hatt en lavere tilbøyelighet til å reise enn andre aldersgrupper. På den annen side må man regne med at en større andel av de eldre vil være yrkesaktive i framtiden og vil ha et større reisebehov enn de som er pensjonister i dag. Videre kan tilbøyeligheten til å reise være større hos kommende generasjoner av eldre enn hos dagens eldre.
- *Sentralisering /urbanisering:* En fortsatt sentralisering og sterkere grad av urbanisering vil føre til at en større andel av befolkningen vil bo tett med kortere avstander til de aktiviteter man har behov for å oppsøke. Dette vil typisk gi behov for kortere transport, men samtidig vil disse reisene komme i områder der det kan være størst press på transportkapasiteten.
- *Næringsomstilling og global handel:* Norge er en åpen økonomi med utstrakt grad av internasjonal handel. Hendelser som påvirker den internasjonale handelen (som krig og økende grad av proteksjonisme) vil kunne få konsekvenser for behovet for godstransport.

Befolkningsvekst, økonomisk vekst og ulike trender vil ikke bare kunne påvirke behovet for togtransport, men også behovene når det gjelder hvordan togtransporten og togtilbudene bør innrettes. Økonomisk vekst og andre faktorer som bidrar til å øke tidskostnadene vil trekke i retning av at togtilbudene skal ha høy avgangsfrekvens. Fleksible arbeidstidsordninger og andre faktorer som bidrar til å jevne ut etterspørselen over tid kan tilsa at avgangsfrekvensene ikke behøver å variere i like sterk grad som i en situasjon med markante trafikktopper.

Også utviklingen i etterspørselen etter kvalitet på togtilbudet vil ha betydning for flere av problemområdene nevnt i kapittel 2, eksempelvis behovet for punktlighet. Kvalitet rommer flere dimensjoner. En dimensjon er tidsbruken, der kundene har behov for at transporten tar relativt kort tid. For persontransport er bekvemmelighet et annet aspekt, der viktige faktorer kan være tilgang til sitteplass, fravær av trengsel og muligheter for å bruke reisetiden til noe nyttig eller til glede. Kundene vil også ha behov for at transporten både er og oppleves som trygg. Kundene vil i tillegg ha behov for at transporttilbudet er punktlig, dvs. at togene både går og ankommer i henhold til rute. Dette er faktorer som er viktige for kundene i dag og som man må forvente blir minst like viktige i framtiden.

3.3 Operasjonelle behov

Operasjonelle behov identifiserer hvilke ytelser fremtidige løsninger bør ha for å redusere problemet og utløse ønskede virkninger. Alle som på en eller annen måte kan bli berørt av en potensiell innføring av økt automasjon i togtrafikken er definert som interessenter i dette KVVU-arbeidet.

Operasjonelle behov er behov som oppstår hos interessentene for å kompensere eller motvirke uønskede konsekvenser av problemstillingene beskrevet i kap. 2. I kartleggingen av operasjonelle behov fokuseres det på hvilke egenskaper løsningene bør ha, eller hvordan løsningene bør yte eller prestere, for å løse eller redusere problemene. Hva løsningene eventuelt kan være, inneholde eller bestå av analyseres i mulighetsstudien og alternativanalysen i kap. 6 og 7.

Gjennomføring av interessentkartleggingen ble gjennomført som et verksted, og er beskrevet i en egen verkstedrapport. Denne følger som vedlegg til hovedrapporten.

Aktuelle interessenter kan deles i tre grupper:

- Primære interessenter er brukere av transportsystemet eller grupper som er direkte berørt av transporttilbudet.
- Sekundære interessenter er grupper som blir involvert eller berørt i gjennomføring av eventuelle tiltak (planlegging, finansiering, utbygging og drift)
- Andre interessenter er grupper som påvirkes i mindre eller liten grad av problemstillingene.

3.3.1 Kartlegging av behov

Gjennom interessentanalysen kom det fram mange behov fra ulike interessenter, og mange av utfordringene interessentene opplever i dag vil ikke nødvendigvis være gjeldende med de forutsetningene som denne KVVU-en legger til grunn. Fra bestillingen av utredningen er det en forutsetning at ERTMS er ferdig implementert på alle strekninger. Behov for endringer som innføringen av ERTMS allerede ivaretar, er dermed ikke tatt med i videre behovsanalyse.

I oversikten over behov er varesendere og varemottakere slått sammen til vareeiere, da begge rollene har samme type behov, og det gjerne er eieren av varen som eier risikoen for hendelser.

I tillegg til reisende og varesender er togoperatører og Bane NOR som infrastruktureier og forvalter er tatt med som primærinteressenter, da disse interessentene er brukere av infrastrukturen som del av sin forretningsmodell.

Tabellen nedenfor oppsummerer interessentkartleggingen og identifiseringen av de viktigste interessentenes behov.

Primær interessenter	Behov	Behov for endring
Reisende	Reiser på tidspunkt det er etterspørsel, spesielt i rushtid.	Et bedre utbygd og samordnet kollektivtilbud med et rutetilbud som er tilpasset transportbehovet, spesielt for pendlerreiser
	Punktlighet - Forutsigbar avgangstid og ankomsttid	Transporter som er mer presise og forutsigbare mht. reisetid og ankomsttidspunkt. Raskere og mer målrettet informasjon ved avvik.
	Konkurransedyktig reisetid, reisekvalitet og reisekostnad	Transporter som foretrekkes - er raskere og mer effektive - gir mulighet for en bedre reiseopplevelse - har lavere kostnad
	Gode løsninger for reisende med spesielle behov / universell utforming ved på- og avstigning	Raskere på- og avstigning, mindre påvirkning på tiden for stasjonsopphold.
	Sikker transport ⁴	Opplevelse av at transporten er sikker.
Vareeiere (godstransport)	Avganger på tidspunkt det er etterspørsel / konkurransedyktige ankomsttider	Et rutetilbud som er tilpasset transportbehovet og konkurransen i markedet
	Punktlighet - Forutsigbart leveransetidspunkt til markedet	Transporter som er mer presise og forutsigbare mht. reisetid og ankomsttidspunkt. Raskere og mer målrettet informasjon ved avvik.
	Konkurransedyktig framføringstid og transportkostnad	Transporter som er raskere og billigere enn konkurrentene
	Effektive terminaler/omlastinger	Transporter som er raskere og mer effektive enn alternativene
	Sikker transport	At varene kommer fram med lav risiko for skader. Konkurransedyktige garantier/ erstatninger ved skader.
Bane NOR	Tilstrekkelig kapasitet for drift og vedlikehold	Tilstrekkelig kapasitet planlagt og reservert tilgjengelig for drift og vedlikehold.
	Tilstrekkelig infrastrukturkapasitet i forhold til ruteplan, slik at mindre avvik ikke forsinker trafikken	Mer infrastrukturkapasitet tilgjengelig for å kunne legge en ruteplan med tilstrekkelige marginer. Lavere utnyttelsesgrad av tilgjengelig infrastrukturkapasitet.
	Tilby tilstrekkelig trafikkapasitet for transportbehovet (innenfor hvert kundeselement).	Løsninger som gir mer infrastrukturkapasitet pr. krone
	Tilby sikker transport	All infrastruktur skal tilfredsstillende krav til sikker funksjon. Tilgang på tilstrekkelige barrierer for å ivareta sikker funksjon.

⁴ Oppfatningen av "sikker" kan variere mellom forskjellige grupper av reisende, basert på alder, kjønn, kulturell bakgrunn osv.

		Sørge for et transportsystem som er sikkert for tredjepart.
	Sikker operasjon	Færre manuelle operasjoner reduserer antall uønskede hendelser/uhell. Sørge for et transportsystem som er sikkert for tredjepart.
	Mer jernbane for pengene	Løsninger som gir mer infrastrukturkapasitet pr. krone. Løsninger som gir mer kostnadseffektiv drift og vedlikehold.
	Kostnadseffektiv operasjon	Tekniske løsninger som krever mindre / enklere/ billigere vedlikehold. Tilgang på tilstrekkelig kompetanse / være en attraktiv arbeidsgiver. Reduserte lønnskostnader.
Persontogoperatører	Forutsigbarhet, god punktlighet	Robuste kjøreplaner, tilstrekkelige marginer. Effektiv feilretting og avvikshåndtering. Raskere og mer målrettet informasjon ved avvik.
	Mer tilgjengelig kapasitet	Bedre regularitet. Utvide togtilbudet.
	Attraktiv arbeidsgiver ift. arbeidsoppgavene i et arbeidsmarked. Overtallighet, Redusere kostnader til oppgaver som ikke er nødvendige	Ivareta en interessant arbeidshverdag for sine ansatte. Forutsigbarhet ift. kompetansebehov i et arbeidsmarked.
	Kostnadseffektiv operasjon	Redusert energiforbruk. Reduserte lønnskostnader. Lavere kostnad for transportarbeidet. Raskere og mer målrettet informasjon ved avvik.
	Større inntjening	Utvide transporttilbudet
	Tilby sikker transport	Tilstrekkelig bemanning for å ivareta de reisendes sikkerhet. Tilstrekkelig kompetansebygging for å ivareta nødvendig bemanning. Tilgang på tilstrekkelige barrierer for å ivareta sikker funksjon.
Godstogoperatører/ Godstransportører	Effektiv omlasting og distribusjon	Raskere lessing/lossing og rangering av togstammer
	Konkurransesevne i transportmarkedet	Mer tilgjengelig kapasitet som kan gi flere avganger, kortere kjøretider og bedre punktlighet
	Fleksibilitet i ruteleier for bedre avgangspunktlighet	Mer tilgjengelig kapasitet som kan gi flere alternative ruteleier
	Forutsigbarhet ved togframføring	Mer kapasitet som kan gi større marginer og økt punktlighet. Raskere og mer målrettet informasjon ved avvik.
	Kostnadseffektiv operasjon	Redusert energiforbruk. Reduserte lønnskostnader. Lavere kostnad for transportarbeidet. Raskere og mer målrettet informasjon ved avvik.
	Større inntjening	Utvide transporttilbudet
	Tilby sikker transport	Tilgang på tilstrekkelige barrierer for å ivareta sikker funksjon. Tilstrekkelig kompetansebygging for å ivareta nødvendig bemanning.

Godsterminaloperatører	Punktlighet - Forutsigbar og rask operasjon	Raskere og mer forutsigbar lessing/lossing og rangering av togstammer. Raskere og mer målrettet informasjon ved avvik.
	Kosteffektiv omlasting og distribusjon	Raskere lessing/lossing og rangering av togstammer
	Sikker operasjon	Færre manuelle operasjoner reduserer antall uønskede hendelser / uhell

Sekundære interessenter/ aktører	Behov	Behov for endring
Norske Tog	Mer jernbane for pengene	Løsninger som gir større transportkapasitet pr. krone. Raskere og enklere vedlikehold. Redusert energiforbruk.
Jernbanedirektoratet	Sikre kunnskapsgrunnlag for videre utvikling av jernbanetilbudet i tråd med transportpolitiske mål, og nasjonale mål på klima og miljøområdet. Direktoratet skal sikre god koordinering mellom utviklingen av togtilbud og investeringer i nytt togmateriell, digitale løsninger og behov for tiltak i infrastrukturen. Ivareta sikkerhet ved utvikling av togtilbudet.	I dette arbeidet har direktoratet behov for et godt kunnskapsgrunnlag som legger til rette for riktige beslutninger og strategier for videre bruk og utvikling av det digitaliserte signalsystemet
Drift og vedlikeholdsoperatører (infrastruktur og kjøretøy)	Kostnadseffektiv operasjon	Redusert energiforbruk. Reduserte lønnskostnader. Raskere og enklere vedlikehold. Sikrere vedlikehold. Tilgang på tilstrekkelig kompetanse / være en attraktiv arbeidsgiver.
Naboer/grunneiere ved jernbanen	Enkel og sikker tilgang til egen grunn	Enklere og sikrere kryssing av jernbanen
	Ivareta verdi av eiendom	Hindre verditap på naboeiendommer ved inngripende tiltak langs jernbanen (tap av areal, utsikt, reguleringsbestemmelser etc.)
	Effektiv drift av egen næringsvirksomhet	Beholde lave kostnader for naboskap og næringsvirksomhet langs jernbanen
Kommuner	Effektiv drift av egen aktivitet	Beholde lave kostnader for naboskap og næringsvirksomhet langs jernbanen
	Tilgang på naturområder for lokal fauna	Færre og mindre barrierer i terrenget. Sikrere kryssing for vilt.
	Lokal forvaltning av naturmiljø og naturressurser	Mer lokal politisk medbestemmelse
Arbeidstakere i jernbanesektoren	Interessant, stabil og sikker arbeidsplass	Nye tekniske løsninger gir endret kompetansebehov i sektoren. Tiltak for å sikre arbeidsplasser (ved førerløs). Flere tekniske barrierer som gir en bedre og sikrere arbeidsplass (ved førerassistanse).

Andre viktige interessenter/ aktører	Behov	Behov for endring
Vegmyndigheter	Sikkerhet ved planoverganger	Økt sikkerhet for veifarende ved kryssing av jernbanen
Nødetater	Sikker adkomst til ulykkessteder Effektiv kommunikasjon for raskt å stanse togtrafikken	<i>Ikke spesifikt relatert til handlingsrommet for KVVU-en</i>
Kompetansegivere/ utdanningsinstitusjoner	Tilby tilstrekkelig og relevant kompetanse til aktørene/operatørene.	Nye tekniske løsninger gir endret kompetansebehov i sektoren. Involvering i planene for ny teknologi for å kunne tilby relevant opplæring.
Forsvaret / Samfunnsberedskap	Effektiv tilgang til ad hoc-tog	<i>Ikke spesifikt relatert til handlingsrommet for KVVU-en</i>
	Robust avvikling av togtrafikken i krisesituasjoner - sikre togtrafikken mot sabotasje.	Nye teknologiske løsninger kan ikke gi redusert samfunnsikkerhet

3.3.2 Oppsummering av operasjonelle behov

Fra interessentkartleggingen vektlegges behovene hos primærinteressentene, som representerer brukerne av transporttilbudet og infrastrukturen. Det er noen behov som framstår som viktigere enn andre, og som også er felles for alle interessentene. Det gjelder behovet for større forutsigbarhet i trafikkavviklingen og et transporttilbud som i større grad møter behovene i forhold til avganger, reisetid og reisekostnad. Punktligheten er et resultat av hvilke hendelser som oppstår og hvilke marginer som finnes for å tilbake stille trafikken til ordinære ruter etter en hendelse. Dette kan oppsummeres som behov for mer tilgjengelig kapasitet og en mer stabil operasjon for aktørene som fellesnevner.

I tillegg er det behov knyttet til effektiviteten i driften og konkurranseevnen til jernbanen som trekkes fram. Dette gjelder både brukerne av togtilbudet, aktørene som leverer tilbudet og muligheten for drift og vedlikehold av både infrastruktur og kjøretøy. Behovene for større forutsigbarhet henger tett sammen med muligheten for effektiv operasjon og drift og vedlikehold.

Det trekkes også fram at interessentene har behov for tilgang til, eller behov for å kunne tilby, en sikker og kostnadseffektiv transport.

3.4 Behov, oppsummert

Behovene rangeres etter prosjektutløsende behov og andre viktige behov. For å komme fram til disse er følgende vurderinger gjort.

Økt infrastrukturkapasitet og punktlighet

Økt kapasitet og bedre punktlighet pekes på som sentrale behov under normative behov og overskriftene «Mer jernbane for pengene» og «Enklere reisehverdag».

Effektiv operasjon

Flere operasjonelle behov peker på økt konkurransedyktighet og større markedsandeler for jernbanen for at fordelene ved togtransport skal komme samfunnet til nytte. I tillegg til økt kapasitet er det behov for kortere reisetid og lavere reisekostnader, sammen med lavere kostnader for bransjen, som også vil gi større konkurransekraft. Effektivisering av operasjonen for alle aktørene gjennom bruk av ny teknologi til å redusere antall feil, effektivisere drift og vedlikehold og gi større utnyttelse av tilgjengelig infrastrukturkapasitet vil være sentrale elementer for dette behovet, og dermed møte både samfunnsbehov og operasjonelle behov.

Redusert energiforbruk

Hvordan jernbanen kan bli mer miljøvennlig og bidra til en mer miljøvennlig transportsektor utredes parallelt med denne KVVU-en i KVVU Green (konseptvalgutredning for reduserte klimagass-utslipp på jernbane). Men hvordan automasjon kan bidra til en mer miljøvennlig jernbane, er innenfor denne KVVU-ens mandat. Energieffektivisering og mer effektiv drift og vedlikehold, som igjen gir lavere energiforbruk og lavere utslipp, vil være viktig i denne sammenhengen. Innenfor dette området er det sammenfall mellom normative behov og operasjonelle behov.

Økt sikkerhet

I denne KVVU-en vil det være naturlig å se på det normative behovet for sikkerhet som både sikkerhet for tredjepart og informasjonssikkerhet. Selv om jernbanen er en av de sikreste transportformene vi har overfor tredjepart, er det viktig å styrke sikkerheten innenfor togtransport. Dette gjelder særlig der jernbane er nært på annen aktivitet i samfunnet, f.eks. ved planoverganger og i forbindelse med av- og påstigning. Med økt automatisering og digitalisering av operasjonen, vil kartlegging av endret sårbarhet og behov for økt informasjonssikkerhet også være sentralt å utrede.

Tilgjengelig kompetanse

Mer detaljerte behov ved vurdering av innføring av nye tekniske løsninger er knyttet til endringer i kompetansebehov, både for den enkelte arbeidstaker og for arbeidsgiver, men også relatert til behovet for opplæring, tilgang på ny eller annen kompetanse i et arbeidsmarked og eventuelt omskolering. At sektoren har et velfungerende arbeidsmarked, vil også være et normativt behov.

Bærekraftig utvikling av transportsystemet

Utviklingen av transportsystemet er en viktig del av Norges bidrag til en bærekraftig utvikling. Behovene for økt infrastrukturkapasitet og punktlighet, effektiv operasjon, redusert energibruk og økt sikkerhet er alle behov som ved innfrielse vil bidra til en bærekraftig utvikling av transportsystemet.

Prosjektutløsende behov

Felles for alle primærinteressentene og den normative og etterspørselsbaserte behovsanalysen er behovet for økt infrastrukturkapasitet. Avhengig av hvor stor økningen kan bli og videre beslutninger, kan økt infrastrukturkapasitet brukes til både utvidelser av togtilbudet og større forutsigbarhet ved økt punktlighet.

Effektiv operasjon hos alle aktører framstår som et viktig samlebehov som vil gi både mer jernbane for pengene og mulighet for større markedsandeler til jernbane, noe som igjen vil tilfredsstillende mer detaljerte behov for økt transportsikkerhet, redusert miljøbelastning, energieffektivitet totalt sett og lavere kostnader for samfunnet. Dette er felles behov for samfunnet og for de reisende og vareeierne. Derfor blir det også viktig å utrede hvilke muligheter og hvor stor verdi effektivisering via automasjon kan gi innenfor mange områder av togproduksjon, drift og vedlikehold.

Sikkerheten ved togframføring på norsk jernbane er godt ivaretatt og godt regulert, men behov knyttet til sikker operasjon er viktig. Sikker operasjon kan knyttes både til operativ sikkerhet for tredjepart, men også til samfunnssikkerhet og beredskap i forhold til informasjonssikkerhet og andre sårbarhetsvurderinger.

*Det **prosjektutløsende behovet** er de primære interessentgruppernes behov for kapasitet, punktlighet og sikkerhet, og de normative behovene for mer for pengene og mer effektiv bruk av ny teknologi.*

4 Strategiske mål

4.1 Samfunns mål

Gjennom ERTMS-programmet til Bane NOR fornyes jernbanens signalanlegg. En videre utnyttelse av de mulighetene som et digitalisert signalsystem gir for automatisering, definerer handlingsrommet for denne KVVU-en. Det *prosjektutløsende behovet* som fanges opp i samfunnsmålet er relatert til de primære interessentgruppens behov for kapasitet, punktlighet og sikkerhet, og de normative behovene for mer for pengene og mer effektiv bruk av ny teknologi. Samfunnsmålet reflekterer også at utviklingen av transportsystemet er et viktig bidrag til en bærekraftig utvikling. Følgende samfunns mål er i samråd med Samferdselsdepartementet fastsatt for utredningen:

Mer jernbane for pengene, i form av økt kapasitet og tilrettelegging for mer effektiv og sikker drift, gjennom bedre utnyttelse av ERTMS-investeringen ved automatisering av togframføringen

Mer jernbane for pengene følger av en videreutvikling av en besluttet investering, og innebærer et mål om effektivisering av alle deler av togdriften der dette er aktuelt. Det vil si at alt fra mindre kostnader til vedlikehold, mer effektiv energibruk, mer effektiv togdrift og i siste instans mer kapasitet eller økt punktlighet. Mer jernbane for pengene videreføres gjennom effektmål 1 og 2.

Økt kapasitet adresserer utfordringene med både liten restkapasitet til videre utvikling av togtilbudet, og utfordringer med å nå fastsatte punktlighetsmål. Denne delen av samfunnsmålet følges opp videre gjennom et eget effektmål, E1, for å kunne vurdere i hvilken grad ulike løsninger bidrar til ønsket utvikling.

Mer effektiv drift presiserer innholdet i «mer for pengene». «Drift», eller operasjon, omfatter alle aktiviteter som er nødvendig for å få jernbanen som trafikksystem til å fungere. Å kjøre et tog i henhold til en ruteplan krever samspill mellom ulike roller, systemer og rutiner. Automatisering kan ha påvirkning på alt fra logistikk for personell og kjøretøy før og etter avgang, sikkerhetskontroller og skifting av kjøretøy mellom avganger, og selve trafikkavviklingen, der mange forskjellige kjøretøy og reisende samspiller på en felles infrastruktur. I tillegg vil selve framføringen av toget påvirke forhold som energibruk og slitasje på spor og materiell. Alle delbidrag til økt effektivitet er samlet under effektmål E2.

Sikker drift er videreført som et eget effektmål, for å kunne måle i hvilken grad automatisering bidrar til å opprettholde og eventuelt også styrke dagens trafiksikkerhet. Samfunnsikkerhetsaspektet er videreført som en rammebetingelse for alle løsninger som vurderes, i form av at løsninger som foreslås ikke kan ha negativ effekt på samfunnsikkerheten.

Alle effektmålene bidrar til å utvikle transportsystemet i en bærekraftig retning. Det er derfor ikke laget et eget effektmål for å måle effekten for bærekraft. Utvikling av bærekraftige løsninger er gitt som en viktig rammebetingelse for arbeidet.

4.2 Effektmål og indikatorer

For effektmålene knyttes det opp målbare størrelser, indikatorer, som vil bli vurdert videre gjennom den samfunnsøkonomiske analysen. Indikatorsettet skal gjøre det mulig å verifisere effekten av de ulike alternative løsningene som framkommer gjennom mulighetsstudien. Indikatorene er målbare størrelser som kan kvantifiseres, men er også kvalitative vurderinger som har som formål å rangere ulike konsepters bidrag til ønskede effekter for brukerne.

4.2.1 E1: Bedre utnyttelse av infrastrukturkapasiteten til utvikling av togtilbudet og økt punktlighet

Å tilrettelegge for ny infrastrukturkapasitet krever investering i infrastruktur. Vesentlige kapasitetsøkninger krever lange planleggingsprosesser og større investeringer. Det er derfor en sentral oppgave å undersøke

alternative løsninger som kan gi effekt i form av en bedre utnyttelse av tilgjengelig kapasitet. En slik effektivisering kan brukes til både å øke dagens punktlighet og til å tilby nye ruteleier. For løsningene som presenteres videre i KVU-en vil bidraget til en bedre utnyttelse av infrastrukturkapasiteten være en sentral effekt. Effektmålet rangeres derfor som det viktigste.

Indikator: Redusert tidsbruk

Den sentrale indikatoren for effektmålet er redusert tidsbruk til framføring av tog.

Automatisering forventes å redusere samlet tidsbruk ved at automatisk framføring kan ligge tettere opp til tillatte hastighetsgrenser. I tillegg vil framføringen være lik for hver avgang, uten variasjonen som manuell framføring alltid vil medføre. Det forventes også et bidrag til redusert tidsbruk fra automatisering, ved at kjøringen i større grad blir basert på sanntidsinformasjon om annen trafikk og om infrastrukturen. Andre tidseffekter kan også komme fra mindre variasjon i opphold ved plattform.

Forhold som kan redusere effekten av automatisering er værforhold og andre avvik, der automatikk vil måtte være defensiv, mens en erfaren fører muligens kan gjøre riktigere og raskere tilpasninger av togframføringen. Selv om innføring av automasjon for et større system vil kunne redusere samlet tidsbruk, kan det for enkelte aktiviteter eller enkelte linjer i noen tilfeller medføre økt tidsbruk.

Redusert framføringstid vil kunne gi bedre marginer til ruteplanene og gi mindre forsinkelser, og dermed øke punktligheten. Avstanden mellom tog i ruteplanen; togfølgetiden, vil kunne reduseres, og vesentlige reduksjoner vil kunne gi rom for enkelte nye ruteleier og muligheter for å øke togtilbudet.

Grunnleggende måleenhet for indikatoren vil være tid i sekunder (s), men indikatoren kan også uttrykkes gjennom aggregerte verdier, som tall for samlet gjennomsnittlig forsinkelse, togfølgetider på dobbelt- og enkeltspor, kjøretider mellom stasjoner eller antall ruteleier pr. time for en gitt strekning.

4.2.2 E2: En mer effektiv drift av togtilbudet

En mer effektiv drift av togtilbudet omfatter alle operasjoner knyttet til gjennomføringen av transporten. Automatiserte operasjoner kan gi effekt i hele logistikkjeden, alt fra kontroll av kjøretøy før det settes i trafikk, framkjøring av tog til oppsatt rute, utnyttelse av kjøretøy ved gjennomføring av transporten og til hensetting av toget i etterkant. En optimal hastighet og kjøring vil også kunne gi lavere energibruk, og dermed bidra til at energibehovet for togframføring reduseres. Optimalisering av kjøring gjennom automatisering forventes også å kunne gi mykere oppbremsing og akselerasjon, noe som igjen kan gi mindre slitasje på materiell og infrastruktur.

Indikator: Redusert bruk av ressurser

Automatisering av togframføringen forventes å gi effektiviseringsgevinster i form av redusert energibruk, redusert behov for innsatsfaktorene personell og materiell, og mindre slitasje på materiell og infrastruktur. Også her vil det være snakk om summen av en rekke mindre gevinster.

Gjennom automatisering vil det være mulig å optimalisere togframføringen for å oppnå lavest mulig energibruk. Her vil potensialet for å spare energi begrenses av behovet for å opprettholde punktlighet mot ruteplan. Reduksjon av energiforbruket forutsetter at det er rom for en mer tilbakeholden kjørestil.

Automatisering på de høyeste nivåene (grade of automation 3 og 4) innebærer mulighet for førerløs kjøring, og kjøring uten ombordpersonell. Operasjoner som vending ved endt rute og hensetting av tog kan også få effekt i form av frigjort tid for operativt personell og redusert personellbehov ved lavere automasjonsnivåer. Redusert tidsbruk til vending av tog kan også få effekter i form av behov for færre togsett. Førerløs framføring kan også bidra til å redusere andre krav som påvirker togdriften i dag, eksempelvis kjøre- og hviletider. Samlet vil disse effektene kunne gi både redusert tidsbruk og reduserte kostnader.

Automatisering kan også gi gevinster i form av redusert behov for vedlikehold. Det er en sammenheng mellom energioptimal kjøring og slitasje på spor og infrastruktur. Også her vil kravet til punktlighet og kapasitetsutnyttelse gi begrensninger for i hvilken grad denne muligheten kan utnyttes, men automatisering vil gi en mulighet for å optimalisere kjøring for ulike indikatorer.

Energiforbruk måles i kWh og kan leses ut av simuleringer, redusert bemanning kan måles i antall stillinger eller i reduserte timekostnader ved kortere skiftlengder, og redusert materiellbehov kan måles i antall kjøretøy eller antall driftstimer pr. kjøretøy. For redusert vedlikeholdsbehov er det ikke funnet gode måter å tallfeste dette på, og modellene for å se sammenheng mellom energiforbruk og slitasje er svært lite utviklet for jernbanesektoren. Dette vil derfor i stor grad bli en kvalitativ vurdering.

4.2.3 E3: Bedre sikkerhet for alle som ferdes på og ved jernbanen

Automatisering og overføring fra manuelle barrierer til tekniske barrierer vil bidra til økt sikkerhet for togframføring ved at de tekniske barrierene reagerer raskere og mer konsekvent. Samtidig kan det være begrensninger i tekniske løsninger som ikke fanger opp alle varianter av situasjoner som kan oppstå i en kompleks trafikksituasjon, hvor et menneske kan oppfatte flere forhold og raskere tilpasse seg nye forutsetninger. Effektmålet tar utgangspunkt i at dagens trafikksikkerhetsnivå opprettholdes, og gir grunnlag for å vurdere i hvilken grad foreslåtte løsninger bidrar til å heve dette nivået.

Indikatorer: Reduksjon i uønskede hendelser og opprettholdt opplevd trygghet

For å vurdere i hvilken grad ulike alternativer påvirker sikkerhet, er indikatorsettet delt i to: *reduksjon i uønskede hendelser og opprettholdt opplevd trygghet*. Sikker togframføring måles gjennom muligheten for reduksjon i risiko for ulykker. Det er mange situasjoner i forbindelse med togframføring som kan medføre risiko for fare. Alle uønskede hendelser på jernbane skal rapporteres med en årsak til SJT, som utgir en årlig sikkerhetsrapport for jernbane med 3 alvorlighetsnivåer av hendelser:

- Jernbanehendelse
- Alvorlig jernbanehendelse
- Jernbaneulykke

En type uønsket hendelse som både er relatert til signalanlegg, hvor innføring av automasjon kan antas å påvirke risikobildet, og som lar seg beskrive og estimere, er såkalte passhendelser. Tog stopper som oftest korrekt foran signal som viser stopp, men dersom et tog kjører forbi et signal som viser stopp, kalles dette en «passhendelse», og innebærer fare for kollisjon og avsporing. Årsakene til passhendelser kan være komplekse, men kan oppstå ved vanskelige siktforhold, misforståelser i kommunikasjon eller uoppmerksomhet fra fører. Denne typen passhendelser kommer ikke direkte fram i rapporteringen til SJT, men i 2017 ble det anslått noe over 50 passhendelser, og med dagens systemer skjer anslagsvis 50-60 passhendelser årlig. Det forventes en betydelig reduksjon av passhendelser ved innføring av ERTMS, både fordi alle strekninger i hele landet får samme høye overvåkningsnivå, men også fordi signalene flyttes inn i panelet til fører og til et kontrollert førermiljø. I hvilken grad automasjon kan gi ytterligere reduksjon i antall passhendelser benyttes som indikator for konseptene.

Det er også andre situasjoner hvor automasjon kan påvirke sikkerheten ved togframføring. Overvåkningssystemer i infrastrukturen vil kunne kommunisere risiko-situasjoner til toget gjennom et ATO-system. Ved planoverganger som er sikret vil signalsystemet fange opp om bommer og lyssignaler er aktive og status kan presenteres til fører eller et ATO-system. I tillegg prøves det ut teknologi for automatisk deteksjon av objekter og personer på planoverganger. Dessverre har vi fortsatt mange planoverganger som ikke har noen form for sikring eller overvåkning, hvor risikobildet opprettholdes.

Ved høyere automasjonsnivåer og førerløs framføring vil førers oppgave med å observere sporet foran toget erstattes av tekniske systemer som gjør dette i stedet. Men også ved lavere grader av automasjon endres arbeidsforholdene for fører, selv om hen stadig sitter med ansvaret for sikker framføring.

En del uønskede hendelser oppstår i forbindelse med lukking av dører. Automasjon ved dørlukking er allerede innført på nyere kjøretøy, og lukkingen sikres gjennom sensorer som hindrer klemfare og overvåkning av at dørene er forsvarlig lukket før avgang. Førers og ombordansvarliges oppgaver er stort sett begrenset til å bestemme tidspunktet for lukking, men det ligger også et ansvar for å observere langs togsiden før avgang, som førerløse systemer må erstatte. Den sikkerhetsmessige endringen som automatisk togframføring innfører vurderes som liten og tas ikke med i indikatoren.

Ved førerløs framføring må også inspeksjoner av kjøretøyene før de settes i trafikk erstattes, enten med annen bemanning eller med sensorer og automatiske testprotokoller. Inne på en driftsbanegård vil generelt færre personer til stede bidra til redusert risiko for skade. Samtidig vil redusert tilstedeværelse gjøre det

lettere for uvedkommende å ta seg inn på driftsbanegården for å utføre hærverk eller utsette seg selv for fare, spesielt i forbindelse med klatring på kjøretøy og fare for fall og strømgjennomgang.

Hvor raskt det kan være tilgjengelig opplært personell for å bistå med bl.a. førstehjelp i eller utenfor toget ved hendelser kan også påvirke konsekvensene av en hendelse.

Gjennom indikatorer for *opplevd trygghet* vurderes passasjerenes reiseopplevelse.

«Opplevd trygghet» bygger på erfaringer om de reisendes opplevde trygghet. Siden opplevelsen av trygghet er subjektiv trenger den ikke å ha noen sammenheng med risiko for at noe uønsket skal skje. Det er altså viktig å skille mellom risiko og opplevd trygghet. Gjennomgang av tidligere forskning på feltet (TØI 2017) viser at for transport generelt er det to grupper som i særlig grad er utsatt for uønskede hendelser; unge kvinner og bussjåfører. T-bane er det transportmiddelet som oppleves mest utrygt for ubehagelige hendelser. Tog oppleves som tryggere enn annen kollektivtransport, med unntak av fly.

TØI gjennomgår hva som påvirker opplevd trygghet i sin rapport om [utrygghet og risiko i transport](#). Graden av opplevd utrygghet avhenger av subjektive vurderinger av sannsynligheten for og konsekvenser av mulige hendelser, personlige erfaringer med lignende hendelser, samt mer følelsesmessige vurderinger. Hva som vurderes som trygt varierer etter kjønn og alder. Opplevelsen av trygghet påvirkes også av andre hendelser som ikke er direkte relatert til transporten, som krig, terrorhandlinger eller andre hendelser som preger nyhetsbildet.

Opplevd trygghet er ikke med i de vanlige reisevaneundersøkelsene, og persontogoperatørene har lite statistikk på dette området. Operatørene forteller at det er svært få klager eller konkrete hendelser knyttet til komfort og opplevd trygghet som kan knyttes til kjørestil eller påvirkes av automatisk togframføring. Det er ingen registrerte hendelser som er direkte knyttet til kjørestil. Siden ERTMS innfører strengere overvåkning av togframføringen, er det ikke ventet at trygghet og komfort skal bli dårligere etter innføringen.

4.2.4 Oppsummering

Effekt mål	Indikator
E1: Bedre utnyttelse av infrastrukturkapasiteten til utvikling av togtilbudet og økt punktlighet	<p>Redusert tidsbruk</p> <p>Redusert tidsbruk er utgangspunktet for begge indikatorene som benyttes for å angi måloppnåelse. Måleenhet for redusert tidsbruk er sekunder (s).</p> <p>Indikatoren kan måles i andre aggregerte verdier, avhengig av hva tiden kan brukes til:</p> <p>E1-1 Reduserte forsinkelser</p> <p>Reduserte forsinkelser er den størrelsen som benyttes videre for å beregne samfunnsøkonomisk effekt av økt punktlighet.</p> <p>E1-2 Redusert togfølgetid – utvikling av togtilbudet</p> <p>Redusert togfølgetid over en viss verdi avhengig av strekning, kan gi grunnlag for utvikling av togtilbudet i form av flere ruteleier/avganger</p>
E2: En mer effektiv drift av togtilbudet	<p>Redusert ressursbruk</p> <p>Redusert ressursbehov brukes som indikator på måloppnåelse for mer effektiv drift av togtilbudet. Det skilles mellom resurser i form av bemanning og i form av energibruk, drift og vedlikehold.</p> <p>E2-1 Redusert ressursbehov til energi og vedlikehold av infrastruktur og materiell</p> <p>E2-2 Redusert bemanning</p>

<p>E3: Bedre sikkerhet for alle som ferdes på og ved jernbanen</p>	<p>Redusert risiko</p> <p>Risiko for uønskede hendelser måles gjennom en «objektiv» og en «subjektiv indikator»</p> <p>E3-1 Reduksjon i risiko for uønskede hendelser</p> <p>E3-2 Opprettholde nivået for opplevd trygghet</p>
---------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

5 Rammebetingelser

Rammebetingelsene omfatter et samlet sett med overordnede betingelser som skal oppfylles for valg av konseptuell løsning og fremtidig drift. De viktigste rammebetingelsene for utredningen kommer fra tildelingsbrevet. Her er ERTMS gitt som forutsetning, og videre utvikling vil være gjennom en automatisering av togframføringen etter at ERTMS er implementert.

5.1 Rammebetingelser utledet av mål

Bestilling fra SD og samfunnsmålet definerer et strukturert mulighetsrom

Samfunnsmålet gir en avgrensning for hvilke muligheter som skal undersøkes for å bidra til måloppnåelse og møte det prosjektutløsende behovet. Løsningene som skal undersøkes er teknologiske, løsningene skal bidra til mer for pengene gjennom en bedre utnyttelse av ERTMS investeringen, og er avgrenset til muligheten ERTMS gir for å automatisere togframføringen. Dette gir et strukturert mulighetsrom som defineres av:

- Bedre utnyttelse av investeringen i ERTMS
- Automasjon som påvirker togframføringen

Normative behov for samfunnssikkerhet og bærekraftig utvikling gir viktige føringer

I tillegg er det identifisert to andre sentrale føringer for vurderingen av hva som vil være aktuelle løsninger for videre analyse:

R1. Løsningene kan ikke påvirke samfunnssikkerheten negativt.

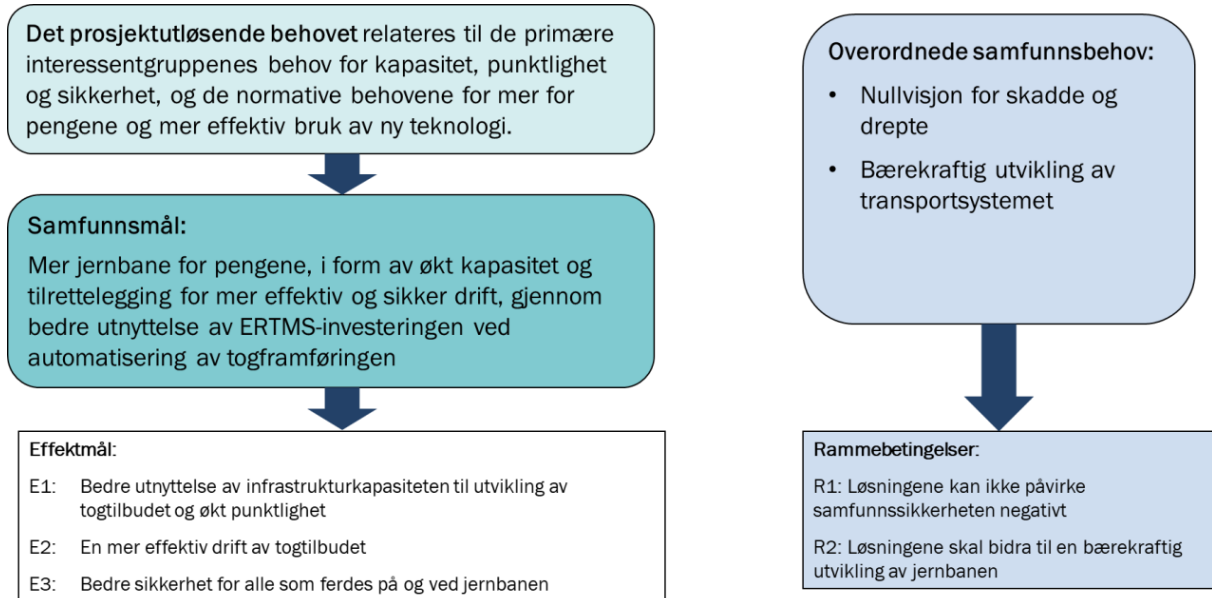
Sikkerhet er trukket fram i samfunnsmålet, og sikkerhet for dem som ferdes i og ved sporet er et av effektmålene som løsninger skal måles mot. Samfunnssikkerhetsdimensjonen derimot, vil inngå som en rammebetingelse for det videre arbeidet med mulighetsstudien, der de løsningene som videreføres ikke kan påvirke samfunnssikkerheten negativt.

R2. Løsningene skal bidra til en bærekraftig utvikling av jernbanen

Det er en klar forventning om at bruk av ny teknologi skal bidra til en bærekraftig utvikling. Flere av effektmålene er rettet mot effekter som støtter en bærekraftig utvikling. Som en rammebetingelse settes det krav til en helhetlig vurdering av egenskapene ved ulike alternative løsninger, der formålet er å sikre at det ikke videreføres løsninger til analysefasen som ikke bidrar til at bærekraften til jernbanen styrkes.

Gjennom KVV-en skal mulighetsrommet for mindre investeringer som kan gi økt effekt av en allerede vedtatt investering undersøkes. Effekten av automatisering vil framkomme gjennom en rekke mindre forbedringer, og for å kunne kartlegge disse, vil det være viktig å ikke begrense mulighetsrommet ytterligere.

5.2 Oppsummering: Behov, mål og rammebetingelser



Figur 5-1 Mål og rammebetingelser oppsummert

6 Mulighetsstudie

Mulighetsstudien er utført av bane NOR, og dokumentasjon av arbeidet er gitt i vedlegg 03. I mulighetsstudien vurderes ulike løsninger på det prosjektutløsende behovet. Målet er å komme fram til aktuelle løsninger som er konseptuelt forskjellige eller har ulikt ambisjonsnivå. Samlet skal mulighetene som videreføres dekke mulighetsrommet som beskrives i de innledende kapitlene i KVVU-en. Metodene som brukes for å først kartlegge og så sile løsninger, skal sikre at vi står igjen med de løsningene som på best mulig måte kan bidra til ønsket utvikling.

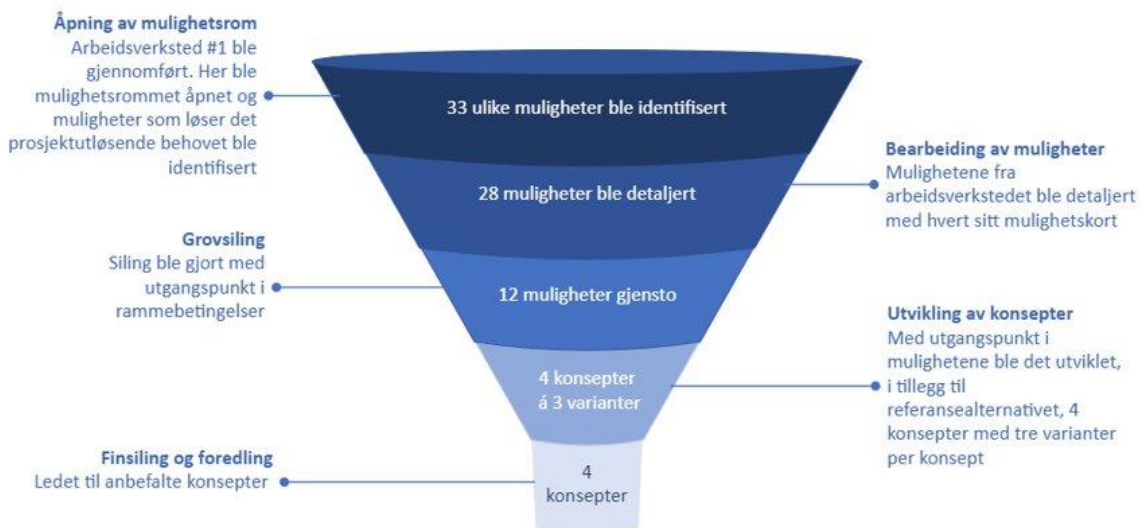
6.1 Formål og rammer

Gjennom mulighetsstudien identifiseres mulige løsninger på det prosjektutløsende behovet. Mulighetene dokumenteres, slik at det er mulig å se hvilke løsninger som er vurdert, hvilke som er videreført, og hvilke som er silt bort og hvorfor. Denne dokumentasjonen er gitt som vedlegg 03. Videre gjøres det en vurdering av hvilke av løsningene som er mest aktuelle, og bør utvikles videre til konsepter. Konseptene utredes så i alternativanalysen.

Problem, behov, mål og rammebetingelser definerer implisitt et mulighetsrom, og det ble tidlig i arbeidet med mulighetsstudien identifisert et *strukturert mulighetsrom*, som vil være innenfor rammene av ERTMS og ulike grader av automatisert togframføring.

6.2 Tilnærming til undersøkelsen av mulighetsrommet

Mulighetsstudien er organisert som en trakt, der den innledende fasen samler flest mulig aktuelle løsninger, mens de neste fasene har som formål å identifisere de mest aktuelle løsningene som best belyser mulighetsrommet og møter det prosjektutløsende behovet. Hver fase inneholder forberedelse, arbeidsverksted og oppsummering/systematisering.



Figur 6-1 Oversikt over fremgangsmåte og metoder for å åpne mulighetsrommet og utvikle konsepter





Fase1: Åpning av mulighetsrommet

For å åpne mulighetsrommet er firetrinnsmetodikken benyttet. Metodikken innebærer en strukturert prosess der en først vurderer løsninger som reduserer behovet for tiltak, så vurderer man om det finnes løsninger som gir mulighet for optimalisering av dagens infrastruktur, så vurderes aktuelle mindre tiltak, før større investeringer vurderes. Denne fasen gir et bredt tilfang av mulige løsninger og sikrer at også mindre

tiltak eller grep for optimalisering av dagens infrastruktur videreføres til analysefasen. Fasen omfatter også dokumentasjon av løsninger, slik at også løsninger som siles vekk er sporbare.

Fase 2: Systematisering av muligheter

Innretningen av KVV-en definerer et strukturert mulighetsrom, der den ene aksen gis av signalsystemet (besluttet ERTMS nivå 2, og senere oppgraderinger). I KVV-en forutsettes det at ERTMS er innført med den standarden som er planlagt i pågående utbygging. For å sikre at KVV-en også tar høyde for en videre utvikling av ERTMS, er neste generasjons ERTMS- funksjonalitet også vurdert som en mulig videreutvikling av konseptene. Neste nivå av ERTMS innebærer bl.a. mulighet for tettere togkjøring. Den andre aksen gis av ulike nivåer av automatisk togframføring (nivå 1-4), altså fra dagens måte å kjøre tog på, via selvkjørende tog med fører, tog som er selvkjørende, men fremdeles bemannet, og til førerløse tog. I tillegg til det strukturerte mulighetsrommet har fase 1 gitt en rekke muligheter som ligger utenfor det strukturerte mulighetsrommet, og som også er videreført til fasen med grovsiling.

	ERTMS L2	ERTMS HL3	ERTMS L3
GoA 1			
GoA 2			
GoA 3			
GoA 4			

Figur 6-2 Det strukturelle mulighetsrommet

Fase 3: Grovsiling

Første silingsrunde er gjort med utgangspunkt i rammebetingelsene for prosjektet. For eksempel er løsninger som ikke utnytter ERTMS, eller bidrar til automatisering av togframføringen, silt bort.

Det er i tillegg utledet to rammebetingelser fra det overordnede samfunnsbehovet:

- Løsningene kan ikke påvirke samfunnssikkerheten negativt
- Løsningene skal bidra til en bærekraftig utvikling av jernbanen

Bestilling og samfunns mål gir et relativt avgrenset mulighetsrom. Rammebetingelsene som er videreført fra det overordnede samfunnsbehovet gir snarere et bredere enn et mer avgrenset mulighetsrom. Rammebetingelsene har ikke i vesentlig grad bidratt til siling av løsninger, men er brukt videre for å diskutere konsekvenser av de videreførte løsningene for viktige overordnede samfunnsbehov.

Det er gjort en overordnet vurdering av de videreførte konseptenes oppfyllelse av rammebetingelsene i kapittel 7.5.

Fase 4: Finsiling

I finsilingsfasen er kunnskapen om innholdet i de ulike løsningene brukt til å sile bort løsninger som i mindre grad er sannsynlige kombinasjoner av de ulike aksene i det strukturerte mulighetsrommet. Gjennom finsilingen er det også lagt vekt på å videreføre konsepter som enten er gjensidig utelukkende, eller tilsvarer ulike ambisjonsnivå.

6.3 Kartlagte muligheter gjennombruk av firetrinnsmetodikken

Firetrinnsmetodikken er benyttet for å åpne mulighetsrommet. Den trinnvise gjennomgangen gir en vurdering av aktuelle og mindre aktuelle tiltak, som så i ulike kombinasjoner er videreført som alternativer i alternativanalysen.

6.3.1 Trinn 1: Løsninger som bidrar til å redusere behovet for tiltak

Tiltak på trinn 1 har som mål å redusere behovet for transport, og dermed redusere behovet for tiltak. Som regel består konsepter på dette trinnet av en serie ulike tiltak, da det som regel ikke oppnås tilstrekkelig effekt med kun ett eller noen få grep. Kombinasjon av tiltak som spenner over et bredt spekter, og med innhold som jernbanesektoren ofte ikke rår over, gjør også effekten av en samlet tiltakspakke vanskelig å måle.

Mulighet	Beskrivelse
T.1.1 Redusere etterspørsel etter transport gjennom innretting av samfunnet	<ul style="list-style-type: none">• Redusere behovet for arbeidsreiser ved å stimulere til et mer fleksibelt arbeidsliv og økt bruk av hjemmekontor.• Redusere behovet for handelsreiser og lignende ved å plassere tilbud av butikker og offentlige tjenester i nærheten av der folk bor.• Bedre knutepunktutvikling og økt grad av samlokalisering av arbeidsplasser, butikker og offentlige, kommunale og private tjenester. Vil redusere transportbehovet ved at én reise kan dekke flere behov• Økt lokal produksjon vil redusere behovet for transport av varer over lengre distanser.
T.1.2 Redusere togtilbudet og overføre reiser til andre transportmidler	Redusere antall togavganger, slik at togreisende isteden vurderer alternative transportmidler. I tillegg vil reiser som ikke ansees som nødvendige kunne falle bort. Avhengig av reiserelasjon og -hensikt er aktuelle alternative transportmidler rutebuss, ekspressbuss, fly og bil.
T.1.3 Prismekanismer for å oppnå bedre fordeling av etterspørselen	<p>Tidsdifferensiert prising av togreiser er et tiltak som kan fordele etterspørselen jevnere utover døgnet ved å flytte reiser fra perioder med høy etterspørsel (rush) til perioder utenfor rushtiden hvor det er ledig kapasitet på togene.</p> <p>Tidsdifferensiert prising kan for eksempel gjøres ved at prisene for togreiser utenfor rushtiden er rimeligere enn i rushtid. Dette vil gi et incentiv til de som ikke har et strengt behov for å reise i rushtid til å gjennomføre reisen sin når kostnaden er lavere.</p>
T.1.4 Endre relativ prioritering mellom kapasitet i togtilbudet og opprettholdelse av punktlighet	Kapasitetsutnyttelse og punktlighet kan ses på som omvendt proporsjonale, og spesielt når man når en viss grad av kapasitetsutnyttelse, vil det gå på bekostning av punktligheten. Myndigheten som styrer jernbanesektoren i et land, må derfor ta en avgjørelse på om det er viktigere å kjøre så mange tog som mulig eller å ha god punktlighet.
T.1.5 Mer effektiv passasjerutveksling	<p>En mulighet for mer effektiv togtrafikk og økt punktlighet er å iverksette tiltak som gir mer effektiv passasjerutveksling. Dette kan være tiltak som</p> <ul style="list-style-type: none">• Informasjon og opplæring av passasjerer• Fordeling utover plattform• Grindere ved dørene til toget• Åpning av dører tidligere (i Sveits åpner dørene mens toget retarderer, i 3 km/t)• Åpne dører raskere

<p>T.1.6 Øke makshastighet</p>	<p>ERTMS kan endre kjøreradferden, fordi den er mer restriktiv. Dagens ATC-system tillater fører å kjøre opp til 9 km/t over skiltet hastighet, mens ERTMS er noe mer restriktiv og har en grense på 7,5 km/t på det meste av jernbanenettet. I tillegg varsler systemet føreren bl.a. med lydsignaler, hvis skiltet hastighet overskrides. Mer restriktiv overvåking kan føre til at tog blir liggende noe under maksimalt tillatt hastighet. For å opprettholde samme hastighet som i dag, kan skiltet hastighet heves.</p>
<p>T.1.7 Optimalisere bremsekurver</p>	<p>Optimalisere bremsekurver for ERTMS for de nyinnkjøpte passasjertogene til Norske tog for å kunne kjøre togene tettere og øke strekningskapasiteten. Målet er å kjøre togene så tett opp til bremsekurvene som mulig. Bremsekurvefunksjon er spesifisert i ERTMS-standard og kan ikke endres uten at standarden endres, men det jobbes med en endringsanmodning for å optimalisere bremsekurvene ytterligere. Dersom spesifikasjonsendringen blir gjennomført, kan nye tog bestilles for å kunne kjøres iht. optimaliserte bremsekurver.</p>

Vurdering av løsninger på trinn1

T.1.1 - 2 vil kreve tiltak som jernbanesektoren ikke rår over alene, eller tiltak som er i strid med gjeldende politikk, og videreføres ikke som del av konseptene som analyseres.

T.1.3 - 5 innebærer tiltak som til en viss grad vil bidra til å avbøte effektene av de omtalte problemene, men ikke i vesentlig grad føre til at det prosjektutløsende behovet dekkes.

T.1.6 - 7 omtaler muligheter som er regulert av egne regelverk og standarder for ERTMS, blant annet felles Europeiske TSI-er (Technical Specifications for Interoperability). Disse kan ikke endres av ett enkelt land, men norsk jernbanesektor kan bidra til å påvirke regelverket over tid. Økning av hastighet (jf. T.1.6) er en mulighet som utgår, da hastighet er fastsatt i tråd med infrastrukturens standard, og denne ikke kan overskrides av sikkerhetshensyn.

6.3.2 Trinn 2: Utnytte dagens infrastruktur bedre

Tiltak på trinn 2 har som mål å dekke transportbehovet ved å effektivisere bruken av den tilgjengelige infrastrukturen.

Mulighet	Beskrivelse
<p>T.2.1 Optimalisering av kjøremønster /-adferd pr. strekning</p>	<p>Optimalisering av kjøremønster pr. strekning/avgang med statisk optimalisering iht. den aktuelle ruteplanen. I tillegg er det mulighet for en «on the fly»-optimalisering i lys av trafikkinformasjon og eventuelle avvik på den enkelte avgang. Optimaliseringen skjer med utgangspunkt i rutetabellen og krever at førerne læres opp i bruk av informasjonen.</p> <p>Løsningen krever at et optimalt kjøremønster blir utarbeidet, og at informasjonen blir tilgjengelig for fører. Løsningen kan med fordel kombineres med bedre info fra togledelsen, slik at hastigheter kan tilpasses neste signal o.l. Informasjonen kan tilgjengeliggjøres på eksisterende digitale flater for fører.</p> <p>Tiltaket kan gi mer energieffektiv kjøring, og redusere energikostnadene og CO2-utslipp på ikke-elektrifiserte strekninger. Kan også gi gevinst ved reduserte vedlikeholdskostnader på kjøretøy</p>
<p>T.2.2 Utnytte automasjonsmuligheter i TMS</p>	<p>Utnytte muligheter i det nye trafikkstyringssystemet (TMS) som et alternativ til å investere i ATO. Muligheter for både bedre informasjon til førere og bedre håndtering av avvik, eksempelvis når tog må velge annen plattform (avvik i stedet for hovedspor) som påvirker punktligheten. Trafikkstyringssystemet kan bistå med å finne den mest</p>

	<p>optimale konfliktløsningen (konfliktløsning ved hjelp av AI). Bedre programvare for både kryssing og forbikjøring (persontog forbi godstog). Den nye TMS-en kan planlegge dette tidligere, slik at man ikke trenger å vente til persontoget har tatt igjen godstoget.</p> <p>Potensielle effekter av tiltaket er økt kapasitet, bedre punktlighet, mindre følgeforsinkelser, mer energieffektiv kjøring og lavere vedlikeholdskostnader.</p>
<p>T.2.3 Prediktivt vedlikehold</p>	<p>Prediktivt vedlikehold er tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheter. Dette kan blant annet være sensorer for infrastrukturstatus på tog eller sporveksler som varsler før komponenter svikter. Med bedre vedlikeholdt infrastruktur og kjøretøy vil man kunne unngå forsinkelser og stopp i trafikken som innvirker på målet om bedre punktlighet.</p> <p>En overgang fra korrektivt til preventivt, indikasjonsbasert, vedlikehold vil også være av betydning. Infrastruktureier kan bruke droner, kameraer og satellitt for å drive tilstandsovervåkning av infrastrukturen. Sensorer for overvåkning kan installeres f.eks. på togene og i infrastrukturen. Dette gir mindre behov for å visitere.</p>

Vurdering av løsninger på trinn 2

T.2.1-T.2.2 vil naturlig være del av konseptene som videreføres, men vil ikke alene være tilstrekkelige, og effekten vil være avhengig av fører.

T.2.3 utvikles og videreføres av Bane NOR gjennom flere prosesser, og er en del av referansen. Prediktivt vedlikehold forutsetter ikke ERTMS som signalsystem, men innføring av ERTMS gir mulighet for overvåkning og diagnose av hele signalsystemet.

6.3.3 Trinn 3: Mindre tiltak eller investeringer

På trinn 3 er målet å møte det prosjektutløsende behovet gjennom tiltak med et mindre omfang og begrensede investeringsbehov. Følgende løsninger er vurdert:

Mulighet	Beskrivelse
<p>T.3.1 Driver Advisory System (DAS/C-DAS)</p>	<p>Muligheten innebærer at et sentralt system, det fremtidige trafikkstyringssystemet (TMS), gir fører informasjon om optimal kjørehastighet basert på tidtabell. For løsningen benevnt C-DAS (Connected DAS) kan det i tillegg benyttes sanntidsberegninger av aktuell togproduksjon for hele jernbanenettet. Dersom et tog får stoppsignal lenger frem på strekningen, er det unødvendig å ligge i topphastighet, da høyere hastigheter koster mer energi og fører til mer slitasje. For å kunne kjøre med optimal hastighet, må imidlertid fører få denne informasjonen. C-DAS fordrer investering i et slikt system, og knytte det opp mot trafikkstyringssystemet (TMS). Det vil også være behov for datakommunikasjon for å gi denne informasjonen til føreren underveis. Potensielle effekter av tiltaket er økt kapasitet, bedre punktlighet, mindre følgeforsinkelser, mer energieffektiv kjøring og lavere vedlikeholdskostnader.</p>
<p>T.3.2 Automasjon av kobling og avkobling av vogner for godstog</p>	<p>Sammensetning av godstog gjøres fremdeles manuelt, og det går med mye tid til kobling av vogner og strøm, registrering av vogner og gjennomføring av bremseprøver. Innføring av Digital Automatic Coupling (DAC) kan automatisere og effektivisere prosessen med sammensetning</p>

	av godstog. DAC vil muliggjøre togintegritet for lok og vogner, noe som er nødvendig for å ta i bruk ERTMS nivå 3.
T.3.3 Automatisering av vending og hensetting	Denne muligheten antas å ha et betydelig potensial. Manuelle operasjoner er tidkrevende, og automatisering kan gi redusert arbeidstid for førere. Samtidig er automatisering av funksjonene mindre kompleks, og krever mindre tilleggsinvesteringer enn automatisering av funksjoner hvor det er reisende om bord.
T.3.4 Automatisering på områder som terminaler	Automatiske godsterminaler kan gi mulighet for automatisk skifting og omlastning. Automatikk finnes allerede i forbindelse med registrering og sortering, og kan utvikles videre til automatisk rangering av gods og automatisk bygging av togstammer.
T.3.5 Automatisering av lukkede godstrafikkssystemer	Det er ikke mange slike lukkede strekninger i Norge, men de er lettest å finne innenfor systemgodssegmentet (bulk). Ett eksempel er kalktransport på Brevikkbanen, som i svært liten grad forstyrres av annen trafikk. Den skal imidlertid legges ned om 9-12 år. Mulighetens potensiale er først og fremst knyttet til reduserte kostnader.
T.3.6 Autonome boggier	Konseptet muliggjør transport og lasting eller lossing av små mengder gods av gangen, og potensielt et mer desentralisert nettverk for frakt av gods, uten behov for store terminaler for å håndtere lange godstog. Transporten er førerløs, og framdriften er knyttet til hver transportert enhet. (f.eks. har Parallel Systems utviklet et konsept for førerløs transport av små mengder gods)

Vurdering av løsninger på trinn 3

T.3.1 videreføres til alternativanalysen som en løsning som utnytter funksjonaliteten i det nye signalsystemet, men uten å måtte innføre ATO i det rullende materiellet. C-DAS vurderes som en lav grad av automatisering av togfremføringen. Selv om ikke selve kjøringen av toget automatiseres, representerer muligheten en automasjon av informasjonsflyt, slik at kjøringen kan optimaliseres dynamisk etter gjeldende trafikkbilde.

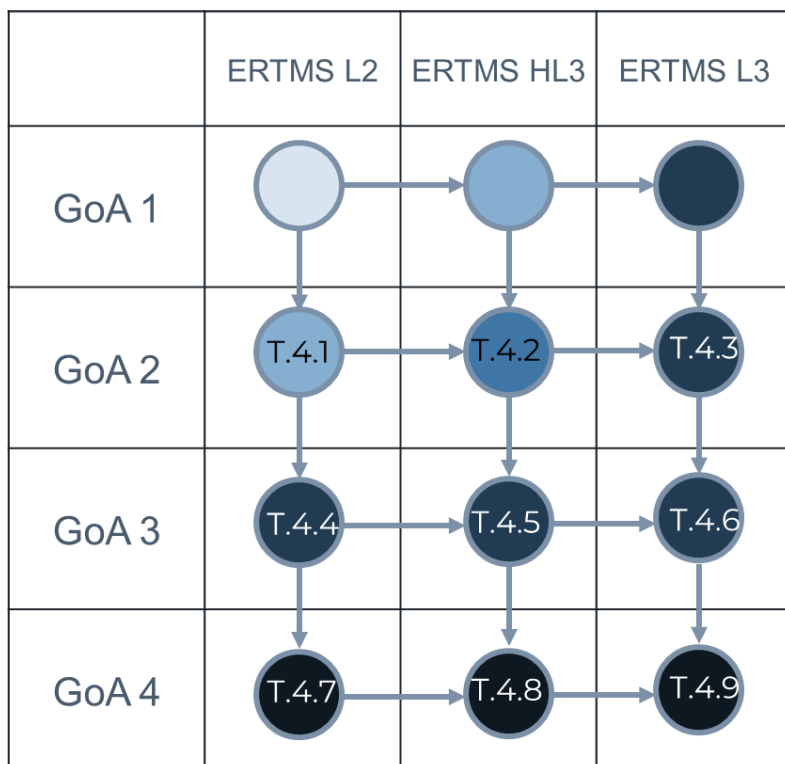
T.3.2 vil være en naturlig del av videreutvikling av ERTMS til neste nivå, ERTMS hybridnivå 3/nivå 3, og er et område det er gjort mye utviklingsarbeid, blant annet i regi av Europe's Rail. I denne KVVU-en vil ikke løsningen være omfattende nok til å utgjøre et eget konsept, men grensesnittet til videreutvikling av ERTMS omtales som del av konseptene.

T.3.3 utgjør ikke et eget konsept for automasjon av togfremføringen, men vil være en del av videre detaljering/implementering i konseptene der løsningen inngår.

T.3.4-T.3.6 omhandler kun godstrafikken, og løsningene må ses i en større sammenheng der håndtering av gods på terminaler utredes. Tiltakene er ikke videreført som egne konsept, da KVVU-en ser på togframføring generelt.

6.3.4 Trinn 4: Mer omfattende tiltak

På det fjerde trinnet åpnes det for større investeringer i løsninger som kan bidra til å møte de kartlagte problemene og gi måloppnåelse. Tidligere er det strukturerte mulighetsrommet omtalt, og definert som muligheten for å kombinere ERTMS med ulike nivåer av automatisk togframføring. De ulike punktene i matrisen representerer ulike konseptuelle muligheter, men kan også ses på som steg i en trinnvis utvikling.



Figur 6-3 Løsninger som er vurdert i det strukturelle mulighetsrommet, gjennomgått i neste oversiktstabell

ATO kan innføres på fire ulike nivåer. På automatiseringsnivå 1 (GoA 1) foregår automatiseringen gjennom ATC-systemet, som sikrer at fører ikke kan kjøre raskere enn maksimalt tillatt hastighet. På nivå 2 kjøres toget automatisk, inkludert start og stopp, men fører er fremdeles på plass i førerrommet og har ansvaret for sikkerheten i togframføringen. På nivå 3 har et digitalt støttesystem tatt over ansvaret for sikkerheten ved togframføringen, men det er fremdeles personell om bord som kan ta over styringen av toget ved behov. Ved GoA 4 er toget helautomatisert uten ombordpersonell.

Den andre dimensjonen i mulighetsrommet gis av ERTMS. ERTMS er definert i 3 nivåer, hvor nivå 2 er planlagt bygget ut i Norge i løpet av de neste 10-15 årene. På nivå 2 flyttes informasjonen som i dag gis med lyssignaler og baliser ute langs sporet inn i et førerpanel, og sammen med annen informasjon om infrastrukturen gir dette føreren bedre oversikt over sporet foran toget og restriksjoner i infrastrukturen. Neste trinn er ERTMS nivå 3, der toget selv forteller siktingsanlegget hvor det befinner seg og beregner sikker avstand til andre tog. Det forutsetter at toget selv har tekniske systemer om bord som blant annet overvåker at alle vogner er til stede og henger sammen (togintegritet). Det er i mange sammenhenger også beskrevet en kombinasjon av nivå 2 og 3 for togdeteksjon, som kalles Hybrid nivå 3, selv om dette ikke er et definert nivå i spesifikasjonen fra ERA.

Mulighet	Beskrivelse
T.4.1 GoA2 med ERTMS nivå 2	Denne muligheten kan gi redusert togframføringstider, lavere energiforbruk, redusert slitasje og mindre vedlikehold på kjøretøy og infrastruktur, og mer effektive kryssinger på enkeltspor.
T.4.2 GoA2 med ERTMS hybrid nivå 3	I tillegg til mulighetene omtalt i T.4.1 gir løsningen mulighet for ytterligere økt kapasitet på tett trafikkerte strekninger.
T.4.3	I tillegg til mulighetene omtalt i T.4.1 gir ERTMS nivå 3 økt kapasitet pga. flytende blokk, hvor tog kan kjøre i bremseavstand. ERTMS nivå 3 gir

GoA2 med ERTMS nivå 3	reduisert omfang av teknisk utstyr i infrastrukturen, noe som også reduserer drift- og vedlikeholdskostnader og gir økt oppetid og punktlighet som følge av færre feilkilder.
T.4.4 GoA3 med ERTMS nivå 2	I tillegg til mulighetene i T.4.1 tilkommer reduserte operasjonelle kostnader, siden behovet for fører forsvinner. Dette kan bidra til at forsinkelser og innstillinger knyttet til logistikk av personell reduseres.
T.4.5 GoA3 med ERTMS hybrid nivå 3	I tillegg til effekten omtalt i T.4.4 kommer muligheten for å kjøre tog tettere.
T.4.6 GoA3 med ERTMS nivå 3	Tilleggseffekten for denne kombinasjonen er kapasitetsgevinsten fra å kjøre tog tettere, og færre fysiske komponenter som trenger vedlikehold.
T.4.7 GoA4 med ERTMS nivå 2	GoA4 med ERTMS nivå 2 har de samme fordelene som GoA3 med ERTMS nivå 2, men reduserer operasjonelle kostnader ytterligere siden det tar vekk behovet for ombordpersonell. Forsinkelser og innstillinger knyttet til logistikk av personell kan elimineres.
T.4.8 GoA4 med ERTMS hybrid nivå 3	GoA4 med ERTMS hybrid nivå 3 har de samme fordelene som GoA3 med ERTMS hybrid nivå 3, men reduserer operasjonelle kostnader ytterligere siden det tar vekk behovet for ombordpersonell. Forsinkelser og innstillinger knyttet til logistikk av personell kan elimineres.
T.4.9 GoA4 med ERTMS nivå 3	GoA4 med ERTMS nivå 3 har de samme fordelene som GoA3 med ERTMS nivå 3, men reduserer operasjonelle kostnader ytterligere siden det tar vekk behovet for ombordpersonell. Forsinkelser og innstillinger knyttet til logistikk av personell kan elimineres.
T.4.10 Satellittposisjonering	<p>Togets posisjon angis via satellitt med GNSS-system (Global Navigation Satellite Service). GNSS-systemer baserer seg på satellitter som går i bane omtrent 20 000 km over jordoverflaten. På grunn av den store avstanden til satellittene er signalet på bakken svært svakt og man må i praksis ha fri sikt til satellitten. Det vil derfor kreves ekstra utstyr for å benytte systemet for posisjonering på områder uten fri sikt.</p> <p>Muligheten fjerner eller reduserer sterkt behovet for baliser, noe som gir mindre omfang av teknisk utstyr i sporet og lavere FDV-kostnader.</p>

Vurdering av løsninger på trinn 4

Trinn T4.1-T4.9 Tiltakene omfatter kombinasjoner av utviklingsnivå for ERTMS og ATO. I siste silingsrunde ble de ulike kombinasjonsmulighetene silt med formål om å finne konsepter som best mulig illustrerer ulike utviklingstrinn, og med hensyn til en logisk tidsmessig innfasing av løsningene. Dette er ytterligere beskrevet i kapittel 6.4.

T.4.10 satellittposisjonering

Systemer for å lokalisere tog er en del av signalsystemene, og brukes for å sikre togtrafikken, dvs. å hindre kollisjon eller avsporing. Historisk sett var signalsystemer spesifikke for hvert land. Interoperabilitet over hele Europa oppnås gjennom det nye signalsystemet ERTMS.

Dagens ERTMS-system er avhengig av at toget selv løpende registrerer sin egen posisjon (ved hjelp av odometri) om bord i togmateriellet, og kombinerer dette med et fysisk posisjonssystem i sporet (baliser).

For å øke jernbanens ytelse og bærekraft, kan toget selv kontinuerlig beregne sin egen posisjon og hastighet ved å kombinere informasjon fra forskjellige lokaliseringssystemer, bl.a. fra EGNSS. Bruken av

satellittbaserte lokaliseringssystemer kan allerede starte med ERTMS nivå 2, men er spesifisert for ERTMS nivå 3.

Satellittposisjonering er vurdert som en systemendring, men ytelsen vil ikke være konseptuelt annerledes enn det eksisterende posisjoneringssystemer gjør. Muligheten representerer derfor ikke noen form for økt automasjon, og løsningen videreføres ikke som eget konsept. Selv om behovet for baliser antakelig fjernes eller sterkt reduseres, ivaretar ikke løsningen dobbelbarriereprinsippet (flere barrierer for økt sikkerhet), særlig tatt i betraktning at man ser at GNSS-posisjonering i noen grad er sårbart for fiendtlig hacking, som mulig kan forskyve posisjonsinformasjon.

6.4 Utforming av konsepter for videre analyse

Gjennom arbeidet med siling og kombinerings av løsninger til helhetlige konsepter, er det lagt vekt på å definere konsepter som får fram ulike virkninger, og som utgjør ulike ambisjonsnivå for å møte det prosjektutløsende behovet.

1. Ved å videreføre et «optimaliseringskonsept» fra trinn 3 (jf. T.3.1) vil videre analyser kunne identifisere effekten av å hente ut mest mulig sanntidsinformasjon fra ERTMS-infrastrukturen og presentere dette som veiledning og beslutningsstøtte til fører gjennom et førerveiledningssystem (C-DAS), men uten at det investeres i ATO i togene. **Dette vil i den videre vurderingen beskrives som konsept A.**
2. Det neste trinnet i en utvikling er definert som innføring av «selvkjørende tog», der analysene vil vise effekten av å innføre ATO på nivå 2 på vedtatt ERTMS investering (jf. T.4.1) Gjennom dette konseptet analyseres effekten av en innføring av ATO som tillegg til ERTMS. **Dette vil i den videre vurderingen beskrives som konsept B.** Det vil som del av alternativanalysen også belyses hvilken effekt en innføring av ATO med funksjonaliteten «selvkjørende tog» vil ha, dersom også neste utviklingstrinn av ERTMS, ERTMS nivå 3, innføres i Norge.
3. Det siste konseptet som videreføres belyser en mulig utvikling på lang sikt, der ERTMS finnes på vedtatt nivå, kombinert med ATO på høyeste nivå, altså førerløse tog med eller uten ombordpersonell (jf. T.4.6 og T.4.9). Ved å videreføre et slikt konsept, vil analysene vise både effekten av å fjerne eller redusere bemanning av togene, og hva som skal til for at dette konseptet skal kunne opprettholde en sikker togframføring. **Dette vil i den videre vurderingen beskrives som konsept C.** Likeledes som for konsept B, vil det også for konsept C vurderes hvilken effekt en innføring av ATO på høyeste nivå vil ha dersom også neste utviklingstrinn av ERTMS, ERTMS nivå 3, innføres i Norge

Oppsummering: Følgende konsepter videreføres til alternativanalysen:

Nullalternativet

Tilsvarende referansesituasjonen for NTP 2025-2036, og forutsetter at ERTMS nivå 2 er utbygget i hele landet.

Konsept A: Førerstøtte

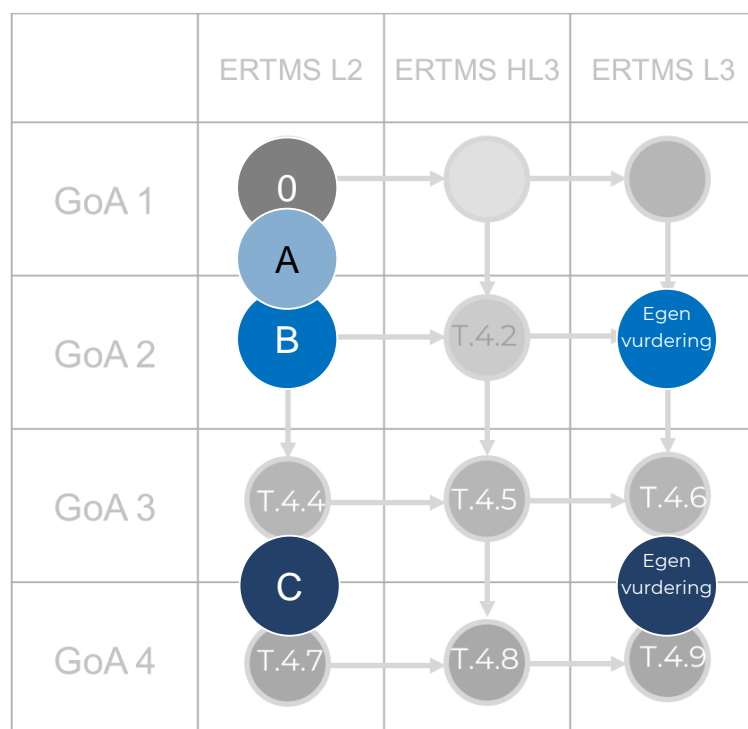
Optimaliseringskonseptet inneholder løsninger for førerstøtte som er digitale og i sanntid, men som ikke innebærer at toget er selvkjørende. Overgangen fra nullalternativet til optimaliseringskonseptet innebærer en innføring av automasjon rundt toget og sanntidsinformasjon til fører, slik at fører gis de samme forutsetningene som et selvkjørende tog. Dette konseptet forventes å gi virkninger i form av spart kjøretid og muligens energieffektivisering, med en relativt lav investering.

Konsept B: Selvkjørende tog

Konseptet innebærer at toget kjører automatisk mellom stasjoner, men det er en fører til stede som setter i gang og overvåker den automatiske kjøringen. Ansvar for sikkerheten i togframføringen ligger fortsatt hos fører som i dag. Konseptet vil vise virkningen av å innføre ATO på dagens ERTMS løsning, og hvilken kostnad dette vil ha. Det vil også belyses hvilken virkning en innføring av ATO med funksjonaliteten «selvkjørende tog» vil ha dersom også neste utviklingstrinn av ERTMS, altså ERTMS på nivå 3, innføres i Norge.

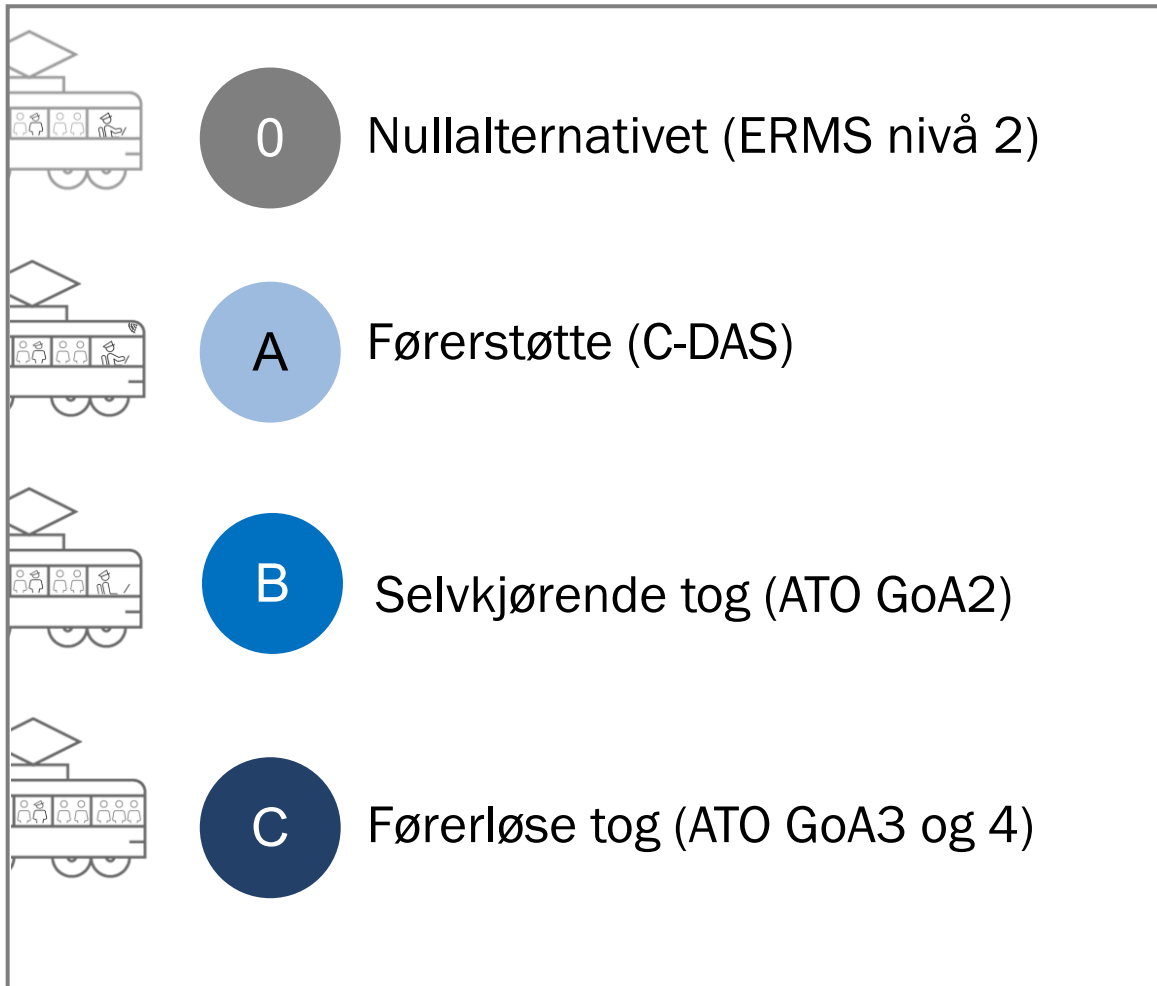
Konsept C: Førerløse tog helt eller delvis uten ombordpersonell

I konsept C utnyttes ATO-teknologiens øverste nivåer, der toget er selvkjørende og det tekniske systemet har overtatt ansvaret for togframføringen. Konseptet inneholder flere tilleggssystemer utover ATO for å sørge for at sikkerheten er ivaretatt. Dette omfatter også elementer med langt lavere modenhet enn de foregående, og har forutsatt egne risikovurderinger. Det vil vurderes hvilken virkning og effekt en innføring av ATO på høyeste nivå vil ha, dersom også neste utviklingstrinn av ERTMS til nivå 3 innføres i Norge.



7 Alternativanalyse

I alternativanalysen videreføres de mest interessante og realistiske konseptuelle løsningene fra mulighetsstudien til en samfunnsøkonomisk analyse, der ulike alternativer sammenliknes med nullalternativet. Det vurderes i hvilken grad alternativene oppnår fastsatte mål og rammebetingelser, og hvilke virkninger alternativene gir. Analysen gir grunnlag for en rangering av alternativ og en anbefaling om konseptvalg og videre arbeid.



Figur 7-1 Oversikt over alternativer som analyseres

7.1 Forutsetninger for analysen

7.1.1 ERTMS er innført

Alle alternativene, inkludert nullalternativet, legger til grunn at ERTMS nivå 2 er ferdig utrullet på hele det norske jernbanenettet, at det finnes et hensiktsmessig og fungerende kommunikasjonssystem og at dagens trafikkstyringssystemer erstattes av ett enkelt, helhetlig, trafikkstyringssystem (TMS).

I arbeidet med denne KVVU-en har vi lagt til grunn ERTMS spesifikasjonen fra TSI CCS for 2016, som ligger til grunn for implementeringen av ERTMS i Norge. I noen sammenhenger er det henvist til forslag til TSI CCS 2023. TSI CCS 2023 er den første spesifikasjonen som beskriver krav til interoperabilitet for automatisk togframføring ATO. Godkjenningen av TSI CCS 2023 kom helt på slutten av arbeidet, og det var ikke mulig å innarbeide den fullt ut i rapporten.

7.1.2 Togtilbudet tilsvarer referansesituasjonen for NTP 2025-2036

For trafikk og utbygging av infrastruktur baserer alle alternativene, i tillegg til nullalternativet, seg på referansesituasjonen for NTP 2025-2036. Referansesituasjonen omfatter togtilbudet som muliggjøres av de bundne prosjektene ved inngangen til en ny NTP- periode, og er gjengitt i: [NTP 2025-2036: Utredningsoppdrag - svar fra transportvirksomhetene til leveranse med frist 1. oktober 2022 - regjeringen.no](#), [Statens vegvesen \(regjeringen.no\)](#),

Ved å holde togtilbudet konstant, vil analysene vise hvilken effekt ulike grader av automatisering av togtrafikken kombinert med ulike nivåer av ERTMS gir.

7.1.3 Konseptvalgutredning for nytt datakommunikasjonssystem for tog – FRMCS

Dagens mobiltelefonsystem for jernbanen (GSM-R) ivaretar datakommunikasjonen mellom ERTMS infrastruktur og togets ERTMS-datamaskin. GSM-R vil imidlertid nå sin estimerte levetid om rundt ti år, og det pågår derfor et arbeid i regi av ERA (European Union Agency for Railways) og industriens parter med å spesifisere det fremtidige kommunikasjonssystemet for jernbane – Future Railway Communication System (FRMCS). Det vil være behov for å erstatte GSM-R-nettet med FRMCS uavhengig av en investering i ATO. Jernbanedirektoratet utarbeider en KVVU for FRMCS – ny togradio, parallelt med denne KVVU-en. I referansealternativet er derfor ikke FRMCS inkludert, ettersom dette KVVU-arbeidet ikke er slutført, og det ikke foreligger en investeringsbeslutning.

7.1.4 Konseptvalgutredning for reduserte klimagassutslipp på jernbane – KVVU GREEN

Det pågår et parallelt KVVU-arbeid for valg av konsept for å redusere klimagassutslipp fra jernbanen. Som del av arbeidet med KVVU for reduksjon av klimagassutslipp fra bane er ulike automasjonsløsninger for mer energibesparende kjøring nevnt som et mulig klimatiltak. Energioptimalisering utgjør ikke et eget alternativ, men anbefales som et tiltak som kan kombineres med konseptene som utredes. I KVVU for bedre utnyttelse av ERTMS gjennom ATO, vurderes effekter i form av energioptimalisering. Løsninger som bidrar til bedre energiutnyttelse, vil derfor kunne øke effekten av tiltak som anbefales i KVVU for reduksjon av klimagassutslipp.

7.1.5 Digital automatisk kobling av togmateriell (Digital Automatic Coupling – DAC)

I ERTMS nivå 3 vet toget selv hvor det befinner seg og beregner sikker avstand til andre tog. Det forutsetter at toget selv vet hvor langt det er og har tekniske systemer om bord som blant annet overvåker at alle vogner er til stede og henger sammen (togintegritet).

I et motorvognsett er alle vognene fra samme leverandør og de er designet for å sitte tett sammen, og systemet kan bedre ivareta togintegritet. For lokomotiv og vogner er det mer krevende å ivareta togintegriteten, særlig for godstog, der vognene ofte har et lavt teknologisk nivå.

Det pågår et europeisk prosjekt for å utvikle en digital automatisk kobling, DAC (digital automatic coupling). Et slikt system innebærer ikke bare at togintegritet kan oppnås, men gir også muligheter for å automatisere deler av det manuelle arbeidet som gjennomføres når godstog settes sammen.

Ved vurdering av konsept B og C opp mot utbygging av ERTMS nivå 3, forutsettes det at utfordringen med togintegritet er løst, slik at ERTMS på nivå 3 kan utnyttes optimalt.

7.1.6 Opprettholdelse av sikkerhet på jernbanenettet

Sikkerhetsforskriften definerer sikkerhetskrav for det norske jernbanenettet, og denne er operasjonalisert gjennom det enkelte jernbaneforetaks sikkerhetsstyringssystemer og underlagt kontroll av Jernbanetilsynet. Tekniske systemer med sikkerhetskritiske funksjoner er regulert av europeiske standarder som også gjelder i Norge. Disse definerer prosessen for spesifikasjon, utvikling, verifisering og validering av slike systemer, for at de skal kunne godkjennes og tas i bruk. Ansvaret for trygg togfremføring i den operative driften er delt mellom trafikkstyringssentralen (ved toglederen), togføreren og ombordansvarlig. Ansvarfordelingen blir påvirket av ulike grader av automasjon, ved at flere av oppgavene som i dag ligger til togfører og ombordansvarlig, flyttes til et sentralt datasystem og en datamaskin om bord i toget. Utviklingen understøttes ved økende grad av standardisering av løsninger for datakommunikasjon internt i togene, som vil gjøre det enklere og rimeligere å innføre nye automasjonsløsninger. Ved høyere grader av automasjon overføres mer av framføringsansvaret fra mennesker til de tekniske systemene. En oversikt over hvordan ansvaret fordeles mellom mennesker og system i de forskjellige automasjonsnivåene, er vist i vedlegg 1. I konseptene er alle tiltak som er vurdert som nødvendige for å opprettholde sikkerheten inkludert i kostnadsoverslagene. Det er gjort en egen risikovurdering for konsept C, gjengitt i vedlegg 06.

7.2 Grunnlag for analysen

7.2.1 Beregning av kostnader

Kostnadsestimatene er basert på erfaringstall fra Bane NOR og Norske tog. Det ble også sendt ut en informasjonsforespørsel til eksisterende leverandører av denne typen materiell. Formålet med informasjonsforespørselen var å få innspill fra markedsaktørene på kostnadene for de forskjellige automasjonsnivåene (GoA1-4). Leverandørene ble bedt om innspill på teknologisk modenhet, kostnader ved signalteknisk infrastruktur for ATO og ATO Ombordutrustning, og eventuelle andre kostnader leverandørene hadde kunnskap om. Bane NOR og WSP fikk relativt få svar på informasjonsforespørselen fra leverandørene. Dette kan skyldes lav teknologisk modenhet for en del av komponentene som trengs for å levere de spesifiserte løsningene. WSP har derfor supplert med erfaringstall fra andre markeder og prosjekter. Grunnlaget for kostnadsestimatet er nærmere gjennomgått i Vedlegg 07. Det ble gjennomført samling for usikkerhetsanalyse av investeringskostnadene 15. og 16. mars 2023.

I kostnadsberegninger er det forutsatt 22 First of Class kjøretøy, i tillegg til 425 øvrige kjøretøy. Dette er basert på Jernbanedirektoratets grunnlag for NTP 2025-2036. First of Class -kjøretøy involverer høyere kostnader enn påfølgende kjøretøy, fordi løsningen er ny og involverer et element av teknologisk modning. Estimaten er basert på svar fra leverandører og erfaringstall fra togeiere, herunder Norske Tog. Det er forutsatt at ATO ombordutrustning er kompatibel med ERTMS.

For førerløse tog er kostnadene beregnet for GoA4 hvor det heller ikke er ombordpersonale i toget. For å levere tilfredsstillende sikkerhetsnivå kreves det da ytterligere sikkerhetstiltak utover det de øvrige alternativene krever. Disse kostnadselementene er delt i infrastruktur langs sporet, infrastruktur på stoppesteder og sikkerhetsutrustning om bord.

Det er også gjennomført en forenklet usikkerhetsanalyse av FDVU-kostnader (Forvaltnings-, Drifts-, Vedlikeholds og Utviklingskostnader) for de ulike alternativene. Usikkerhetsanalysen ble gjennomført med en forenklet gruppeprosess 31. mars 2023, og foreligger også som eget vedlegg (Vedlegg 08).

7.2.2 Simuleringer av ytelsen i de ulike alternativene

For å evaluere i hvilken grad konseptene oppfyller effektmålene, har det blitt gjennomført simuleringer som er beskrevet i *Vedlegg 05: Rapport fra arbeidet med simulering av alternativ*. Simuleringsscenariene er utformet for å illustrere et mulig utfallsrom for effektene av de ulike konseptene.

Det er mange detaljerte egenskaper ved jernbaneinfrastrukturen, kjøretøyene og togtilbudet som til sammen gir totalytelsen til jernbanesystemet. Simuleringsmodeller vil derfor alltid måtte begrenses til noen utvalgte egenskaper innenfor definerte rammebetingelser. Scenariene som simuleres og beregnes vil derfor ikke representere virkeligheten fullt ut, men alltid inneholde større eller mindre tilpasninger som gir usikkerhet. Det er knyttet usikkerhet til både forutsetningene og tallene fra simuleringene. Så lenge usikkerheten er kjent og drøftet, vil simuleringene gi tilstrekkelig underlag for å kunne sammenligne konseptene og komme med anbefalinger.

Fra simuleringene er det undersøkt hvordan ulik grad av automasjon av togfremføringen kan gi kvantifiserte effekter for forsinkelser, togfølgetid og energibruk, dvs. indikatorene E1-1, E1-2 og E2-1 til effektmålene E1 og E2 beskrevet i kap. 4.2. Simuleringer av togframføringen er ikke egnet for å belyse de andre indikatorene.

Redusert tidsbruk fra indikatoren E1-1 gjør at hvert tog benytter mindre av tilgjengelig infrastrukturkapasitet, og størrelsen på tidsbesparelsen tilsier hvilke forbedringer som er mulige. Mindre tidsbesparelser kan bidra til bedre marginer mot ruteplanen og gi mindre forsinkelser og større punktlighet. Større tidsbesparelser kan gi redusert reisetid, eller gi flere ruteleier som øker togtilbudet. Er tidsreduksjonene store nok kan det gjøres en fordeling mellom mulighetene over, for å oppnå flere kapasitetsgevinster samtidig. Den samfunnsøkonomiske verdien av de forskjellige gevinstene vil bli styrende for hva som anbefales.

I stedet for å se på tidsbruken i seg selv, er simuleringene satt opp slik at det hentes ut ferdige aggregerte tall for to mulige måter å utnytte tidsreduksjonene:

- **Togfølgetid på dobbeltspor-strekninger:** Dette kan si noe om marginer til ruteplan som igjen reduserer sannsynligheten for forsinkelser. Men togfølgetider kan også si noe om mulighet for nye ruteleier og eventuelle utvidelser av togtilbudet, forutsatt at eksisterende marginer er opprettholdt. Begge deler har en samfunnsøkonomisk verdi.
- **Forsinkelser:** Forsinkelser oppstår som konsekvens av tilfeldige hendelser akkumulert for en blanding av togtyper innenfor simuleringsområdet i en viss tidsperiode. Reduserte forsinkelser har en samfunnsøkonomisk verdi.

For indikator E2-1 studeres energiforbruk ved framføring av tog. Bedre utnyttelse av infrastrukturkapasiteten gjennom mer aggressiv kjøring vil antakelig føre til et høyere energiforbruk, og motsatt vil lavere energiforbruk gjerne forutsette mer avslappet kjøring som fører til dårligere utnyttelse av infrastrukturkapasiteten. Høyere kapasitetsutnyttelse og lavere energiforbruk kan derfor ikke oppnås samtidig.

Det er ikke gjort simuleringer for hele infrastrukturen, men gjort målinger på et skjønnsmessig utvalg av egenskaper, situasjoner og områder.

Følgende banestrekninger er simulert:

Område 1: Østlandsområdet, sentrert rundt Oslo og mellom Oslo S og følgende stasjoner:

- Hønefoss (og videre på Bergensbanen til Veme kryssingsspor)
- Gjøvik
- Roa-Hønefossbanen mellom Hønefoss og Roa på Gjøvikbanen
- Hokksund
- Tønsberg
- Ski
- Lillestrøm

Område 2: Nordlandsbanen, strekningen Trondheim – Grong.

Område 3: Strekningen Oslo S – Ski, både Follobanen og Østfoldbanen.

Etablering av simuleringsmodeller er ressurskrevende, og en simulering av hele jernbanenettet ble ikke vurdert som mulig eller nødvendig. Hensikten med det geografiske utvalget er å finne strekninger med forskjellige typer trafikk og trafikale situasjoner som kan gi en bred indikasjon på effektene av ATO i hele infrastrukturen. Disse strekningene er også allerede prosjektert med ERTMS nivå 2. Det er verdt å merke

seg at område 3 også er inkludert i område 1. I simuleringene av trafikken for det aktuelle området er alle toglinjer som går inn og ut av områdene tatt med, jf. referansetilbudet i 0-alternativet.

Utvalget dekker ikke alle typer topografi og trafikk, og er derfor ikke representativt for hele landet. Spesielt mangler det områder for enkeltsporede strekninger og fjelloverganger, som kan være viktige for å beskrive energiforbruk, og det mangler noe isolering av data for godstrafikk. Kvantifisering av resultater for disse typene strekninger vil derfor være mer usikre.

I tillegg er simuleringene strukturert på følgende måte:

Simuleringer for både energi- og kapasitetsoptimal kjøring: Siden det ikke kan kjøres både tids- og energioptimalt samtidig, ble det for hvert konsept simulert et tidsoptimalt scenario og et energioptimalt scenario, se tabell nedenfor. Det ble samtidig registrert resultater for alle indikatorer, for å se på ytterpunktene for ytelsen innenfor utfallsrommet.

Simuleringer for både besluttet signalsystem og neste generasjons signalsystem: For å undersøke hvilken effekt ATO har på lang sikt er det også gjort simuleringer med ERTMS nivå 3. Her er først gjort simuleringer for ERTMS nivå 3 uten ATO, og så for alternativ B og C med ERTMS nivå 3 som utgangspunkt. ERTMS nivå 3 lar tog kjøre tettere etter hverandre, men påvirker ikke kjørestilen ellers, og antas derfor å ha størst kapasitetsøkende effekt på allerede tett trafikkerte områder. Disse simuleringene er derfor utelukkende gjort for område 3, for å studere effekten på en strekning med dobbeltspor og relativt homogen trafikk.

En oversikt over indikatorer og aktuelle simuleringsscenarioer er vist i tabellen under.

Simuleringsscenarioer fordelt på tre konsepter

Konsept ->	ERTMS Nivå 2					Vurdering på lang sikt: ERTMS Nivå 3				
	Alt. 0 ERTMS nivå 2	Alt. A		Alt. B		ERTMS nivå 3	Alt. B – lang sikt		Alt. C – lang sikt	
	Antatt	Tid	Energi	Tid	Energi	Antatt	Tid	Energi	Tid	Energi
E1-1 Forsinkelse E1-2 Togfølgetid - bare dobbeltspor	Ref- eranse for sc. 1, 2, 4 og 5	4a (i)	5a (i)	1	2	Ref- eranse for sc. 3 og 6	3a	3b	6a	Ikke simulert. Antatt lik 3b
E2-1 Energi- forbruk - Tilført energi										
Banestrekning	Område 1 og 2	Område 1 og 2	Område 1 og 2	Område 1 og 2	Område 1 og 2	Område 3	Område 3	Område 3	Område 3	-

For å tallfeste resultater for indikatorene E.1-1, E1-2 og E2-1 fra simuleringene er det valgt følgende parametere og måleenheter:

Indikator	Måleenhet	Kommentar
E1-1 Tidsbruk, gjennomsnittlig forsinkelse	Forsinkelsesminutter pr. tog $(\frac{min}{tog})$	Forsinkelse er angitt som gjennomsnittlig antall forsinkelsesminutter pr. tog i tidsperiodene morgenrush, ettermiddagsrush og midt på dagen. Samtidig er forsinkelsene presentert for 2 aspekter: <ul style="list-style-type: none"> Gjennomsnittlig forsinkelse for hver toglinje eller togkategori (Østlandet) ved kjøring innenfor simuleringsområdet. Gjennomsnittlig ankomstforsinkelse for alle tog ved grensestasjoner for simuleringsområdene og noen utvalgte stasjoner innenfor områdene.

		For godstog er det for simuleringsområdet Østlandet midlet over tidsperiodene morgenrush, ettermiddagsrush og hele driftsdøgnet. For de andre simuleringsområdene er det bare midlet over hele driftsdøgnet på grunn av få avganger.
E1-2 Tidsbruk, teknisk togfølgetid	Sekund (s)	Teknisk togfølgetid angir korteste tid mellom to etterfølgende tog i samme retning på en gitt strekning. Det er ikke beregnet togfølgetid på enkeltspor.
E2-1 Energi, gjennomsnittlig tilført energi	Tilført energi pr. linje akkumulert for et driftsdøgn $\left(\frac{kWh}{linje * døgn} \right)$	Det er beregnet summen av gjennomsnittlig tilført energi ved akselerasjon og kjøring ved linjehastighet innenfor simuleringsområdet for hver linje midlet over et driftsdøgn. Det er ikke beregnet tilbakeført energi ved oppbremsing. Underlagstallene er ikke sammenstilt med nedbrutte trafikk tall for togtilbudet (som setekilometer eller tonnkilometer), og ut ifra tallene fra simuleringene er det vanskelig å si noe om konsekvenser for energiforbruk utenfor simuleringsområdene eller samlet energiforbruk for hele togtilbudet.

Tallene fra simuleringene har noen begrensninger og tilpasninger som bidrar til usikkerhet.

- **Føreradfærd:** Modellering av føreradfærd er basert på relativt grove antakelser og ikke målte verdier. I Vedlegg 02 beskrives utfordringene med å finne relevante studier som tallfester førerbidraget. I simuleringsverktøyet er føreradfærd regnet som stokastisk varierende oppførsel til kjøretøyene mellom grenser som delvis er gitt fra ERTMS-regelverket (TSI CCS) og delvis basert på andre antakelser.
- **Kjøretøy:** Referansetogtilbudet er basert på generiske standardtogtyper, hvor ikke alle egenskaper er tallfestet og heller ikke stemmer direkte med faktiske kjøretøy. Absoluttverdiene fra simuleringene er basert på forenklete modeller som vil avvike fra målinger av virkelige kjøretøy. Dette er spesielt relevant for bremseegenskaper til kjøretøy etter innføring av ERTMS og ATO. Det er også gjort antakelser om andre egenskaper til kjøretøy etter innføring av ATO ombordutrustning.
- **Forsinkelser:** Som inngangsdata til simuleringene av forsinkelse er det hentet inn erfaringsdata for forsinkelse ved mindre driftsforstyrrelser fra TIOS-systemet for simuleringsområdet. Det er ikke tatt høyde for større avvik. Forsinkelsesdataene er ikke fanget opp på samme infrastruktur eller med samme kjøretøy som i referansesituasjonen fra 0-alternativet, og absoluttverdiene for punktlighet og forsinkelser vil ikke korresponderer med andre publiserte størrelser.
- **Energiforbruk:** I simuleringene er det bare vurdert tilført elektrisk energi under akselerasjon og ved vedlikehold av hastighet. Det er ikke beregnet tilbakeført elektrisk energi ved bremsing. Energiforbruk for dieselskjøretøy er regnet som netto elektrisk forbruk. For å få større marginer til ruteplan for det energioptimale simuleringsalternativet, er det antatt en redusert ytelse for hvert tog, redusert maksimalhastighet og potensiell økning av gjennomsnittlig forsinkelse. Dette må betraktes som et eksempel, og er ikke vurdert om er relevant i størrelse. Simuleringen er satt opp for å studere *endringen* i energiforbruk. Det totale energiforbruket fra simuleringene vil derfor ikke være representativt i en reell situasjon.
- **Skalering:** Simuleringene er utført på et utdrag av infrastrukturen og trafikken fra referansesituasjonen, siden bare deler av infrastrukturen er prosjektert med ERTMS foreløpig, og det ville blitt for omfattende å simulere hele landet. Simuleringsresultatene er så skalert til områder og trafikk som ikke var en del av simuleringen. Det medfører usikkerhet for områder som ikke er simulert.

7.2.3 Vurdering av førers tidsbidrag

Innføringen av ERTMS endrer mange av systemene som fører forholder seg til for å framføre et tog. Tidligere studier og målinger av førers tidsbidrag med dagens konvensjonelle signalsystemer og arbeidsforhold er dermed ikke direkte overførbare. I vedlegg O2: rapport fra arbeidet med førers tidsbidrag, er det vurdert de forskjellige aktivitetene en fører vil utføre med ERTMS, hvilke sannsynlige tidsbidrag disse aktivitetene medfører som påvirker togframføringen og potensialet de representerer for et ATO system.

I studien «Godfoten i framføring av tog, fra en lokførers perspektiv»⁵ så daværende NSB på manuell framføring av linje R10 Skien-Lillehammer med konvensjonelle signalsystemer. Gjennom målinger og intervjuer bekrefter studien at det er til dels betydelig variasjon i framføring av tog. Men studien finner ikke en systematisk sammenheng mellom punktlighetsforskjellene og variablene som ble studert.

Følgende funn og erfaringer framstår som relevante i vurderingen av førers tidsbidrag:

- Det er stor variasjon i kjøretid mellom førere ved manuell framføring. Variasjonen oppstår i forbindelse med stilling av signal og respons på signalendringer, iverksettelse og gjennomføring av avgangsprosedyre, hastighetstilpasning ved saktekjøring og hvordan det ageres, hvis forsinkelse har oppstått. Dette tilsier at ATO har potensiale til å forbedre den gjennomsnittlige ytelsen til jernbanesystemet.
- Med ERTMS vil føreren få mer informasjon om fremtidige restriksjoner langs ruten. Dette vil gi føreren bedre mulighet til å planlegge hastighetstilpasning og nedbremsing, og vurdere hva som vil gi mest kapasitetsoptimal eller energioptimal kjøring.
- Hvordan fører vil klare å utnytte tilgjengelig informasjon er i stor grad avhengig av hva føreren er trent opp til og blir målt på. Dette tilsier at førers påvirkning ikke er statisk og at det vil være et forbedringspotensial også i referansesituasjonen.
- De situasjonene hvor føreradferden ser ut til å ha størst påvirkning på framføringen og hvor automasjon mest sannsynlig vil bidra til bedre måloppnåelse er:
 - Nedbremsing til stopp ved plattform, der det er gitt kjøretillatelse forbi plattformen. Automasjonssystemer vil bl.a. innføre et kontrollert stoppunkt for alle planlagte stopp, noe som ikke er tilgjengelig i referansesituasjonen.
 - Nedbremsing mot lavere hastighet eller til slutt på togveien. Effekten er noe mindre enn i punktet over, men variasjonen i føreradferd er tilsynelatende stor, samtidig som automasjonssystemer vil kunne kjøre nærmere hastighetsgrensene for nødbrems.
 - Kryssinger på enkeltspor som er lange nok for flytende kryssing. I referansen finnes det ikke et system for å koordinere samtidig ankomst for togene til et kryssingsspor, og uten automasjon vil dette være krevende å få til.
- Forhold der automasjon sannsynligvis ikke vil påvirke eller ha begrenset påvirkning:
 - Tilpasning til fast hastighet. Cruisekontroll er tilgjengelig på de fleste persontog i dag.
 - Opphold ved plattform og andre aktiviteter der toget står stille. Lengden på oppholdet ved plattform styres primært av forhold utenfor kontroll av fører eller ATO. Det er bare i alternativ C at avgangstidspunktet er automatisk styrt, men også da vil avgang være begrenset av kontroll på dørene etter lukking.
 - Akselerasjon fra stillestående. Når avgang er gitt, er det i hovedsak tekniske årsaker, som redusert friksjon og energitilgang, som begrenser akselerasjon.
- Forhold der automasjon kan slå både positivt og negativt ut:
 - Komfort avhengig av kjørestil kan øke marginalt, hvis automatisk framføring kan være «mykere» enn ved manuell framføring. Ved automatisk framføring av forsinkede tog vil komforten kunne gå noe ned på grunn av mer aggressiv kjørestil.

⁵ Studien ble gjennomført i perioden 2012-2014 i regi av daværende NSB Persontransport og SINTEF. Av personvern hensyn har den ikke blitt publisert tidligere. I forbindelse med arbeidet med KVVU ATO har Jernbanedirektoratet tillatelse fra VY-gruppen til å publisere konklusjoner fra arbeidet.

- Optimal kjøring med godstog i hyppig varierende topografi og kurvatur er krevende for både manuell og automatisk framføring i samspillet mellom dagens traksjons- og bremsesystemer og infrastrukturen.

I forhold til indikatoren E1-1 Redusert tidsbruk, så bekrefter vurderingen av førers tidsbruk potensialet som alle konseptene har for å kunne redusere framføringstider, og spesielt for linjer med hyppige nedbremsinger og stopp, som typisk er lokaltoglinjer, men også regiontog. Vurderingen peker også på relativt stor variasjon mellom førere, og en mer enhetlig kjørestil med assistansesystemer eller automasjon vil kunne bidra til bedre margin mot ruteplan og dermed bedre punktlighet. Vurderingen av førers tidsbidrag antyder også at det kan være kjøretidsgevinster med automasjon for linjer på lengre enkeltsporede strekninger som ikke kommer fram i simuleringene. Godstog benytter i liten grad cruisekontroll i dag, og hvis ATO-systemer kan bidra til mer optimal hastighet over lengre strekninger, vil dette kunne bety en del, både for gods- og fjerntrafikk. Samtidig er framtidig ytelse til automasjonssystemene usikker, fordi den vil variere med forskjellige kjøretøytyper og leverandører. Forbedring av togframføringen ved innføring av ATO må vurderes ut ifra både førers adferd og kjøretøyenes egenskaper.

Vurderingen av føreres tidsbruk viser også at betydelig reduksjon av vendetider i alternativ C kan være viktig, både for punktlighet, men også for optimalisering av ruteplanene. Men for å korte ned opphold ved plattform bekrefter vurderingen at automatisk framføring antakelige betyr mindre.

Indikatoren E1-2 Togfølgetid er mest knyttet til tett trafikk på dobbeltspor, hvor målet er i minst mulig grad å måtte bremse bak forankjørende tog. Denne løpende beregningen vil automasjonssystemer ha bedre forutsetninger for å gjøre innenfor rammene til signalsystemet.

For indikatoren E2-1 Energi gir vurderingen av føreradferd ikke noen direkte påvirkning, men riktig hastighetstilpasning i krevende topografi og ved kryssinger kan være viktig, selv om ikke det kommer fram i simuleringene. Optimalisering av automatikken ved overføring av erfaring fra førere kan være et viktig element.

Det som uansett framstår som et vesentlig poeng, er at alle konseptene som involverer en fører vil kreve grundig opplæring og enhetlig kvalitetsstyring, for å få mest mulig nytte fra systemene. Studien av linje R10 anbefaler fortsatt bygging av prestasjonskultur og trening på samhandling mellom lokfører, konduktør og togleder. Dette er kanskje også relevant å merke seg i forhold til O-alternativet.

Arbeidet med underlag for å vurdere førers tidsbidrag viste at det fram til nå i liten grad har blitt samlet inn erfaringstall i Norge for å beskrive kjøreprofiler, hverken på konvensjonelle strekninger eller pilotstrekninger med ERTMS. Dette er et område som bør følges opp videre.

7.3 Gjennomgang av alternativene som analyseres

7.3.1 Nullalternativet (referansealternativet)



Hovedgrep

KVU-en har som formål å utrede en mulig merverdi av innføring av automasjonsteknologi som tillegg til den allerede besluttede ERTMS-utbyggingen. Derfor er en situasjon med ERTMS på nivå 2 definert som nullalternativet. Alternativet tilsvarer ellers referansesituasjonen som er etablert for NTP 2025-2036.

Teknisk løsning

ERTMS på nivå 2 er allerede i bruk på det norske jernbanenettet, men foreløpig kun på én delstrekning, Østfoldbanens Østre linje. I nullalternativet forutsettes det at ERTMS på nivå 2 er ferdig utrullet på hele det norske jernbanenettet, at det finnes et hensiktsmessig og fungerende kommunikasjonssystem og at dagens trafikkstyringssystemer er erstattet av ett enkelt, helhetlig, trafikkstyringssystem (TMS).

Sikkerhet og togframføring

Fører kjører toget, men hindres av systemet fra å kjøre raskere enn maksimal tillatt hastighet. Dette tilsvarer automasjonsgrad 1 – GoA1. Ved ERTMS nivå 2 er informasjonen fra lyssignalene og hastighetsskilt som tidligere var plassert langs sporet flyttet inn i førerpanelet. Fører har ansvar for å overvåke informasjonen som gis i førerpanelet, men skal primært holde oppmerksomheten på infrastrukturen og omverdenen når toget framføres. Med ERTMS nivå 2 vil togtrafikken fjernstyres fra trafikkstyringssentraler. Den fysiske sikringen rundt jernbanenettet vil være som i dag, som også inkluderer signaler og bomber mot veifarende på planoverganger. Ved kjøring på strekninger med ERTMS nivå 2 vil fortsatt fører og ombordansvarlige ha ansvaret for å ivareta de gjeldende sikkerhetsbarrierene.

Det forventes en betydelig reduksjon av passhendelser ved innføring av ERTMS, både fordi alle strekninger i hele landet får samme høye overvåkningsnivå, men også fordi signalene flyttes inn i panelet til fører og til et kontrollert førermiljø, hvor det også gis varsler hvis hastigheten blir for stor. Restrisiko vil være knyttet til feilvurdering av adhesjonsforhold på sporet som kan gi lengre bremselengder enn beregnet, og uoppmerksomhet fra fører som kan gi sein nedbremsing og iverksettelse av nødbrems, upresise stoppunkt og bevegelser under frislippshastighet.

Ytelse (i form av kapasitet, punktlighet og energibruk)

Utgangspunktet for alternativvurderingene er situasjonen etter at ERTMS nivå 2 er innført, og det er denne situasjonen i infrastrukturen som er simulert. Ut ifra rapporten med vurderingen av føreres tidsbruk ser det ut til at det også i referansesituasjonen ligger et potensiale for økt kapasitet i mer enhetlig opplæring og innføring av felles policies for kjørestil uten andre investeringer. Siden sikkerheten ved togframføringen i større grad ivaretas av ERTMS med større grad av overvåkning og varsling på alle strekninger enn i dag, så vil det antakelig være rom for at fører fokuserer på mer optimal manuell framføring. Samtidig er usikkerheten stor for hvordan innføringen av ERTMS vil påvirke førers ytelse. Innføring av ERTMS viser i simuleringene en forbedring i punktligheten i forhold til trafikk med dagens signalanlegg. I tillegg vil operatørene kunne utnytte statiske DAS-systemer uten sanntidsinformasjon fra infrastrukturen, siden nye kjøretøy allerede er forberedt for DAS-løsninger, selv om effekten antakelig vil bli en del mindre enn det alternativ A representerer. Økte energipriser gir også et selvstendig insentiv for mer energieffektiv kjøring. Resultatene i alternativ A, B og C er sammenliknet med situasjonen etter at ERTMS nivå 2 er innført uten andre tiltak.

7.3.2 Alternativ A: Førerstøtte



Hovedgrep

I alternativ A får fører løpende sanntidsinformasjon fra et tilkoblet førerveiledningssystem. I referansealternativet forholder fører seg selvstendig til informasjon fra signalsystemet, mens i alternativ A er det et førerveiledningssystem som gir beslutningsstøtte i tillegg. Førerveiledningssystemet mottar sanntidsinformasjon om togtrafikken og infrastrukturen fra trafikkstyringssystemet TMS og kombinerer dette med informasjon fra toget selv, beregner en best mulig framføring av toget og sender informasjonen til et display i førerhuset. Fører kan da optimalisere kjøringen basert på denne veiledningen i sanntid. Dersom et tog får stoppsignal lenger frem på strekningen, kan eksempelvis hastigheten senkes tidligere og energiforbruket reduseres.

Teknisk løsning

For å formidle sanntidsinformasjon fra trafikkstyringssystemet til toget må det investeres i hardware og software for dette i infrastruktur og i tog. For infrastrukturen omfatter dette en databasert løsning, som enten kan baseres på ATO-standard eller en proprietær løsning (produsent-eid), som formidler sanntidsinformasjonen til togene fra TMS. Dette omtales som signalteknisk infrastruktur for ATO. Togene må i tillegg utrustes med en kommunikasjonsløsning for å motta sanntidsinformasjonen fra den sentrale infrastrukturen, og utstyr som kan beregne og formidle informasjonen om optimal framføring til fører. Avhengig av type tog kan dette innebære en omkonfigurering av eksisterende førerpaneler i førerhuset eller plassering av et nettbrett eller tilsvarende i tillegg til eksisterende utstyr.

C-DAS systemer er i bruk i flere land, og teknologien vurderes som utprøvd og moden. Løsningene som er tatt i bruk er proprietære, og ikke interoperable (ikke i henhold til en gitt felles standard). Den kommende TSI CCS standarden for ATO over ERTMS kan åpne for interoperable løsninger også for C-DAS. Utrustningen kan utformes på ulikt vis, men kommuniserer da via et standard grensesnitt, slik at utstyr fra flere leverandører kan samhandle. I vurderingene av kostnader og ytelse for alternativ A er det forutsatt en interoperabel løsning basert på ATO-standard for den sentrale signaltekniske infrastrukturen.

Sikkerhet og togframføring

I dette alternativet vil det fortsatt være lokomotivfører som ivaretar togframføringen og det vil også være ombordansvarlig i passasjertog. Konsekvensen av økt mengde informasjon til fører må vurderes, og hensyntas i design av løsningen. Andre forhold som kan påvirke sikkerheten vil også være likt som nullalternativet. Det antas derfor at alternativet ikke vil medføre endringer som påvirker indikator E3-1 og sikker framføring av tog. Det vil være behov for opplæring av førere, og å tilføre ny kompetanse for drift og vedlikehold av de nye tekniske systemene. Felles datasentre som bygges for nye ERTMS signalanlegg forutsettes også å kunne romme utstyr for sentral infrastruktur for ATO.

Ytelse

Vurdering av ytelse er hentet fra simuleringene omtalt i kapittel 7.2. Simuleringene viser en generell reduksjon i teknisk togfølgetid på 2-4 prosent, noe som ikke vurderes som tilstrekkelig for å innføre nye tilbud. Større marginer i framføring av tog i simuleringene viser forbedringer i form av reduserte forsinkelser. Reduksjon i forsinkelser er gjennomgående ved at simuleringene viser reduksjon i rush, utenfor rush og for alle toglag.

Det er også simulert mulighet for energisparing ved en kjøreadferd som vektlegger lavere energibruk. Her er bidraget mindre tydelig, og muligheten for energisparing overstyrer av behovet for å opprettholde ruteplan.

Et førerassistansesystem (DAS) uten sanntidsinformasjon ble testet på Jærbanen (Stavanger - Egersund) i 2015⁶. Førerstøttesystemet ble testet på konvensjonelt signalanlegg (ikke ERTMS) og inneholdt ruteplan, GPS med et linjekart og oppdatert status for infrastrukturen, men uten sanntidsinformasjon om infrastruktur, signaler og andre tog, og uten kobling til togets datamaskin. Førerne som var med i studien viste i gjennomsnitt ca. 40s tidligere avgang og ca. 30s tidligere ankomst med førerstøttesystemet, sammenlignet med tidligere kjøring uten støttesystem. Tidsforbedringen er ikke angitt i prosent. Energiforbruket målt i Wh/SeteKm var uendret i retning mot Stavanger, men gikk i gjennomsnitt ned med 8 prosent i retning mot Egersund. Forskjellen på retning skyldes antakelig mindre køkjøring og dermed større mulighet for å optimalisere hastigheten mot Egersund. Men studien viste fortsatt relativt stor variasjon mellom avganger og førere, og at det var stor variasjon over ruten hvor lett det var å følge ruteplan med hyppige stopp. Studien peker derfor på at en ruteplan med oppløsning ned på sekund-nivå vil gi mer presise råd fra et støttesystem, jevnere fordeling av kjøretid over linjen og vil gjøre det lettere å holde ruteplan. I tillegg pekes det på at togledere også trenger bedre beslutningsstøtte for å sette signaler, noe som i denne KVV-en forutsettes håndtert gjennom pågående innføring av ny TMS. Et førerstøttesystem med sanntidsinformasjon bør også forventes å gi bedre ytelse enn et system uten sanntidsinformasjon, og studien påpeker viktigheten av at informasjon også blir matet tilbake fra toget til TMS og togleder. Dette er viktig operativt, men også for kontinuerlig læring og forbedring av systemene.

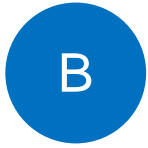
Beregning av kostnader og vurdering av usikkerhet

Alternativ A: Førerstøtte Kostnader angitt i MNOK ekskl. mva.	
Signalteknisk infrastruktur for ATO	487
C-DAS	175
Gjennomføringskostnader	387
Sum basisestimat eks. mva.	1 049
+forventet tillegg	43
=P50-estimat	1 092
+Usikkerhetsavsetning	251
=P85-estimat	1 344
Forventningsverdi (~P50)	1 104

Den største kostnadsposten er etablering av signalteknisk infrastruktur for ATO, som omfatter selve systemet som skal muliggjøre sanntidsinformasjon til togene. Løsningen om bord i togene, som skal bidra til å formidle informasjonen til fører, har lavere kostnad. Resterende kostnader er til selve gjennomføringen av investeringen. Den største usikkerheten er knyttet til kostnaden for signalteknisk infrastruktur for ATO. En viktig anbefaling fra usikkerhetsanalysen er å unngå fordyrende utviklingsløp, og å benytte moden teknologi. Det anbefales også å øke prosjektmodenheten gjennom videre undersøkelser av tekniske grensesnitt.

⁶ Studien «Uprøving av førerstøtte på Jærbanen» er ikke tidligere offentliggjort av personvern hensyn. Uprøvingen ble gjennomført i regi av daværende NSB Persontransport (seinere Vy), Jernbaneverket (seinere Bane NOR) og SINTEF. I forbindelse med arbeidet med KVV ATO har Jernbanedirektoratet tillatelse fra VY-gruppen til å publisere konklusjoner fra arbeidet.

7.3.3 Alternativ B Selvkjørende tog



Hovedgrep

I alternativ B undersøkes effekten av selvkjørende tog under overvåkning av fører. For persontog er det også en ombordansvarlig i toget. Et selvkjørende tog kjøres av en datamaskin, med en fører som overvåker fremdriften. Fører setter i gang den automatiske kjøringen, åpner og lukker dørene og overtar kontrollen ved behov. Ombordansvarlig ivaretar sikkerheten til de reisende, og ivaretar også andre serviceoppgaver som for eksempel billettering, informasjon til de reisende eller servering.

Endringen fra referansealternativet er at toget kjøres automatisk etter fastsatt rute, og fremdriften justeres etter sanntidsinformasjon relatert til togframføringen, som hastighet og annen relevant informasjon som må hensyntas for å optimalisere kjøringen. Alternativet optimaliserer togframføringen automatisk, og tillater toget å kjøre tettere opp mot bremsekurver for ERTMS-

Teknisk løsning

Løsningen innebærer at et sentralt datasystem for signalteknisk infrastruktur for ATO mottar sanntidsinformasjon om togtrafikken fra trafikkstyringssystemet TMS og sender informasjon til togets ATO-datamaskin som automatisk kjører toget optimalt iht. dette. I tillegg optimaliseres kjøringen iht. ERTMS-ombordsystemets bremsekurver og andre data fra togets styringsdatamaskin.

Selvkjørende tog på lukkede storbybanesystemer og enkelte tilbringertjenester til flyplasser finnes det flere eksempler på med utstrakt erfaring. Løsningen med ATO GoA2 over ERTMS fungerer, og prinsippene kan vurderes som modne. Men selvkjørende tog på konvensjonell jernbane med blandet trafikk, utenfor storbyområder og på enkeltspor, er lite utprøvd og krever andre og mer avanserte algoritmer. Det pågår arbeid i flere land for å utrede, teste og eventuelt implementere dette, men den standardiserte og interoperable løsningen foreligger ikke som «hylleware» pr. i dag. Systemet framstår som mindre modent for norske forhold og løsninger basert på en definert standard vil ligge fram i tid. ERA vil presentere en plan for dette i 2025.

Sikkerhet og togframføring

Når ATO installeres i toget reduseres førers oppgaver til å overvåke togets kjøring, lukke og åpne dører og å starte ATO-kjøringen. ATO-systemet ivaretar akselerasjon, bremsing og kjøring av toget mellom stoppesteder. Fordeling av ansvaret for sikkerhet mellom menneske og maskin vil ikke være vesentlig forskjellig fra nullalternativet, men maskinen er i større grad utførende og arbeidssituasjonen for fører endres. Det antas at sikkerhetsnivået kan opprettholdes med enkle midler. I tillegg reduseres risikoen noe bl.a. for å passere signal som ikke viser kjøring (passehendelser), fordi systemet kontinuerlig overvåker og regulerer hastigheten inn mot stoppunkt automatisk, og i liten grad er avhengig av en menneskelig oppmerksomhet eller vurdering. Restrisiko for tekniske feil eller feilvurdering av adhesjonsforhold vil fortsatt være aktuell.

På tross av at den operative fremføringen i dette konseptet flyttes fra fører til systemet, flyttes ikke sikkerhetsansvaret for noen av de grunnleggende funksjonene ved togdrift fra fører eller ombordansvarlig til systemet. Fører vil fortsatt kunne ivareta togframføringen ved unntakssituasjoner. Ved feil på ATO-systemet vil toget måtte framføres manuelt. Uavhengig av om ATO innføres på hele eller deler av nettet, så vil det være behov for jevnlig å trene på manuell kjøring for de førere som normalt kjører på ATO-strekninger.

Ytelse

Vurdering av ytelse er hentet fra simuleringene omtalt i kapittel 7.2. Simuleringene viser en generell reduksjon i teknisk togfølgetid på 2-4 prosent, noe som ikke vurderes som tilstrekkelig for å innføre nye tilbud. Større marginer i framføring av tog i simuleringene viser forbedringer i form av reduserte forsinkelser. Reduksjonen for Østlandet er noe større enn for alternativ A. For Nordlandsbanen er reduksjonen noe mindre enn for alternativ A, noe som antakelig skyldes at referanseruteplan medfører

begrensninger for ATO på enkeltspor, og begrenser ytelsen til alternativ B her. Reduksjon i forsinkelser er gjennomgående, simuleringene viser reduksjon i rush, utenfor rush og for alle togslag.

Det er også simulert mulighet for energisparing ved en kjøreadferd som vektlegger lavere energibruk. Her er bidraget mindre tydelig, muligheten for energisparing overstyrer av behovet for å opprettholde ruteplan.

Resultatene fra simuleringene som er utført for alternativ B tyder på at et jernbanesystem med ERTMS nivå 2 og GoA2 som optimaliseres for kapasitet, kan få kortere forsinkelser og kortere teknisk togfølgetid.

Mulighet for å spare energi ved endret kjøremønster har et potensial for å gi mer effektiv drift, siden simuleringen viser rom for redusert energiforbruk innenfor ruteplan i referansealternativet.

Beregning av kostnader og vurdering av usikkerhet

Alternativ B: Selvkjørende tog. Kostnader angitt i MNOK ekskl. mva.	
Signalteknisk infrastruktur for ATO	487
ATO Ombordutrustning	1 067
Gjennomføringskostnader	500
Sum basisestimat eks. mva.	2 054
+forventet tillegg	212
=P50-estimat	2 266
+Usikkerhetsavsetning	524
=P85-estimat	2 790
Forventningsverdi (~P50)	2 290

Den største kostnadsposten er ATO ombordutrustning, som utgjør over halvparten av grunnkalkylen. Usikkerhetsanalysen vurderer størst kvantitativ usikkerhet knyttet til prosjektorganisasjon, -gjennomføring og -modenhet. Også her er det sentralt å redusere usikkerhet gjennom å øke prosjektmodenheten, og redusere risiko for uoversiktlige grensesnitt og omfanget av integrasjon mellom ulike systemer.

Vurdering av alternativ B på neste nivå av ERTMS

Teknisk løsning	<p>Endringen av ERTMS-nivå fra nivå 2 til 3 innebærer overgang fra faste blokkstrekninger i henhold til romblokk-prinsippet, til flytende blokk. Da forteller toget selv hvor det befinner seg til sikringsanlegget, og beregner sikker avstand til andre tog. Dette gir redusert togfølgetid, og forventes å gi økt kapasitet. ERTMS nivå 3 forutsetter at toget selv har tekniske systemer om bord som blant annet overvåker at alle vogner er til stede og henger sammen (togintegritet), omtalt i 7.1.5.</p> <p>T-banen i Oslo planlegger for implementering av et system på GoA2 nivå i forbindelse med utbyggingen av det nye signalsystemet CBTC (Communication Based Train Control). CBTC tilsvarer omtrent ERTMS nivå 3, men er ikke direkte sammenlignbart.</p> <p>ERTMS nivå 3 er fortsatt under standardisering og er ikke en ferdig utviklet løsning. Løsninger med automatisk togfremføring er velutprøvd på storbybanesystemer med CBTC, men har en svært lav modenhet på konvensjonelle jernbanelinjer i kombinasjon med ERTMS nivå 3.</p> <p>Løsningen forventes å ha stor betydning for besparelser i drift og vedlikehold, siden togdeteksjonssystemet som benyttes i ERTMS nivå 2 kan tas ut av sporet. Det gir økt driftsstabilitet og mindre behov for bemanning til generiske kontroller. Behov for sportilgang for denne typen kontrollaktivitet faller også bort.</p> <p>Alternativ B vil ha samme tekniske løsning, uavhengig om den legges på ERTMS nivå 2 eller 3.</p>
------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<p>Sikkerhet og togframføring</p>	<p>Endringen fra ERTMS nivå 2 til neste nivå av ERTMS innebærer i seg selv endring av en grunnleggende sikkerhetsfunksjon, det såkalte rom-blokk prinsippet, ved framføring av tog. ERTMS-systemet vil ivareta fortsatt grunnleggende sikker togframføring.</p> <p>Sikkerhetssituasjonen og sikkerhetstiltakene ved innføring av ATO over ERTMS vil ikke være vesentlig forskjellig fra referansesituasjonen, og løsningen for togframføring er tilsvarende som for alternativ B.</p>
<p>Ytelse</p>	<p>Bane NOR har gjennomført en egen utredning av løsningen, der ATO på nivå 2 innføres som tillegg til ERTMS på hybridnivå 3 (Study report on the effects of ATO and ETCS hybrid level 3 application, VIA-Con for Bane NOR januar 2022). Her er særlig effekten for trafikk gjennom Oslo-tunnelen vurdert. Utredningen konkluderer med at det er et lite potensial for å framføre flere tog gjennom Oslo-tunnelen med denne kombinasjonen av ATO og ERTMS hybridnivå 3. Dette tilsvarer resultatene fra simuleringene som er gjort for denne KVV-en. Her viser også simuleringene at kapasitetsøkningen ikke er tilstrekkelig til å introdusere nye tilbud, men effekten kan tas ut som redusert forsinkelse.</p> <p>Siden endringen fra ERTMS nivå 2 til neste nivå i seg selv antakelig vil redusere togfølgetiden, vil det være mindre uutnyttet kapasitet for ATO å optimalisere videre. Derfor viser simuleringene for B med neste nivå ERTMS lavere effekt enn med nivå 2.</p>

7.3.4 Alternativ C Førerløse tog



Hovedgrep

Hensikten med alternativ C er å vurdere effekten av en løsning der togene er selvkjørende og førerløse. Alternativ C representerer maksimal automasjon av togfremføringen innenfor det identifiserte mulighetsrommet.

Toget kjøres automatisk, inkludert start og stopp. Ved GoA3 vil en ombordansvarlig åpne og lukke dørene og kan ta over styringen av toget ved avvik og feil. På lukkede områder, som driftsbanegårder og vendeanlegg, kan togene bevege seg ubemannet. Ved GoA4 er togene ubemannet, og sikkerheten ivaretas av forskjellige tekniske løsninger.

Teknisk løsning

Alternativet omfatter både automasjonsgrad 3 og 4, benevnt Grade of Automation 3 og 4 (GoA3 / GoA4). Begge varianter innebærer førerløse tog, men i førstnevnte (GoA3) er det en ombordansvarlig på persontog for å ivareta ombordsikkerheten og eventuelt gi et servicetilbud til passasjerene. I likhet med alternativ A, B1 og B2, så må det investeres i signalteknisk infrastruktur for ATO for å sikre kommunikasjonen mellom TMS og ATO Ombordutrustning.

Med dagens tekniske løsninger må det forutsettes betydelige tiltak for fysisk sikring for å opprettholde sikkerhetsnivået på jernbanen. Videreutvikling av digitale sensorer og annen sikring som kan erstatte førers oppgaver og ansvar vil kunne redusere behovet for fysisk sikring utover dagens behov, spesielt utenfor stasjonsområder og langs spor utenfor tettbygde strøk. I tillegg kan det antas at det må være redningspersonell tilgjengelig innenfor en gitt avstand, som gjør at respons på uønskede hendelser kan gjennomføres innenfor det tidsrommet som er bestemt som lengste akseptable utrykningstid.

Modenheten er regnet som lav for GoA 3 og 4. Det finnes metrosystemer som kjøres ubemannet, men tilsvarende er enda ikke i drift for tog. ERA (European Railway Agency), EUs jernbanebyrå, har ikke ferdigspesifisert de teknologiske kravene. En videre teknologisk modning av dette konseptet vil i stor grad avhenge av hvordan systemet enten lukkes mot overtredelse (inngjerding, planfrie overganger og lignende tiltak), eller erstatter førers og ombordansvarliges observasjoner med sensorer og lignende teknologi som barriere. Samtidig kan man forvente at implementering av automasjonsløsninger som ATO vil bli rimeligere over tid, ettersom teknologiske løsninger for de enkelte systemene og for datakommunikasjon internt i tog blir mer standardisert og vil nærme seg et «plug-and-play»-nivå.

Sikkerhet og togframføring

Sikkerhetssituasjonen og sikkerhetstiltakene i alternativ C skiller seg tydelig fra referansesituasjonen. ATO-datamaskinen i toget starter, stopper og styrer hastigheten til toget basert på sanntidsinformasjon om trafikken, mens toget selv og/eller infrastrukturinstallasjoner ivaretar framføringsikkerheten, både ved regulær framføring og ved eventuelle hindringer eller uregelmessigheter på linjen.

På strekninger med automasjonsgrad tre (GoA3), kan ombordansvarlig utføre oppgaver som å åpne og lukke dørene, og vedkommende kan også overta styringen av toget ved avvikshendelser og feil, forutsatt rett kompetanse. Fører og ombordansvarlig vil ved GoA4 ikke kunne ivareta de sikkerhetsfunksjonene som de i dag står ansvarlige for. Dette ansvaret, og barrieren menneskelig oppmerksomhet utgjør mot uønskede hendelser, vil i sin helhet flyttes over til tekniske systemer om bord i toget eller i infrastrukturen.

Ved GoA4 vurderes det i Bane NORs risikovurdering at det vil kreves betydelige tiltak på stoppestedene, som overvåking og plattformdører, for å sikre at passasjerer ikke kommer i klem mellom tog og plattform. IT-sikkerhet og robusthet til kommunikasjonssystemet vil være sentralt i dette alternativet. Risikovurderingen legger til grunn at det langs jernbanens infrastruktur vil kreves inngjerding, og sikring eller sanering av alle planoverganger.

Ytelse

I forhold til indikatorene for kapasitet yter alternativ C tilsvarende som alternativ B, med en generell reduksjon i teknisk togfølgetid på 2-4 prosent, som ikke vurderes som tilstrekkelig for å innføre nye tilbud. Større marginer i framføring av tog viser også for alternativ C forbedringer i simuleringene i form av reduserte forsinkelser i og utenfor rush og for alle togslag.

Den største tidsforskjellen mellom B og C alternativene ligger i automatisert og kortere vending. Hvis minimum vendetid kan komme ned i f.eks. 3 minutter, kan ruteplanen konstrueres med nye forutsetninger. Dette er spesielt nyttig for linjer som har høy avgangsfrekvens, slik som lokaltoglinjene. En grov vurdering i forhold til referansetogtilbudet antyder at tre lokaltoglinjer og fire regiontoglinjer kan ha potensiale for å spare ett togsett ved optimalisering av rutemodellen for å utnytte kortere vendetider.

Når det gjelder effektiv drift ligger alternativ C på sammen nivå som alternativ B mht. energiforbruk. Ved kapasitetseffektiv kjøring viser simuleringene at strømforbruket kan gå litt opp. Men i forhold til redusert bemanning har alternativ C en betydelig større økonomisk gevinst enn de andre alternativene, og redusert kjøretøybehov som resultat av kortere vendetider bidrar ytterligere her. Det vil likevel være en viss variasjon i bemanning om man innenfor alternativ C ser på automasjonsnivåene GoA3 eller GoA4. I den andre retningen drar behovet for flere tekniske systemer som kan feile og som krever opplæring, drift og vedlikehold.

Beregning av kostnader og vurdering av usikkerhet

Alternativ C: Førerløse tog Kostnader angitt i MNOK ekskl. mva.	
Signalteknisk infrastruktur for ATO	487
ATO Ombordutrustning	1 067
Infrastruktur langs sporet	23 842
Infrastruktur på stasjoner	2 749
Sikkerhetsutrustning ombord	900
Gjennomføringskostnader	680
Sum basisestimat eks. mva.	29 726
+forventet tillegg	4 137
=P50-estimat	33 863
+Usikkerhetsavsetning	11 090
=P85-estimat	44 953
Forventningsverdi (~P50)	34 296

Sikkerhetstiltakene utgjør den vesentligste andelen av kostnadene. Sikkerhetstiltakene innebærer sikring av en framtidig løsning med dagens verktøy, altså sanering av planoverganger, inngjerding av spor og dørløsning og overvåking på stoppesteder. Det er derfor stor usikkerhet knyttet til kostnadene. For å øke prosjektmodenheten må det følges tett med på den teknologiske utviklingen, både for sikkerhetsløsninger og utvikling av løsninger på GoA 3 og 4.

Vurdering av alternativ C på en begrenset del av jernbanenettet

Som kostnadsoverslagene viser vil implementering av alternativ C på hele jernbanenettet medføre høye kostnader, særlig gjelder dette kostnadsposten for sikring langs eksisterende infrastruktur. Løsningene for å sikre infrastrukturen er i tråd med risikovurderingene som er gjort (se vedlegg 06), men modenheten på disse løsningene er lav, som beskrevet innledningsvis. Samtidig antas alternativet å ha størst nytte på strekninger med dobbeltspor og hovedsakelig persontransport med høy trafikk tetthet, hvor konseptet kan bidra til økt kapasitet. For å undersøke om alternativet kan være samfunnsøkonomisk lønnsomt på deler av jernbanenettet, er strekninger med høy trafikk, der sikringsbehovet er antatt å være lavt identifisert. På

bakgrunn av denne vurderingen er det for Alternativ C i tillegg gjort en vurdering av implementering av alternativet kun på følgende deler av jernbanenettet:

- Førerløse tog på utvalgte lokaltog gjennom Oslo (L1, L2), Arna-Bergen (L4) Skeiane-Stavanger (L5)
- Førerløse tog på lokal- og regiontoglinjer på Østlandet

Vurdering av Alternativ C på neste nivå av ERTMS

<p>Teknisk løsning</p>	<p>Teknisk løsning for ERTMS er tilsvarende som beskrevet under vurdering av alternativ B på neste nivå av ERTMS.</p> <p>Hovedtrekkene er at med ERTMS nivå 3 forteller toget selv hvor det befinner seg til sikringsanlegget og beregner sikker avstand til andre tog. Dette gir redusert togfølgetid, og forventes å gi økt kapasitet. Dette forutsetter at toget selv har tekniske systemer om bord som blant annet overvåker at alle vogner er til stede og henger sammen (togintegritet).</p> <p>Alternativ C vil ha samme tekniske løsning, uavhengig om den legges på ERTMS nivå 2 eller 3.</p>
<p>Sikkerhet og togframføring</p>	<p>Endringen fra ERTMS nivå 2 til neste nivå av ERTMS innebærer i seg selv endring av en grunnleggende sikkerhetsfunksjon, det såkalte rom-blokk prinsippet, ved framføring av tog. ERTMS-systemet vil ivareta fortsatt grunnleggende sikker togframføring.</p> <p>Sikkerhetssituasjonen og sikkerhetstiltakene i alternativ C skiller seg tydelig fra referansesituasjonen. Men situasjonen for alternativ C vil inneholde de samme endringene om alternativet innføres på ERTMS nivå 2 eller på neste nivå. Risikovurderingen til Bane NOR av alternativ C skiller ikke mellom ATO over ERTMS nivå 2 eller nivå 3.</p>
<p>Ytelse</p>	<p>Hovedforskjellen mellom alternativ B og C på neste nivå av ERTMS skyldes også at minste vendetid for motorvognsett kan reduseres ved automatisering. Dette er spesielt nyttig for linjer som har høy avgangsfrekvens, slik som lokaltoglinjene.</p> <p>Det antas også at stasjonsopphold kan bli litt kortere ved automatisk avgang, men dette er ikke verifisert med simuleringer.</p> <p>Siden endringen fra ERTMS nivå 2 til neste nivå i seg selv forventes å redusere togfølgetiden, vil det være mindre uutnyttet kapasitet for ATO å optimalisere videre. Derfor viser simuleringene for B og C med neste nivå ERTMS lavere effekt enn med nivå 2. Men alternativ C har fortsatt noe bedre verdier enn alternativ B.</p>

7.3.5 Oppsummering av alternativ

Oversiktstabell over alternativ med liste over innhold, resultater fra simuleringer og kostnader

	0	A	B	C
Tiltak	ERTMS Nivå 2	Signalteknisk infrastruktur for ATO C-DAS	Signalteknisk infrastruktur for ATO ATO Ombord-utrustning	Signalteknisk infrastruktur for ATO ATO Ombord-utrustning Fysiske sikkerhetstiltak
Modenhhet	Under utbygging	Høy Levers som proprietære løsninger i dag	Middels Finnes som proprietære løsninger i dag	Lav Finnes som proprietære løsninger, men kun på lukkede strekninger. Krever modning av sikkerhetsløsninger
Persontog: Endring i forsinkelser i rush, basert på simulering i Østlandsområdet	Gj.snitt 1,19 min	-17 prosent	-19 prosent	-23 prosent ⁷
Endring i forsinkelser utenfor rush, basert på simulering i Østlandsområdet	Gj.snitt 1,08 min	-22 prosent	-24 prosent	-27 prosent ⁷
Endring i forsinkelser i rush, basert på simulering Trondheim - Grong	Gj.snitt 0,76 min	-14 prosent	-2 prosent	<i>Ikke simulert</i>
Endring i forsinkelser utenfor rush, basert på simulering Trondheim - Grong	Gj.snitt 0,71 min	-19 prosent	-8 prosent	<i>Ikke simulert</i>
Godstog: Endring i forsinkelser over døgnet (hele simuleringsområdet)	Gj.snitt 0,48 min	-27 prosent	-13 prosent	-33 prosent ⁷
Simulert reduksjon i energibruk ved energioptimal kjøring	Lokaltog	-	0 prosent	0 prosent ⁷
	Regiontog	-	-1 prosent	-2 prosent ⁷
	Fjerntog	-	-2 prosent	-2 prosent ⁸
	Godstog	-	-3 prosent	-2 prosent ⁸
Basisestimat	-	1 050	2 050	29 750
Forventningsverdi (~P50)	-	1 100	2 300	34 300

Resultatene fra simuleringene på Nordlandsbanen viste en uvanlig effekt hvor ATO optimalisert for punktlighet ga høyere gjennomsnittlig forsinkelse enn ATO optimalisert for energiforbruk, samt at begge disse var høyere (dårligere) enn flere av C-DAS-resultatene. Redusert effekt skyldes antakelig at referanseruteplan medfører noen begrensninger for ATO på enkeltspor, og utilsiktet begrenser ytelsen til

⁷ Bare simulert for strekningen Oslo – Ski

⁸ Verdien er anslått, ikke simulert.

alternativ B her. Godstogene med ATO får en betydelig tidligere ankomst under enkelte forhold. Når godstog er betydelig tidlig ute, skaper dette konflikter med persontog ved kryssinger, og dette ser særlig ut til å skje på grensen av simuleringsområdet ved Grong. Godstoget ankommer Grong slik at det beslaglegger en blokkstrekning før det sørgående fjerntoget har ankommet. Når et slikt problem oppstår i en simulering kan det justeres med nye regler for togstyring eller ved å utvide modellens størrelse, men det belyser også en problemstilling som kan oppstå i virkeligheten, hvor for tidlig ankommende godstog kan forårsake like store problemer som forsinkede godstog. Det er et problem som bl.a. er observert i Storbritannia at ved større knutepunkt som benytter automatisk togveisystem, blir systemet forvirret og skaper forstyrrelser når godstog ankommer for tidlig. Problemstillingen bør løses ved optimalisering av rutemodellen, som også ville løst et lignende problem i virkeligheten, før ved å gjøre endringer som skjuler problemet. Det kan anses både som en reell risiko i overgang til ATO og en simuleringsrelatert problemstilling.

7.4 Vurdering av måloppnåelse

Vurdering av måloppnåelse gjøres etter en 7-delt skala som angir endring i forhold til 0-alternativet. Tradisjonelle infrastrukturbygginger har ofte tydelige positive eller negative effekter, og disse blir lesbare gjennom bruk av en 5-delt skala. I denne KVVU-en bærer alle effektene preg av å være summen av en rekke mindre effekter. For å kunne synliggjøre disse er det gjort bruk av en 7-delt skala, for bedre å få fram noe økt eller redusert måloppnåelse i forhold til 0-alternativet.

0 tilsvarer hverken/eller, (+) tilsvarer noe forbedret måloppnåelse, (++) en økt måloppnåelse og (+++) tilsvarer en vesentlig økt måloppnåelse. Tilsvarende innebærer (-) en noe redusert mulighet for at alternativet kan bidra til måloppnåelse, (- -) tilsvarer redusert måloppnåelse, mens (- - -) tilsvarer en vesentlig redusert måloppnåelse.

Skala for måloppnåelse	+++	++	+	0	-	--	---
	+++	++	+	0	-	--	---
	+++ vesentlig økt måloppnåelse ++ økt måloppnåelse + noe økt måloppnåelse 0 hverken/eller - noe redusert måloppnåelse -- redusert måloppnåelse --- vesentlig redusert måloppnåelse						

7.4.1 E1: Bedre utnyttelse av infrastrukturkapasiteten til utvikling av togtilbudet og økt punktlighet

Den sentrale indikatoren for effektmålet om bedre utnyttelse av infrastrukturkapasiteten til utvikling av togtilbudet og økt punktlighet, er redusert tidsbruk.

Automatisering av togfremføringen forventes å redusere samlet tidsbruk ved at lik optimal kjøring erstatter summen av ulike kjøreadferder. Det forventes også et tidsbidrag fra automatisert kjøring basert på trafikkinformasjon i sanntid.

Redusert framføringstid vil kunne gjøre ruteplaner mer robuste mot forsinkelser, og øke punktligheten. Avstanden mellom tog i ruteplanen vil også kunne reduseres (redusert togfølgetid). Vesentlige reduksjoner i togfølgetid vil kunne gi rom for enkelte nye ruteleier og muligheter for å øke togtilbudet.

Vurdering av alternativene

Simuleringer av de ulike alternativene har vist at alle bidrar til en reduksjon i tidsbruk, og alle gir en liten, men ikke uvesentlig, reduksjon i togfølgetid. Tidsgevinsten gir gode muligheter for å redusere forsinkelser, men er ikke tilstrekkelig til å gi rom for tilbudsutvikling gjennom flere avganger for noen av alternativene.

For alternativ **A**, **B** og **C** viser simuleringene at variasjonen i redusert tidsbruk gir inntil 4 - 5 prosent redusert togfølgetid. Reduksjon i forsinkelse varierer mellom linjer og steder, men for Østlandet utgjør det 15-20 prosent i rush og 20-30 prosent utenom rush, men mindre i resten av landet. Siden ingen av alternativene gir direkte rom for flere avganger, men alle gir en merkbar reduksjon i omfang av forsinkelser, vurderes måloppnåelsen for de tre alternativene som relativt lik, og nyanseskjeller mellom alternativene vil framkomme gjennom den samfunnsøkonomiske analysen, der kostnad og nytte sees i sammenheng.

	0	A	B	C
E1-1 Reduserte forsinkelser	0	++	++	++
E1-2 Utvikling av togtilbudet	0	0	0	0
E1 Utvikling av togtilbudet og økt punktlighet	0	+	+	+

7.4.2 E2: En mer effektiv drift av togtilbudet

Redusert ressursbehov til energi og vedlikehold av infrastruktur og materiell

Kjøring med vekt på å redusere slitasje antas å ha store likheter med kjøring for å redusere energibruk.

Gjennom ATO kan hastighet og kjørestil tilpasses ønsket ytelse. Å kjøre i forhold til ruteplan vil alltid være prioritert, men i tillegg til dette er det mulig å tilpasse kjøring til andre parametere, som bruk av energi, og hensyn til slitasje på infrastruktur og materiell.

Hastighet er blant parameterne med størst påvirkning på slitasje av infrastruktur og på togmateriell. Bane NOR har pr. i dag ingen modell for å beregne slitasje basert på hastighet, men SBB (Sveits) har laget en kompleks modell basert på erfaringstall og simuleringer, som også hensyntar ulikt togmateriell. Modellen beregner samlede slitasjekostnader for definert materiell på utvalgte deler av infrastrukturen. Modellen er anerkjent, og benyttes til å fastsette priser for togoperatører som kjører på deres infrastruktur. Som eksempel vil et typisk motorvognsett på det sveitsiske jernbanenettet, ved en hastighetsreduksjon fra 210 km/t til 160 km/t, kunne gi reduserte vedlikeholdskostnader på 27 prosent.

Redusert ressursbruk til bemanning

Automatisering vil gi muligheter å redusere ressursbruk til bemanning av togdriften. Dette er en tydelig effekt av de høyeste nivåene av automasjon, der togene er førerløse, og på noen strekninger vil det også være aktuelt å kjøre tog uten ombordpersonell.

Selvkjørende og førerløse tog vil også gi effekt for tidsbruken ved vending og hensetting av tog. For førerløse tog vil tidseffekten ved vending for enkelte ruter kunne være så stor at det er mulig å redusere behovet for materiell.

Vurdering av alternativene

For redusert ressursbehov gjennom redusert energibruk og slitasje viser simuleringene at det kun er mindre forskjeller i ytelse mellom alternativ A, B og C. Mulighet for reduksjon i energibruk er aggregert til en reduksjon på rundt 2 prosent, gitt de forutsetningene som er lagt til grunn for simuleringene. Basert på simuleringene er vurderingene at ATO ikke i vesentlig grad bidrar til å redusere hverken bruk av energi eller vedlikeholdsbehov, men det er mulig å hente ut mindre gevinster dersom disse ikke påvirker muligheten for å kjøre i tråd med oppsatt ruteplan. Simuleringer av kjørestil der det er vektlagt å redusere tidsbruk viser derimot at energibruken øker. Det vil være mulig å kombinere flere hensyn gjennom automatisering, og det vil være mulig å kombinere flere kjørestiler i løpet av en rute. Måloppnåelsen for alternativene settes derfor lik 0, og videre vurderinger av hvilke gevinster det er mulig å oppnå undersøkes i den samfunnsøkonomiske analysen. Mulighetene for mer effektiv drift av togtilbudet ved hjelp av systemer som erstatter personell gir derimot vesentlige forskjeller i måloppnåelse mellom alternativene. I alternativ C vil man oppnå en vesentlig økt måloppnåelse for effektiv drift av togtilbudet.

Mulighet for mindre ressursbruk og mer effektiv drift av togtilbudet er til stede i alternativ A og B, gitt at systemet optimaliseres slik at gevinstene kan tas ut. Gevinstene vil være summen av en rekke mindre bidrag. I alternativ C gir førerløs togframføring et vesentlig bidrag til måloppnåelse.

	0	A	B	C
E2-1 Redusert ressursbruk, energi og vedlikehold	0	0	0	0
E2-2 Redusert ressursbruk, bemanning	0	0	0	++
E2: Mer effektiv drift av togtilbudet	0	0	0	+

7.4.3 E3: Bedre sikkerhet for alle som ferdes på og ved jernbanen

Reduksjon i uønskede hendelser

Reduksjon i uønskede hendelser vurderes blant annet basert på tilgjengelig kunnskap om «passhendelser», og på en helhetlig vurdering av hendelser det er knyttet risiko til, som omtalt i kapittel 4.2.3.

Det er forutsatt at togene på lengre distanser der det ikke er mulig å oppnå en tilfredsstillende responstid ved uønskede hendelser, fremdeles vil ha ombordpersonell.

Opplevd trygghet

«Opplevd trygghet» bygger på erfaringer om de reisendes opplevde trygghet. Siden opplevelsen av trygghet er subjektiv trenger den ikke å ha noen sammenheng med risiko for at noe uønsket skal skje. T-bane er det transportmiddelet som oppleves mest utrygt for ubehagelige hendelser. Tog oppleves som tryggere enn annen kollektivtransport, med unntak av fly. Graden av opplevd trygghet avhenger av subjektive vurderinger av sannsynligheten for og konsekvenser av mulige hendelser, personlige erfaringer med lignende hendelser, samt mer følelsesmessige vurderinger. Hva som vurderes som trygt varierer etter kjønn og alder. Opplevelsen av trygghet påvirkes også av andre hendelser som ikke er direkte relatert til transporten, som krig, terrorhandlinger eller andre hendelser som preger nyhetsbildet.

Vurdering av alternativene

Alle alternativene vil gi en positiv effekt målt mot risiko for at passhendelser skjer. I alternativ A forutsettes det fremdeles at fører nyttiggjør seg den informasjonen som gis på førerpanelet, mens i alternativ B og C vil togstopp bli gjennomført automatisk. Alle alternativene vil tilføre jernbanesystemet en ny barriere mot uønskede hendelser, men effekten vil være større gjennom automatisering i alternativ B og C. For alternativ C er det lagt til grunn omfattende sikringstiltak, det er også forutsatt fjerning av planoverganger, noe som vil bidra vesentlig til å redusere risiko for uønskede hendelser.

For opplevd trygghet vil alternativ A og B ikke innebære noen endring sammenliknet med nullalternativet, mens i alternativ C kan fravær, særlig av ombordpersonell, gi lavere grad av opplevd trygghet. Som TØI trekker fram i sin rapport vil også andre hendelser og den generelle opplevelsen av trygghet på det tidspunktet førerløse løsninger og delstrekninger uten ombordpersonell innføres. Alternativ C vurderes derfor med mulig lavere måloppnåelse, men i en framtidig situasjon kan andre tiltak som bidrar til opplevd trygghet like gjerne medvirke til økt måloppnåelse.

	0	A	B	C
E3-1 Reduksjon i uønskede hendelser	0	+	++	+++
E3-2 Opprettholde nivået for opplevd trygghet	0	0	0	-
E3: Bedre sikkerhet	0	0	+	++

7.4.4 Oppsummering

	0	A	B	C
E1 Utvikling av togtilbudet og økt punktlighet	0	+	+	+
E2 Mer effektiv drift av togtilbudet	0	0	0	+
E3 Bedre sikkerhet	0	0	+	++
Rangering etter måloppnåelse	0	3	2	1

Alle alternativene bidrar positivt til måloppnåelse, men alternativene er ikke alene i stand til å løse utfordringene jernbanesystemet står overfor i form av kapasitetsutfordringer og lav punktlighet. Alternativene bidrar til en viss grad til reduserte forsinkelser, men fjerner ikke problemet, og gir ikke i vesentlig grad mulighet for ny tilbudsutvikling. Selv om automatisering kan bidra til redusert slitasje og energibruk, vil behovet for å følge ruteplanen redusere potensialet for effektivitetsgevinster. Dette til tross, automatisering vil gjøre det mulig å oppnå lik kjøring med vekt på de parameterne som prioriteres. Dersom ruteplanen tillater det, vil derfor redusert energibruk være mulig. Den største gevinsten for effektivisering er muligheten for førerløs kjøring, som alternativ C representerer. All automatisering vil innebære et økt sikkerhetsnivå, men opplevd sikkerhet kan bli redusert i alternativ C, der en fører er fraværende, og der det på enkelte strekninger vil være mulig å kjøre uten ombordpersonell. Alle tiltakene som er lagt inn i alternativ C for å sikre spor og stoppesteder bidrar vesentlig til reduksjon i risiko for uønskede hendelser, men tiltakene medfører en tilsvarende vesentlig kostnadsøkning. For vurderingen av alternativet kun på allerede sikrede deler av infrastrukturen, vil måloppnåelsen for E3 være tilsvarende som for alternativ B.

7.5 Vurdering av alternativene opp mot rammebetingelser

R1. Løsningene kan ikke påvirke samfunnssikkerheten negativt

Det stilles ulike krav for å ivareta sikkerhet og sikring av jernbanen. Både sikkerhet og sikring handler om å unngå uønskede hendelser, men der sikkerhet inngår som del av egenskapene ved alternativene som er utredet, er sikring en del av den totale samfunnssikkerheten. Sikring er rettet mot å unngå tilsiktede eller villedede uønskede hendelser. I sikringsforskriften er en tilsiktet uønsket handling en uønsket hendelse som «forårsakes av en aktør som handler med hensikt, begrenset til terror og sabotasje og trussel om dette, samt hærværk og tyveri med særlig stort skadepotensial».

ATO-løsningene som er utredet for de ulike alternativene forutsetter at nytt ERTMS signalanlegg er tatt i bruk. Det nye signalanlegget (ERTMS) bygges i en redundant konfigurasjon, noe som også vil si at en reserveløsning vil ta over dersom deler av systemet svikter. Dette vil også gjelde for ATO-løsningen. Den sentrale delen av både signalanlegget og ATO-løsningen vil være samlokalisert. Samlokalisering av systemene gir mulighet for mer enhetlig sikring og overvåking iht. krav om IT-sikkerhet og fysisk sikring. I tillegg blir det enklere å vedlikeholde systemene.

Generelt innebærer rammebetingelsen et kontinuerlig arbeid med informasjonssikkerhet. Sårbarhet mot uønskede hendelser kan øke med høyere grad av automasjon. Det vil være et kontinuerlig arbeid å ivareta IT-sikkerhet. Alle alternativene i konseptvalgutredningen benytter det samme sentrale ATO-systemet, og vil dermed sette samme krav til sikring. For alternativene A og B må også ATO-utstyr i toget betraktes med hensyn IT-sikkerhet. Ved alternativ C innføres i tillegg støttesystemer som skal ivareta trafikksikkerheten, og disse må også sikres mot villedede uønskede hendelser.

R2. Løsningene skal bidra til en bærekraftig utvikling av jernbanen

I september 2015 vedtok alle medlemslandene i FN 17 nye mål for bærekraftig utvikling fram mot år 2030. De 17 målene, med til sammen 169 delmål, siktet seg inn på det FN identifiserte som bærekraftens tre dimensjoner: Klima og miljø, økonomi og sosiale forhold. Målene ble utformet for å stake ut en ny kurs for medlemsland, sivilsamfunn og næringslivet, og avløste de såkalte «tusenårsmålene» som utløp i 2015. Tematisk strekker målene seg fra å «utrydde fattigdom» til å «stoppe klimaendringene» (Kilde: FN).

Transportsektoren spiller en betydelig rolle i arbeidet med FNs bærekraftsmål. Den har ikke sitt eget mål, men er viktig for å innfri flere av de 17 målene. Både målet om mer bærekraftige byer og infrastruktur, og målene som omhandler matsikkerhet, helse og energi er tett forbundet med å kunne frakte mennesker og varer rundt på en sikker og miljøvennlig måte.

Å flytte mer transport over på jernbane gjør transportsektoren mer bærekraftig, ikke minst fordi jernbanen bruker mindre energi og areal i forhold til kapasitet, enn andre transportmidler. ([Microsoft Word - Rapport Arealeffektivitet 20210502.docx \(jernbanedirektoratet.no\)](#))

Det er en klar forventning om at bruk av ny teknologi skal bidra til en bærekraftig utvikling (Ekspertutvalget (2019)). Gjennom bruk av ny teknologi kan vi utnytte den infrastrukturen vi allerede har bygget, på en måte som gir bedre mobilitet, uten å forringe andre viktige verdier. Utgangspunktet for utredningen er å få bedre nytte av en vedtatt investering gjennom mindre tilleggstiltak.

Vi ser av simuleringene at automatisk togframføring vil gi gevinster i form av et togtilbud med reduserte forsinkelser. Reduserte forsinkelser vil øke attraktiviteten til jernbanetilbudet.

ATO-teknologi gir også mulighet for å spare energi, men effekten her er mindre og avhengig av at ruteplanen tillater en kjørestil som sparer energi. Denne kjørestilen antas også å ha noe effekt i form av mindre slitasje på infrastruktur og materiell.

De vurderte alternativene har vesentlige forskjellige bidrag til en bærekraftig utvikling. Mens alternativ A og B er klart i tråd med prinsipper for bærekraft, så er det større utfordringer knyttet til alternativ C, slik det er utformet for denne analysen. I alternativ C er det lagt inn en rekke sikkerhetstiltak basert på dagens verktøy for å opprettholde sikkerhet. Dette omfatter inngjerding av infrastruktur på de delene av infrastrukturen som ikke allerede er sikret mot ferdsel, og sikring eller sanering av planoverganger. På lang sikt er det en forventning om at teknologiutviklingen vil finne andre løsninger som er mindre inngripende.

Alternativet er derfor likevel videreført som et helhetlig grep i analysene, men i praksis vil løsningen, slik den er utformet i denne utredningen, kun være aktuell for enkeltstrekninger som for eksempel sikrede dobbeltspor på lokaltogstrekninger.

7.6 Samfunnsøkonomisk analyse

Det er gjort samfunnsøkonomiske lønnsomhetsberegninger av følgende hovedformer for automatisk togframføring (ATO):

- Alternativ A: Førerstøtte
- Alternativ B: Selvkjørende tog
- Alternativ C: Førerløse tog

I alternativene med førerstøtte (A) og selvkjørende tog (B) er det antatt at dette innføres for både person- og godstog i hele jernbanenettet. På den måten er man sikret en homogen kjøreatferd som er en forutsetning for å hente ut fulle effekter av ATO, men alternativene kan skaleres ned og gi delvis effekt. For alternativet med førerløse tog (C) så er det mulig å begrense dette til deler av jernbanenettet, forutsatt at det innføres ATO med selvkjørende tog for øvrig. Fordi førerløse tog innebærer relativt store investeringer i sikkerhets-tiltak utenfor bynære områder, og at nytten av førerløs togdrift kan være mer begrenset i disse delene av jernbanenettet, så er det gjort beregninger for ulike delalternativer med varierende omfang av førerløs drift. Alternativene som er vurdert og lønnsomhetsberegnet er følgende:

- Alternativ C.1: Førerløs togdrift på utvalgte lokaltoglinjer i Oslo, Bergen og Stavanger
- Alternativ C.2: Førerløs togdrift lokal- og regiontoglinjer på Østlandet
- Alternativ C.3: Førerløse togdrift for alle person- og godstog i hele jernbanenettet

For hvert alternativ (dvs. A, B, C.1, C.2 og C.3) er det gjort lønnsomhetsberegninger for to alternative måter å utnytte ATO på. I det ene tilfellet er det antatt at ATO er innrettet mot å kjøre «mykt» for å spare energi; dette alternativet benevnes Energi. I den andre tilfellet er det antatt at ATO er innrettet mot å kjøre «aggressivt» for blant annet å øke trafikkapasiteten; dette alternativet benevnes Kapasitet. Dette gir totalt ti alternativer som er lønnsomhetsberegnet.

I hvert enkelt alternativ er det gjort vurderinger av hvilke positive og negative virkninger ATO vil kunne medføre i forhold til null- eller referansealternativet, som i dette tilfellet er at det ikke innføres ATO i togdriften i Norge. Disse virkningene er verdsatt i kroner så langt det er faglig forsvarlig. Dette krever at virkningene lar seg kvantifisere og at det eksisterer anslag på verdi («pris») pr. enhet. Verdien av de positive effektene omtales som nytte, mens de negative effektene omtales som kostnader.

Fordi nytte og kostnader typisk oppstår på ulike tidspunkt, regnes all nytte og alle kostnader om til nåverdier. Det innebærer at nytte og kostnader blir neddiskontert, slik at nytte og kostnader blir mindre verdt jo lenger fram i tid disse inntreffer. Nåverdier er beregnet i 2023-kroner.

Lønnsomhetsberegningene og forutsetninger for disse er gjort nærmere rede for i vedleggsrapport om samfunnsøkonomisk lønnsomhetsanalyse av ATO.

7.6.1 Sentrale forutsetninger og tallgrunnlag

De samfunnsøkonomiske lønnsomhetsberegningene er basert på følgende:

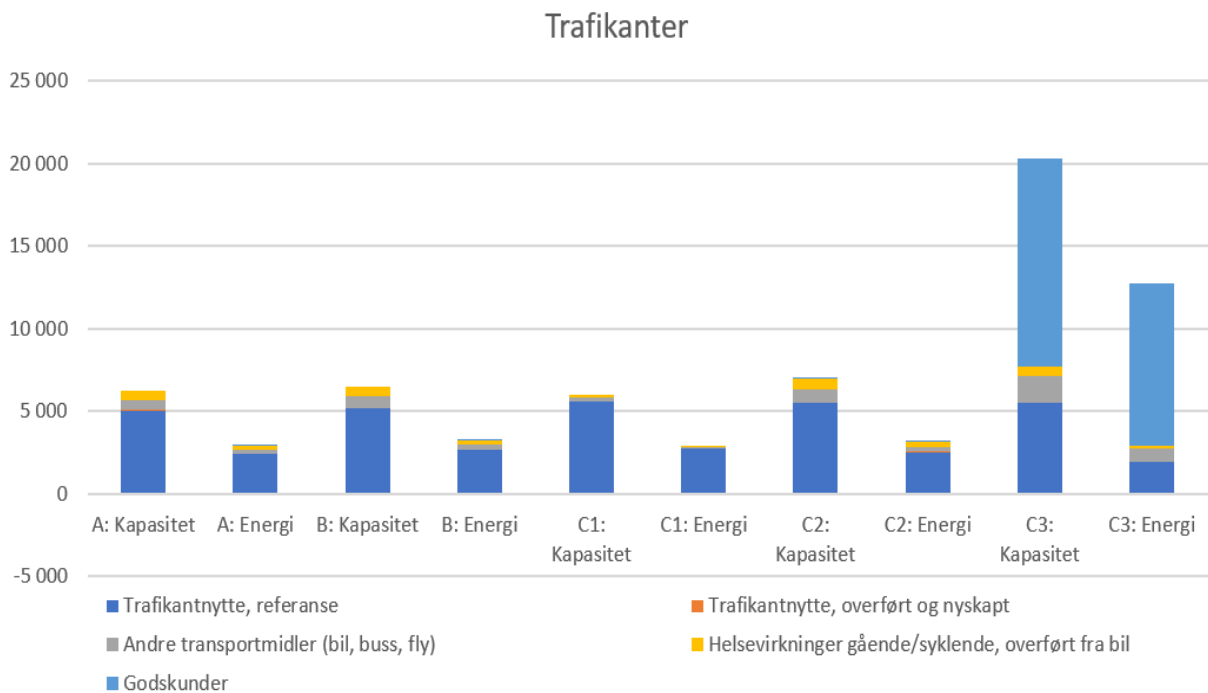
- Befolkning og økonomisk vekst i samsvar med de forutsetninger som er lagt til grunn i forbindelse med NTP 2025 - 2036
- Togtilbud i samsvar med referanse togrutetilbud som er utviklet for og lagt til grunn i Jernbanedirektoratets innspill til NTP 2025 - 2036
- Investerings- og driftskostnader forbundet med ATO i samsvar med usikkerhetsanalyse for KVVU ATO
- Etablerte og oppdaterte tidsverdier og enhetspriser for bruk i forbindelse med samfunnsøkonomiske lønnsomhetsanalyser innen jernbane
- Simuleringer av effekten av ATO for forsinkelser og trafikkapasitet
- Gjeldende statlige retningslinjer for samfunnsøkonomiske lønnsomhetsanalyser
- Analyseperiode på 75 år med oppstart i år 2034
- Alle beløp er regnet i nåverdier i 2023-kroner

7.6.2 Nytte- og kostnadsvirkninger for trafikantene

Trafikantene kan bli berørt av ATO på flere vis:

- Endringer i forsinkelser som følge av at ATO
- Endring i togtilbud muligjort ved endret trafikkapasitet som følge av ATO
- Endringer i transporttid som følge av at ATO fører til endring i kjøretid
- Endring i komfort som følge av endret kjøreatferd som følge av ATO

Det er gjennomført simuleringer som viser at ATO vil bidra til å redusere forsinkelsene, noe som vil gjelde for både person- og godstransporten. Beregninger viser at selv om reduksjonene i forsinkelser er relativt beskjedne så vil nytteeffekten være relativt stor for togpassasjerene; for godskundene er nytteeffekten begrenset. Når det gjelder effekten av ATO på trafikkapasiteten, så viser simuleringer at effektene er for små til å frigjøre ruteleier til forbedring av togtilbudet. Øvrige nytteeffekter er ikke prissatt grunnet manglende tallgrunnlag. Figur 7-2 viser trafikantnytte for de ulike alternativene i form av nåverdier i milliarder 2023-kroner, der positive tall angir nytte og negative tall angir kostnad. Figuren viser at trafikantnytte er større dersom ATO innrettes mot å øke kapasiteten enn om det legges opp til å spare energi, noe som gjenspeiler at reduksjonene i forsinkelser er større i førstnevnte enn i sistnevnte tilfelle. Figuren viser også at reduksjonen i forsinkelser blir noe større jo større grad av automasjon. Alternativet med førerstøtte for all togdrift i hele jernbanenettet (alternativ C.3) har en markant større nytte enn øvrige alternativer. Det skyldes at førerløse godstog gir betydelige reduksjoner i godsoperatørens driftskostnader, noe som fører til tilsvarende reduksjoner i fraktprisene med økt nytte for godskundene som resultat.



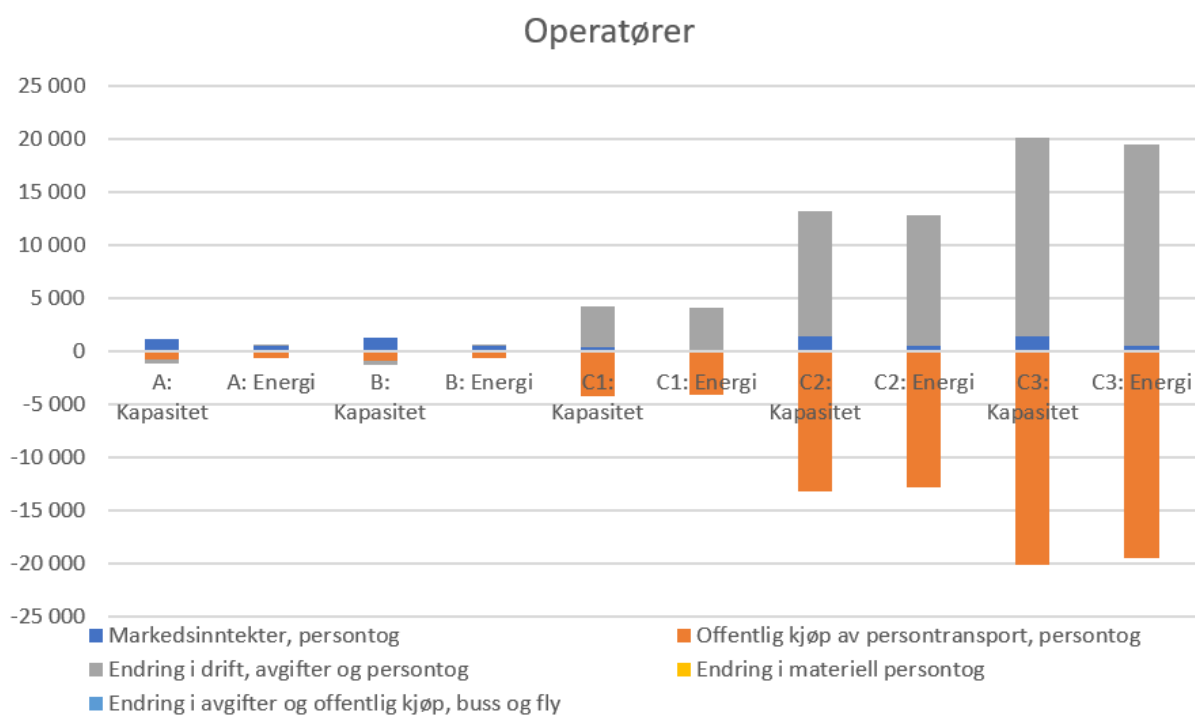
Figur 7-2: Nåverdi av trafikantnytte (mrd. NOK)

7.6.3 Nytte- og kostnadsvirkninger for operatører

Operatørene kan bli berørt av ATO på flere vis:⁹

- Endringer i markedsinntekter grunnet endringer i etterspørsel som følge av ATO
- Endringer i driftskostnader grunnet endringer energikostnader og slitasje på togmateriell som følge av ATO
- Endringer i mannskapskostnader ved førerløs togframføring

For persontogoperatørene øker markedsinntektene som følge av at trafikantene vil reise noe mer grunnet reduserte forsinkelser. Når det gjelder energikostnadene i persontogdriften så vil disse reduseres noe dersom ATO benyttes til å spare energi, men vil øke dersom ATO benyttes for å øke kapasiteten. Endringer i slitasjekostnader på togmateriell er ikke prissatt grunnet manglende tallgrunnlag. Det som har størst betydning er førerløs togdrift som vil spare operatørene for betydelige mannskapskostnader. For operatører som driver persontogtrafikk med offentlige tilskudd er det imidlertid antatt at endringer i økonomisk resultat vil motsvares av tilsvarende endringer i offentlige tilskudd, slik at operatørens resultat forblir uendret. Figur 7-3 viser de økonomiske konsekvensene for persontogoperatørene i form av nåverdier i milliarder 2023-kroner, der positive tall angir nytte og negative tall angir kostnad. Figuren viser at operatørene får i utgangspunktet økt nytte som motsvares av tilsvarende kutt i offentlige tilskudd, samt at effektene er markant større ved omfanget av førerløse tog som følge av store besparelser i mannskapskostnader.



Figur 7-3. Nåverdi av operatørens nytte og kostnader (mrd. NOK)

ATO vil også få konsekvenser for godstogoperatørene. Effektene av reduserte forsinkelser på markedsinntektene er imidlertid svært beskjedne i forhold til persontogtrafikken. Også energikostnadene vil endres noe som følge av ATO liksom for persontogtrafikken. Det som derimot har en stor positiv effekt, er bortfall av togfører kostnader i det tilfellet det legges opp til førerløs drift også for godstogtrafikken (alternativ C.3). Men selv om det er operatørene som i første omgang blir berørt økonomisk så vil disse operere i et marked

⁹ Kostnader knyttet til investering i og drift av ATO er i lønnsomhetsberegningene antatt dekket av det offentlige og ikke operatørene.

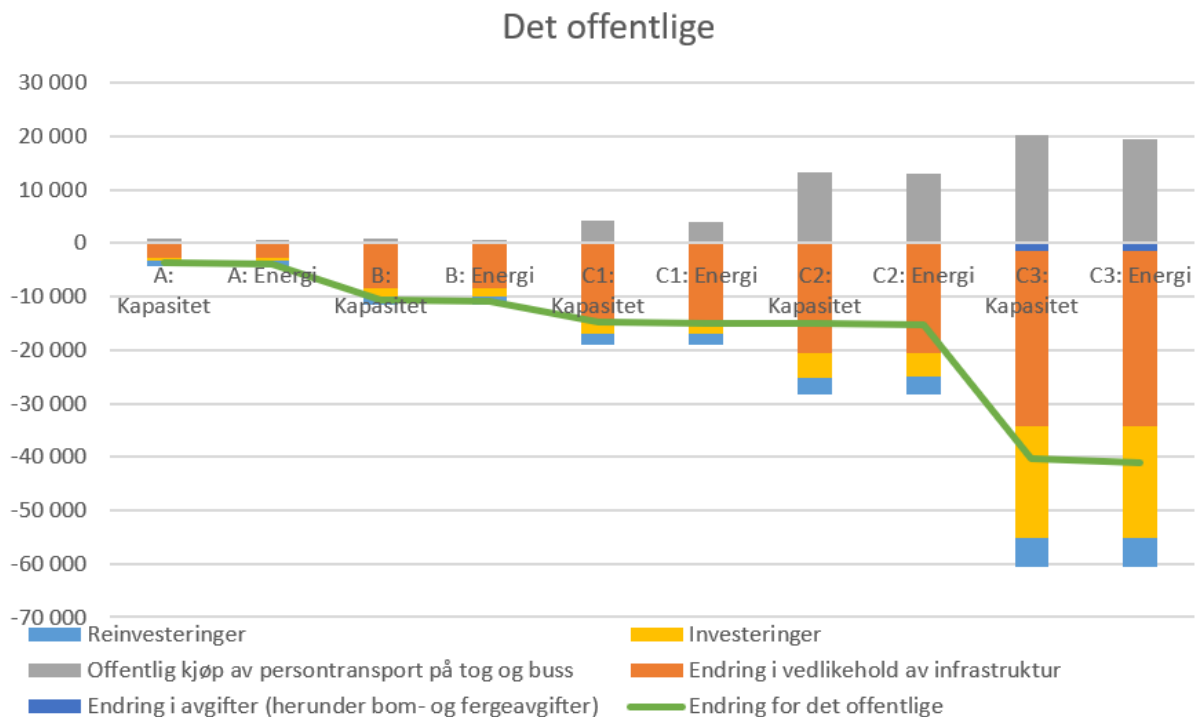
preget av konkurranse. Det legges derfor til grunn at kostnadsbesparelsene vil komme kundene til gode i form av lavere fraktpriser og dermed økt trafikantnytte; jmfør kapittel 7.6.2.

7.6.4 Nytte- og kostnadsvirkninger for det offentlige

ATO vil ha flere konsekvenser for det offentlige:

- Kostnader knyttet til investering og reinvesteringer i ATO og eventuelle sikkerhetstiltak ved bruk av førerløse tog
- Kostnader knyttet til vedlikehold og drift av ATO og eventuelle sikkerhetstiltak ved bruk av førerløse tog
- Endringer i offentlige tilskudd til persontogtrafikken

ATO medfører investerings- og driftskostnader som er relativt moderate ved bruk av førerassistanse (A), men mer betydelige ved bruk av selvkjørende tog (B) og især førerløse tog (C), der det i tillegg forventes krav om betydelige investeringer i sikkerhetstiltak. Som en følge av at operatørens resultater forbedres som følge av ATO, vil offentlige tilskudd kunne reduseres. Figur 7-4 viser de økonomiske konsekvensene for det offentlige i form av nåverdier i milliarder 2023-kroner, der positive tall angir nytte og negative tall angir kostnad. Figuren viser at det er en netto økning i offentlige utgifter og at disse er moderate ved lav grad av automasjon (A) og markant større ved høyere grad av automasjon (B og C).



Figur 7-4. Nåverdi av det offentliges nytte og kostnader (mrd. NOK)

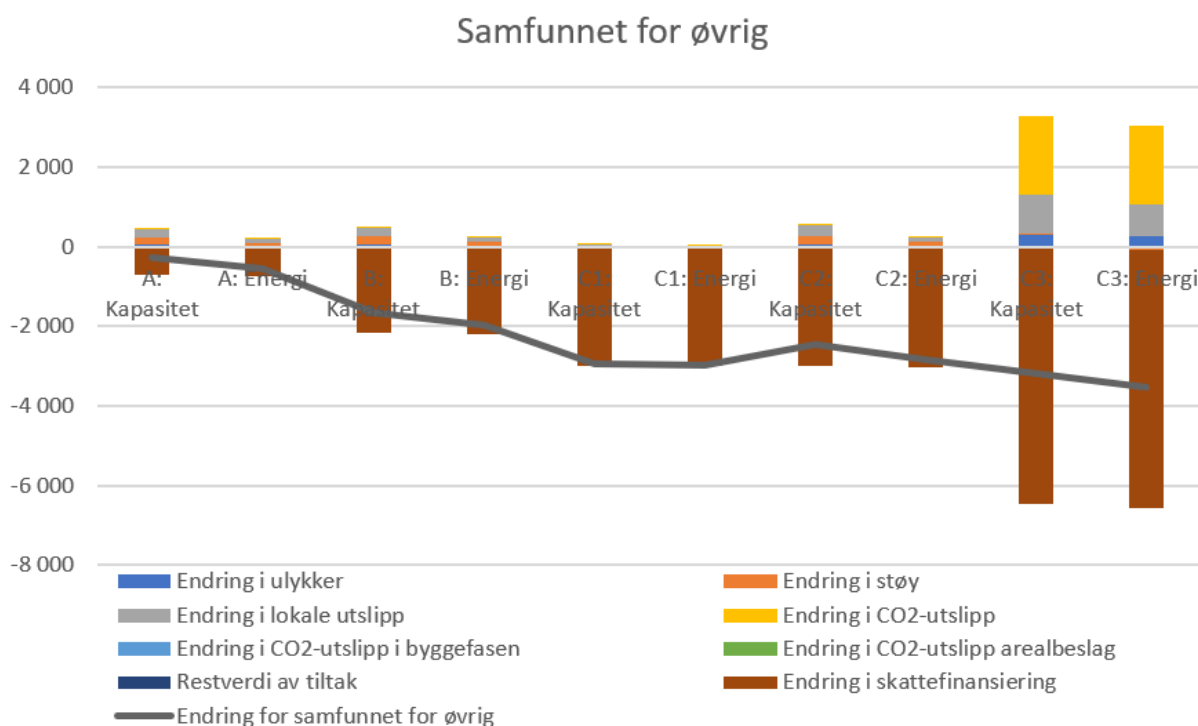
7.6.5 Nytte- og kostnadsvirkninger for samfunnet for øvrig

ATO vil kunne ha virkninger for samfunnet for øvrig:

- Endring i offentlige utgifter vil innebære endring i beskatning som påfører økonomien effektivitetstap
- Andre virkninger for samfunnet så som endring i ulykker, støy og utslipp

- Restverdier som følge av at enkelte investeringer kan ha lengre levetid enn analyseperioden¹⁰

Som en følge av at det offentlige får en netto økning i kostnader som følge av ATO vil effektivitetstapet av beskatning øke. Denne er moderat ved førerstøtte (A), men betydelig større ved selvkjørende tog (B) og førerløse tog (C), ettersom de to sistnevnte medfører betydelig større kostnader for det offentlige enn førstnevnte. ATO har for øvrig noen andre, men mer moderate effekter for ulykker, støy og utslipp som følge av overføring av trafikk fra veg- til banetransport. Figur 7-5 viser de økonomiske konsekvensene for samfunnet for øvrig i form av nåverdier i milliarder 2023-kroner, der positive tall angir nytte og negative tall angir kostnad. Figuren viser at skattefinansieringskostnadene dominerer og er betydelig høyere ved høy grad av automasjon (B og C) enn ved lav grad av automasjon (A), noe som gjenspeiler størrelsen på de offentlige utgiftene. Andre effekter for samfunnet for øvrig er positive, og er størst dersom ATO innrettes mot å øke kapasiteten framfor å spare energi. Figuren viser at samfunnet for øvrig påføres netto kostnader som er større jo større grad av automasjon med unntak av førerløse tog innrettet mot å øke kapasiteten (C Kapasitet).



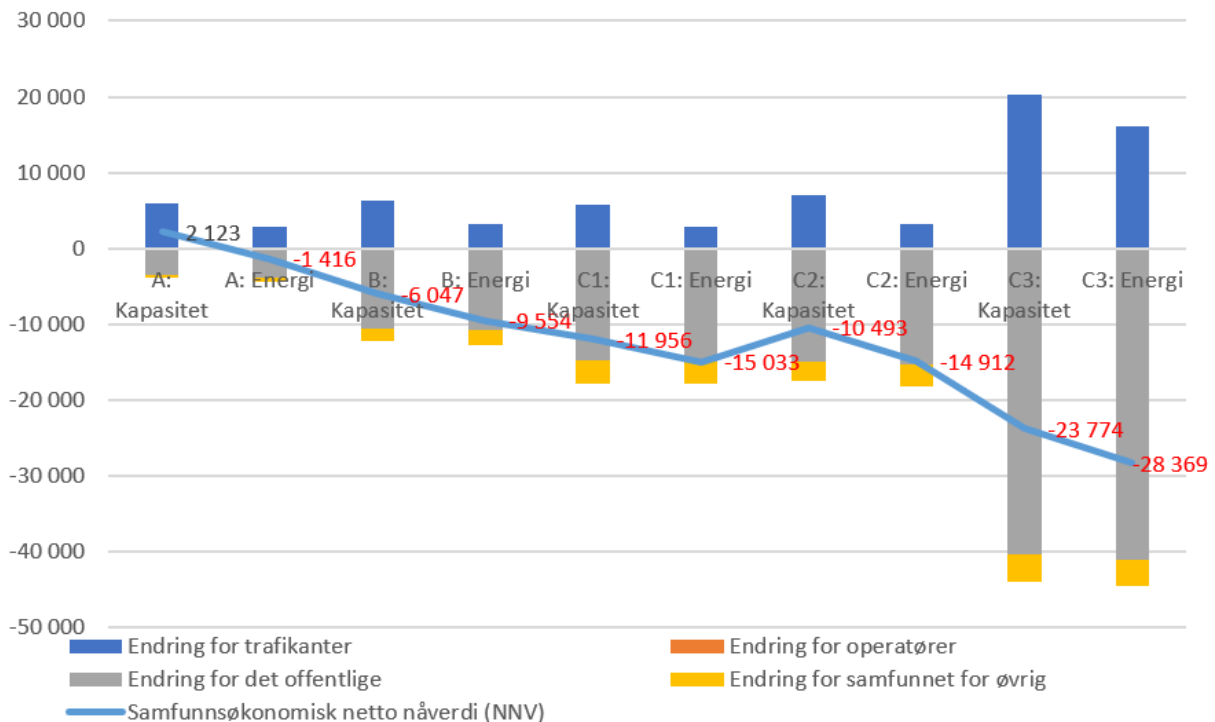
Figur 7-5: Nåverdi av nytte og kostnader for samfunnet for øvrig (mrd. NOK)

7.6.6 Samfunnsøkonomisk lønnsomhet for de ulike alternativene

Figur 7-6 viser nytte og kostnader for trafikanter, operatører, det offentlige og samfunnet i form av nåverdier i milliarder 2023-kroner, der positive tall angir nytte og negative tall angir kostnad.

¹⁰ Dette er en beregningsteknisk størrelse som er beregnet som en rundsum og tillagt samfunnet for øvrig.

Samfunnsøkonomisk netto nåverdi



Figur 7-6. Netto nåverdier for alternativene (mrd. NOK)

Netto nåverdi er nåverdi av nytte fratrukket nåverdi av kostnad. Dersom netto nåverdi er positiv betyr det at nåverdien av nytten er større enn nåverdien av kostnadene, og tiltaket er i så fall samfunnsøkonomisk lønnsomt sett i forhold til null-/referansealternativet (ingen ATO). Dersom netto nåverdi er negativ betyr det at nåverdien av kostnadene er større enn nåverdien av nytten, og tiltaket er i så fall samfunnsøkonomisk ulønnsomt sett i forhold til null-/referansealternativet (ingen ATO).

Figur 7-6 viser at for hvert hovedalternativ (A, B og C) så er netto nåverdi høyere dersom ATO innrettes mot å øke kapasiteten enn dersom ATO innrettes mot å spare energi. Dette skyldes i hovedsak større trafikanntytte som følge av at når ATO innrettes mot å øke kapasiteten så er reduksjonen i forsinkelser større enn om ATO innrettes mot å spare energi.

Figur 7-6 viser at alternativet med førerstøtte innrettet mot å øke kapasiteten (A Kapasitet) har en positiv netto nåverdi. Det vil si at de pris-satte nyttevirkingene av et førerstøtte-system er større enn de pris-satte kostnadene, og følgelig samfunnsøkonomisk lønnsomt. Dersom førerstøtte-systemet derimot benyttes til å spare energi så vil netto nåverdi derimot være negativ, dvs. samfunnsøkonomisk ulønnsomt.

Selvkjørende tog (alternativ B) har høyere investerings- og særlig driftskostnader enn et førerstøtte-system uten at nytten er særlig større. Dette gjør at selvkjørende tog (alternativ B) har negativ netto nåverdi og er følgelig samfunnsøkonomisk ulønnsomt.

Førerløse tog (alternativ C) har en større nytte enn øvrige alternativer, først og fremst som følge av store besparelser i mannskapskostnader. Men dette har også betydelig større kostnader som følge av at det påkreves betydelige investeringer for å opprettholde sikkerheten. Nyten øker med omfanget av førerløse togdrift i jernbanenettet, men det gjør også kostnadene knyttet til sikkerhetstiltak. Førerløse togdrift (alternativ C) er derfor funnet å ha negativ netto nåverdi og er følgelig samfunnsøkonomisk ulønnsomt.

Det er verdt å merke seg at enkelte virkninger av ATO ikke har latt seg tallfeste grunnet manglende simuleringer av kjøretider for tog, og er dermed heller ikke inkludert i beregningene av nytte og kostnader. Blant annet gjelder dette spart reisetid for passasjerene.

Nytte- og kostnadsberegningene er basert på et tallgrunnlag som er beheftet med en viss usikkerhet. Følsomhetsanalyser av det samfunnsøkonomisk sett lønnsomme alternativet med fører støtte (alternativ A) tyder imidlertid på at nytten kan være vesentlig lavere eller kostnadene vesentlig høyere enn anslått uten å true lønnsomheten. Tilsvarende analyser av det ulønnsomme alternativet med selvkjørende tog (alternativ B) viser at det kreves svært stor økning i nytte eller reduksjon i kostnader i forhold til anslagene for at dette alternativet skal bli lønnsomt for samfunnet. For alternativet med førerløse tog (alternativ C) der nytten av ATO først og fremst knytter seg til store besparelser i mannskapskostnader, så er det de betydelige investerings- og driftskostnadene knyttet til sikkerhetstiltak som er kritiske for lønnsomheten. Målt i kroner må reduksjonene i disse kostnadene være betydelige for at førerløs togdrift skal være samfunnsøkonomisk lønnsom.

Det kan tilføyes at for det (mest) lønnsomme alternativet for ATO, nemlig fører støtte, vil ha forholdsvis beskjedne grunnlagsinvesteringer i form av signalteknisk infrastruktur for ATO. I stor grad består kostnadene for øvrig av en strøm av hyppige og relativt små reinvesteringer i ombordutstyr i togene. Disse reinvesteringene kan termineres dersom kritiske faktorer ikke blir som forventet.

7.6.7 Oppsummering samfunnsøkonomisk analyse

Det er gjennomført samfunnsøkonomiske analyser av ATO i form av tog med fører støtte, selvkjørende tog og førerløse tog. For hvert av disse alternativene er det gjort beregninger av lønnsomheten av å innrette ATO mot å kjøre «aggressivt» for å spare kjøretid og lønnsomheten av å innrette ATO mot å kjøre «mykt» for å spare energi. Lønnsomhetsanalysene er basert på simuleringer av effektene av ATO på forsinkelser og forbruk av energi, samt etablerte satser og prinsipper for samfunnsøkonomiske lønnsomhetsanalyser.

Simuleringene indikerer at ATO kan bidra til reduserte forsinkelser. Reduksjonen i forsinkelser er imidlertid større dersom ATO innrettes mot å spare kjøretid enn om ATO innrettes mot å spare energi. Fordi trafikantene har høy verdsettelse av reduksjon i forsinkelser, vil det å spare kjøretid veie tyngre enn det å spare energi. Det å innrette ATO mot å spare kjøretid er derfor det mest lønnsomme for samfunnet, uansett om man velger fører støtte, selvkjørende tog eller førerløse tog.

Når det gjelder alternativet fører støtte, så er investerings- og driftskostnadene beregnet til å være relativt beskjedne. Samtidig er nytten relativt stor, først og fremst som følge av at trafikantene får reduserte forsinkelser. Lønnsomhetsberegningene viser at dette alternativet har en positiv netto nåverdi forutsatt at ATO innrettes mot å øke kapasiteten, det vil si at nåverdien av nytten overstiger nåverdien av kostnadene. Fører støtte er således funnet å være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

Selvkjørende tog innebærer noe større nytte enn fører støtte. Forskjellen er imidlertid ikke stor, noe som skyldes at selvkjørende tog ikke gir vesentlig større reduksjon i forsinkelser enn fører støtte. Men kostnadene ved selvkjørende tog er beregnet å være betydelig større enn kostnadene ved fører støtte. Dette skyldes dels noe høyere investeringskostnader, men først og fremst vesentlig større driftskostnader. Lønnsomhetsberegningene viser at dette alternativet har en signifikant negativ netto nåverdi, dvs. at nåverdien av kostnadene overstiger nåverdien av nytten. Selvkjørende tog er derfor funnet å være samfunnsøkonomisk ulønnsomt.

Rent samfunnsøkonomisk skiller førerløse tog seg fra de øvrige alternativene ved at man kan spare seg for store årlige kostnader knyttet til togførere. Samfunnsnyttene av førerløse tog vil derfor være betydelig større enn ved selvkjørende tog og tog med fører støtte, og den vil være større jo større del togdriften som kan kjøres førerløst. Selv om investerings- og driftskostnadene forbundet med ATO ikke vil være vesentlig større enn for selvkjørende tog, så vil førerløse tog imidlertid kreve svært store investeringer i sikkerhetstiltak langs sporet, på plattformer og om bord på togene. Og disse kostnadene vil øke jo flere tog og jo større del av jernbaneinfrastrukturen som skal legges til rette for førerløs drift. Lønnsomhetsberegningene viser at førerløs togdrift (alternativ C) har en signifikant negativ netto nåverdi, dvs. at nåverdien av kostnadene overstiger nåverdien av nytten, og er således samfunnsøkonomisk ulønnsom. Dette er funnet å gjelde for førerløs togdrift begrenset til et fåtall lokaltog, for førerløs togdrift i lokal- og regiontogtrafikken på Østlandet og for førerløs togdrift for all togtransport i hele jernbanenettet.

Den samfunnsøkonomiske analysen indikerer dermed at førerstøtte innrettet mot å spare kjøretid er samfunnsøkonomisk lønnsomt, mens selvkjørende tog og førerløse tog ikke er funnet å være samfunnsøkonomisk lønnsomt.

7.7 Oppsummering

7.7.1 Alternativene representerer en utvikling fram mot førerløse tog

Økt bruk av automatisering er en trend som er tydelig i alle deler av samferdselssektoren. Mange andre sektorer har allerede vært gjennom en tilsvarende overgang fra manuelle til automatiske operasjoner. Graden av automatisering er økende på vei, sjø, bane og i luft, og skjer hos alt fra systemleverandører til forvaltning.

Utredningen viser gevinster ved ulike grader av automatisert togframføring, og de praktiske og økonomiske konsekvensene de ulike nivåene av automatisering vil ha. Utredningen viser også at det i liten grad foreligger standardiserte løsninger som «hylleware». Systemleverandører har utviklet proprietære løsninger, samtidig som prosessen med å spesifisere og ratifisere felles europeiske standarder pågår.

Alternativanalysen viser at konseptene ikke er gjensidig utelukkende, men representerer ulike ambisjonsnivå som kan eksistere selvstendig eller samtidig på jernbanenettet, avhengig av hvilket nivå som gir best nytte for ulike strekninger og togkategorier.

Nullalternativet innebærer ingen statlig investering, og viser situasjonen når ERTMS og tilbudsforbedringer som følger av bundne prosjekter er innført, men uten bruk av ytterligere automatisering.

Dersom vi tar for gitt at automatisering er et verktøy som uavhengig av konseptvalg gradvis vil bli tatt i bruk, vil nullalternativet innebære at de kommersielle interessene styrer utviklingen, og automatisering skjer der det er bedriftsøkonomisk lønnsomt. For Bane NOR vil incentivet for å etablere en sentral utrustning i infrastrukturen ligge i økt trafikk med tilhørende økte trafikkinntekter. Siden alternativanalysen viser at effekten med full investering antakelig ikke gir grunnlag for økt trafikk, så vil ikke dette være et bedriftsøkonomisk lønnsomt tiltak for Bane NOR. I stedet vil dette kunne føre til behov for investering i framtiden, dersom ERA pålegger kompatibilitet med ATO-løsninger. Siden TSI CCS 2023 inkluderer ATO, kan utviklingen gå i den retningen.

Som det er pekt på i alternativanalysen, kan automatisering som gir optimalisering av føreradferd og reduksjon av utgifter gjennom mer effektiv drift hos operatørene, innføres også uten statlige investeringer. Effektene vil da i mindre grad være forutsigbare og antakelig rettet mer mot behovene til den enkelte aktør, enn basert på en samlet vurdering av hvor det er størst behov for å ta ut de gevinstene automatisering kan gi på områder som punktlighet eller energisparing. Dersom ulike komponenter anskaffes ukoordinert vil det også være risiko for økte kostnader ved at systemer må bygges om for å kunne samvirke.

Som første trinn utnytter **A-alternativet** mulighetene som automatisering gir, uten store investeringer eller omfattende implementering i tog. Systemer for førerveiledning er ikke helt nye, men muligheten ERTMS-utrustningen i Norge gir til å hente ut mer og bedre informasjon om trafikken i sanntid, er ny. Derfor ligger hovedinvesteringen i dette alternativet i etablering av en sentral infrastruktur som et nødvendig første trinn for å samle inn og distribuere sanntidsinformasjonen til kjøretøyene, men som senere trinn også kan utnytte. Proprietære C-DAS-løsninger for den signaltekniske infrastrukturen eller løsninger uten sanntidsinformasjon vil ikke gi den samme gevinsten.

Vi ser allerede at alternativ A er på vei til å bli implementert, ved at C-DAS løsninger kan tas i bruk i de nye lokaltogene som Norske tog anskaffer, og vurderes som del av utrustningen for nye fjerntog. I hvilken grad disse systemene vil kunne tilpasses standardisert signalteknisk infrastruktur med ATO-grensesnitt fra oppdatert TSI CCS 2023 må avklares. Effektiv bruk av førerveiledningssystemer krever opplæring av førere og driftspersonell, men kostnaden regnes som liten, og dette gir mulighet for tidlig realisering av gevinster. Siden det fortsatt vil være variasjon mellom førere, vil det være vanskelig å overføre små tidsreduksjoner til rutemessige endringer, men punktlighetsforbedringer og evt. kjøretidsreduksjoner på enkeltspor bør være mulig, sammen med en viss reduksjon i energiforbruk.

Alternativ A kan gjennomføres trinnvis, avhengig av om det legges inn krav om at C-DAS-løsninger kompatible med ATO-grensesnittet også skal integreres i eksisterende tog, eller om det bare skal kreves på nye kjøretøy som anskaffes. Dette vil påvirke implementeringstakten, men kan også redusere kostnaden, siden tog i framtiden forventes i større grad å være forberedt for ATO. For å oppnå gevinstene som simuleringene indikerer, er det nødvendig med full implementering.

Vurderingene av måloppnåelse viser at alternativet bidrar i tilsvarende grad som alternativ B og C til det prioriterte effektmålet om: «*Bedre utnyttelse av infrastrukturkapasiteten til utvikling av togtilbudet og økt punktlighet*». For effektmålene som omhandler mer effektiv drift og bedre sikkerhet, er måloppnåelsen noe lavere enn tilfellet er for alternativ B og C.

Den samfunnsøkonomiske analysen viser at dersom løsningen implementeres med formål å redusere kjøretiden, så vil alternativet ha en positiv netto nåverdi og dermed også være en lønnsom investering for samfunnet. Alternativet tar i bruk relativt moden teknologi, investeringskostnadene er lavere enn for de andre alternativene, og det vil være mulig å tilpasse en innføring av løsningen til andre pågående prosesser, som innføring av ERTMS i infrastruktur og materiell, andre større vedlikeholdsprogrammer for tog, eller andre tiltak som innføring av nytt togradiosystem.

B-alternativet vil gi et noe sikrere og mer konsistent effektuttak når kjøringen fra stoppested til stoppested er automatisert og basert på en standardisert spesifisering. Hvis hele kjøretøyflåten har samme teknologi, vil det i dette trinnet være lettere å hente ut små tidsreduksjoner i en justert ruteplan, forutsatt at det innføres en separat teknisk ruteplan. Effekter kan også hentes ut for mindre områder, hvis de fleste kjøretøy innenfor området har samme automasjonsnivå. Punktlighetseffekter og redusert energiforbruk bør kunne tas ut også ved en blanding av automasjonsnivåer.

Alternativet baserer seg på den samme infrastrukturen som i alternativ A, men investeringen i hvert tog vil øke og førers hverdag vil endres betydelig. Ikke minst vil behovet for optimalisering av framføringsalgoritmer bli tydelig, særlig for godstog. Samtidig kan effektene på punktlighet antakelig tas ut gradvis, etter som flere tog bygges om. Opplæring av førere og driftspersonell og systemer for vedlikehold av førerkompetanse blir en viktig del av dette trinnet.

Også for alternativ B er det usikkert hva full effekt av alternativet vil være. Simuleringene av lengre enkeltsporede strekninger viser at innføring av ATO med selvkjørende tog, vil kreve tilpasning av ruteplan for å kunne ta ut effekten av kortere framføringstid.

Den samfunnsøkonomiske analysen gjennomført på de simuleringsresultatene som foreligger fra alternativanalysen, viser at de effektene som er identifisert ikke er tilstrekkelig til å forsvare de drifts- og investeringskostnadene som alternativet medfører.

C- alternativet innebærer fullautomatisert framføring uten fører. Teknisk og kapasitets- og energimessig er dette trinnet noenlunde tilsvarende som alternativ B. Forskjellen i investeringsnivået skyldes omfattende sikkerhetstiltak.

Alternativet innebærer at de større økonomiske gevinstene ved automasjon realiseres, med mulighet for reduserte personellkostnader og mer effektiv turnering av kjøretøy som kan redusere kjøretøybehovet. Men sikkerhetsløsningene er ikke teknologisk modne for norske forhold, og med dagens løsninger er ikke alternativet kostnadseffektivt og ikke egnet på store deler av jernbanenettet. På strekninger som allerede har sikret eller lett kan sikre sporet for tredjepart (typisk bynære dobbeltspor og driftsbanegårder) kan likevel alternativ C på lengre sikt gi betydelig gevinst for kjøretøyturnering og for linjer på separate spor med homogen trafikk.

7.7.2 Tilrettelegging av sentral signalteknisk løsning er felles for alle alternativene

Felles for alternativene A, B og C som er vurdert i denne KVVU-en, er etablering av en sentral løsning for signalteknisk infrastruktur. Denne henter ut sanntidsinformasjon fra signal- og fjernstyringsanlegg om infrastrukturen og trafikken på den, og presenterer dette for togene. Så vil det være opp til utstyret i togene hvor mye av informasjonen som nyttiggjøres, og hvor mye som automatiseres av selve

togframføringen. Togproduksjonen kan derfor til en viss grad leve med forskjellige nivåer av automasjon samtidig, differensiert på kjøretøytyper eller strekninger, så lenge regelverk og ruteplaner kan være felles. Effektene av økt automasjon oppnås gjennom summen av en rekke mindre effekter, så jo mer homogen ytelse og framføring togene får, jo større vil gevinstene være. Dette gir rom for å fordele kostnader over tid og prioritere de tiltakene som gir størst effekt først.

7.7.3 Alternativene har ulik geografisk egnethet

Både alternativ A og B er egnet som landsdekkende systemer for å få full nytte av investeringene. Alternativene kan også bygges ut delvis eller kombineres i en trinnvis utbygging, siden de forutsettes å benytte den samme infrastrukturen (jf. Kap. 7.7.2), og forskjellen ligger i investeringen i det enkelte kjøretøy. Kapasitetsgevinsten blir størst ved mest mulig homogen trafikk. Å blande førerstyrt kjøring (alternativ null og A), som har større variasjon i framføring, og automatisk kjøring med selvkjørende eller førerløse tog (alternativ B og C), som vil ha mer uniform framføring, kan gi en utfordring i ruteplanarbeidet for dimensjonering av marginer. Det vil derfor være naturlig å dele inn ruteplanen i geografiske områder for førerstyrt eller automatisk kjøring, hvis alternativer skal kombineres. Samfunnsøkonomisk analyse har også forutsatt landsdekkende implementering av alternativ B, eller at delvis utbygging av alternativ C bare gjøres i kombinasjon med alternativ B.

Alternativ C har egne forutsetninger til infrastruktur i tillegg til alternativ A og B, og samfunnsøkonomisk vil det gi størst gevinst å begrense alternativ C til de deler av infrastrukturen hvor sikkerhetskravene i størst mulig grad er innfridd allerede. Med det teknologiske modenhetsnivået som er nå, vil det bety at alternativ C er best egnet i bynære områder med dobbeltspor, hvor planoverganger er fjernet og sporet allerede er inngjerdet, og det bare er behov for nye tiltak på plattformer. Infrastruktur for alternativ C kan også bygges ut gradvis for å hente ut gevinster uten de største investeringene. Et første trinn kan være for kjøring fra endestasjon til driftsbanegårder uten reisende om bord, som i liten grad trenger spesiell infrastruktur. Et neste trinn kan så være for lokaltogstrekningene L1, L2, L4 og L5. Et foreløpig siste trinn kan være videre utbygging for Østlands-området jf. Kap. 7.6.

7.7.4 Er det grunnlag for å legge føringer for kostnadsfordeling mellom stat og togoperatører?

En nødvendig betingelse for automatisk togframføring er at det eksisterer en signalteknisk infrastruktur som legger til rette for automatisk togframføring, og ved førerløs drift også tiltak i spor og på perronger / stasjoner for å ivareta sikkerheten. En slik infrastruktur vil ha klare trekk av å være et felles gode for togtrafikken, og det er nærliggende at det er en statlig oppgave å sørge for og i utgangspunktet finansiere denne infrastrukturen.

Men det å sørge for en infrastruktur som legger til rette for ATO er ikke tilstrekkelig. Det kreves også investeringer i og drift av ombordutstyr i togene. Det å utstyre tog med det nødvendige ombordutstyret påfører eierne av togmateriellet investerings- og driftskostnader som må dekkes.

Persontogmateriellet eies som kjent av Norske tog som leier dette ut til persontogoperatørene. Dersom Norske tog skal installere ATO ombordutstyr krever det at leien til operatørene økes tilsvarende. Dette vil isolert sett øke operatørenes driftskostnader og vil ventelig gi seg utslag i krav om kompensasjon fra Staten i form av økte tilskudd. Dermed er det Staten som i siste instans vil betale for kostnadene knyttet til ATO ombordutstyr i persontogene. I den grad ATO har nytte for operatørene så kan man på tilsvarende måte argumentere for at dette i siste instans vil tilfalle Staten i form av at det gir anledning til å kutte tilsvarende i driftstilskuddene. Utfallet vil bli det samme om Staten i stedet velger å dekke Norske tog sine kostnader knyttet til ATO ombordutstyr framfor å dekke dette indirekte gjennom tilskuddene til persontogoperatørene.

Når det gjelder godstransportoperatørene så operer disse på kommersiell basis i et marked preget av konkurranse. Det betyr at godsoperatørene må i utgangspunktet dekke kostnadene med ombordutstyr i sine tog. Godstogene kan derfor påventes å bli utstyrt med ATO ombordutstyr dersom det gir økte markedsinntekter og/eller sparte driftskostnader som kan forsvare merkostnadene. Dette vil i første rekke være tilfelle ved førerløs togdrift der besparelsene i mannskapskostnader er betydelige.

Hvis det ikke er regningssvarende for godsoperatørene å innføre ATO i sin togdrift, så kan det likevel være rasjonelt for togdriften og samfunnet som helhet. Årsaken er at for å få full effekt av ATO så er man avhengig av at alle eller i det minste brorparten av togene i jernbanenettet gjør bruk av ATO. Det betyr at dersom en godsoperatør velger å gjøre bruk av ATO så vil det ha en positiv effekt på andre aktører. Slike eksterne effekter vil typisk ikke bli hensyntatt når den enkelte operatør skal treffe sitt valg om å bruke ATO eller ei, der det er egne kostnader og egne inntekter det først og fremst legges vekt på. Det tilsier å innføre en offentlig støtte som kan motivere godsoperatørene til å velge ATO på tross av at det i utgangspunktet ikke er regningssvarende. Med andre ord så vil det kunne være rasjonelt for Staten å dekke om ikke hele så i hvert fall deler av godsoperatørenes kostnader knyttet til ATO ombordutstyr.

7.7.5 Føringer for utvikling av en ny landsdekkende rutemodell

Gjennom tidligere utredninger har Bane NOR og videre Samferdselsdepartementet påpekt at videreutvikling av signalteknologien ved innføring av ERTMS og ATO må sees i sammenheng med utvikling av en ny landsdekkende rutemodell, for å kunne effektivisere og bedre utnytte jernbaneinfrastrukturen.

Fra analysen av alternativene ser vi at ATO gir mulighet for begrenset innsparing av tid. Det er identifisert fire aspekter som vil gi økt effekt av ATO, hvis ruteplanleggingen tar dette inn som designkriterier.

1. Etablere en teknisk ruteplan med oppløsning på sekund-nivå og som er skilt fra de reisendes ruteplan. Dagens ruteplaner er knyttet opp i avgangstider på hele minutter, både for reisende og togpersonell. Ved å etablere en separat teknisk ruteplan med finere oppløsning for togpersonell, blir det bedre kontroll på marginene i planen, kjøretider og opphold ved plattform kan optimaliseres og marginalt kortere framføringstider kan utnyttes i større grad.
2. Bedre kontroll på marginene i ruteplan gir større fleksibilitet til å kunne benytte reserveruteleier ved fletting av trafikk inn på en fellesstrekning på knutepunktstasjoner i operativ ruteplanlegging. Dette kan gi bedre avgangspunktighet fra Alnabru og andre godsterminaler, eller mer fleksibel fletting av fjertog inn i tett trafikk i bynære områder ved forsinket ankomst til knutepunktstasjonen.
3. ERTMS innfører samtidige togbevegelser på de fleste stasjoner, og sammen med alle nivåer av automasjon gir det mulighet for å optimalisere kryssinger, slik at to tog kan møtes samtidig og krysse uten at noen av dem stopper, såkalt flytende kryssing. På dagens korte kryssingsspor kan dette medføre at togframføringen omprioriteres noe, for å gi økt fleksibilitet i ruteplanleggingen.
4. Ruteplan må differensiere mellom de deler av infrastrukturen som evt. er tilrettelagt for forskjellige nivåer av automasjon, spesielt mellom førerstyrt trafikk (alt. O og A) og automatisk trafikk (alt. B og C). Hvis alternativ C blir delvis implementert på veldig begrensede områder, kan det føre til bindinger i ruteplan i forhold til bruk av kjøretøy og endringer av linjedefinisjoner.

7.8 Anbefaling

Anbefalingen bygger på en vurdering av modenhet for selve ATO-løsningen, på status for utbyggingen av ERTMS, og på en vurdering av at automatisering er en løsning som i stadig større grad tas i bruk i jernbanesektoren.

Det anbefales et konseptvalg som bygger på Alternativ A Førerstøtte

Alternativ A, førerstøtte er beregnet til å være en samfunnsøkonomisk lønnsom investering, dersom løsningen implementeres med formål å redusere kjøretiden. Løsningen vil bidra til å nå det fastsatte samfunnsmålet om mer jernbane for pengene gjennom en bedre utnyttelse av ERTMS-investeringen.

Vi anbefaler et konseptvalg som tar utgangspunkt i alternativ A, der det etableres en sentral signalteknisk løsning for ATO, som kan videreformidle sanntidsinformasjon for førerveiledning i tog.

Alternativ A vil også være et første trinn i utviklingen mot en løsning der ATO tas i bruk på det norske jernbanenettet. Alternativet har den laveste investeringskostnaden, og løsningen lar seg skalere ved at investeringen i ombordutrustning i tog kan tas over tid, og innebærer dermed mindre risiko enn alternativ B og C. Ombordutstyret som alternativ A baserer seg på, er også på vei inn i nytt togmateriell gjennom anskaffelse av nye lokaltog, og vurderes som del av anskaffelsen for nye fjerntog.

Det anbefales at oppstart av forprosjektfase avventer videre utbygging av ERTMS

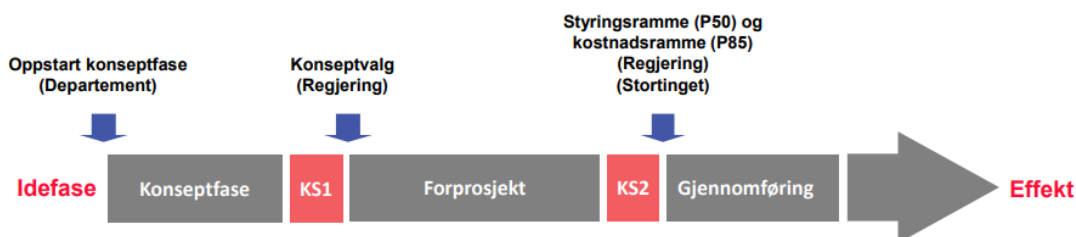
Alternativ A forutsetter ERTMS, og det er mulige gevinster av å se de to prosjektene i sammenheng. Nasjonal signalplan, som detaljerer videre utbygging av ERTMS, er under revisjon. Vi anbefaler at et forprosjekt for Alternativ A Førerstøtte, først settes i gang når en revidert signalplan foreligger, og utbygging av ERTMS er kommet lengre. En senere oppstart vil gi tid til å utvikle mer kunnskap og gi større mulighet for å fastlegge en kostnadseffektiv tidsplan for gjennomføring.

Vi anbefaler at Jernbanedirektoratet gjør en ny vurdering av om det er grunnlag for å vurdere tidspunkt for oppstart av forprosjekt, som del av det forberedende arbeidet til NTP 2029-2040.

8 Føringer for forprosjektfasen

8.1 Innledning

Statens prosjektmodell for store investeringer innebærer at prosjektene skal gjennomgå kvalitetssikring etter konseptfasen før beslutning om konseptvalg tas, og forprosjektfasen settes i gang.



Internasjonalt er automatisering i jernbanesektoren en prosess som allerede er i gang. Samtidig er flere av teknologiene lite modne for norske forhold, og den videre prosessen må ses i sammenheng med andre prosjekter og teknologisk utvikling. Her står revisjon av nasjonal signalplan og videre utbygging av ERTMS sentralt. Tilsvarende vil tilfanget av tilgjengelig kunnskap øke betraktelig i årene som kommer, gjennom arbeidet som gjøres innen Europe's Rail, erfaringer fra europeiske ATO-prosjekter som er i ulike faser av prosjektløpet, og andre relevante aktiviteter i Jernbanedirektoratet, som har som formål å øke kunnskapen om ERTMS og ATO (gjennom prosjekter i virksomhetsplanen).

Det er derfor anbefalt at videre arbeid med en forprosjektfase utsettes i tid til utbyggingen av ERTMS er kommet lengre, og det foreligger et større kunnskaps- og erfaringsgrunnlag. Kapitlet om føringer for forprosjektfasen gjenspeiler anbefalingen, ved at strategi for gjennomføring kun er omtalt i grove trekk, og vil måtte presiseres før en senere oppstartsfasen for et forprosjekt.

8.2 Premisser for styringen av forprosjektfasen

8.2.1 Viktige grensesnitt som må ivaretas

Forprosjektet vil ha som formål å klargjøre for implementering av ATO signalteknisk infrastruktur for ATO. Tidspunktet for oppstart av forprosjektfasen er sentralt. Tidspunktet må tilpasses:

- *Utbyggingstakt i ny nasjonal signalplan*, og særlig til tidspunktet der implementering vil skje i Oslo – området: Rekkefølgen på strekninger som får ERTMS implementert kan ha betydning for tidspunktet det er fornuftig å vurdere ATO. Fra Bane NOR er det anbefalt at ATO tidsmessig bør koordineres med implementering av ERTMS i Oslo-området.
- *Utvikling av kunnskap om ATO*: Jernbanesektoren i Norge deltar i Europe's Rail innenfor flere definerte temaområder. Målet med Europe's Rail er å demonstrere innovasjoner på et gitt modenhetsnivå. Arbeidet i Europe's Rail bygger videre på flere tidligere forsknings- og utviklingsprosjekter som er gjennomført i Europeisk regi, herunder Shift2Rail. I Europe's Rail sitt prosjektområde «R2DATO» skal det utvikles Europeisk metodikk for businesscase, dvs. metoder som rettes mot kost/nytte-vurderinger av ERTMS og ATO. Metodene skal benyttes for å analysere resultater av de forventede effektverdiene (KPI-er – Key Performance Index) som er angitt i R2DATO-konsortiets avtale med EU (Grant Agreement). Dette arbeidet forventes å gi bedre kunnskapsgrunnlag, mer egnet metodikk og modenhet for fremtidige analyser innen økt automasjon av jernbanen. Arbeidet med ny metodikk for kost/nytte skal pågå fram til 2025.

8.2.2 Krav til kommende prosjektorganisasjon

Prosjektorganisasjonen som etableres må samle relevante aktører i jernbanesektoren med formål å få til en koordinert prosjektgjennomføring og et resultat som sikrer at effektene, særlig på reduserte forsinkelser, realiseres.

En viktig anbefaling fra usikkerhetsanalysen er å unngå fordyrende utviklingsløp og å benytte moden teknologi. Det anbefales også å øke prosjektmodenheten gjennom videre undersøkelser av tekniske grensesnitt.

Den kommende prosjektorganisasjonen må besitte tverrfaglig kompetanse. Signalteknisk kunnskap, kunnskap om hva spesifikasjonen som er under implementering innebærer, kompetanse om framføring av tog og ekspertkunnskap om grensesnitt mellom kjøretøy, ATO og ERTMS vil være sentral kompetanse for prosjektorganisasjonen som etableres. I tillegg er det behov for kunnskap om utvikling i leverandørmarkedet og erfaring fra implementering i tog. For å sikre at de identifiserte gevinstene av en innføring av ATO blir utløst, er det sentralt å også ha med kompetanse som kan vurdere ruteplanmessige utfordringer og muligheter ved en gradvis overgang til ATO- løsninger. Det er også nødvendig å ha god dialog med førerkompetanse og Norsk fagskole for lokomotivførere, for å sikre at behov for opplæring organiseres og settes i gang på riktig tidspunkt.

8.2.3 Reduksjon av risiko og realisering av oppsidepotensialet

Mellomfasen som nå anbefales, altså et opphold i prosjektløpet for å avvente nasjonal signalplan og videre utbygging av ERTMS, er i tråd med anbefalingene for konseptet gitt i usikkerhetsanalysen. Ved å avvente videre ERTMS utbygging og erfaringer med ny standard for grensesnittet mellom ERTMS og ATO, vil risiko for fordyrende prosjektløp reduseres.

For nyttesiden, eller det som i R108/23 betegnes «oppsidepotensialet» er flere aktiviteter aktuelle i de kommende årene. Gjennom arbeidet med KVVU-en er flere områder der det foreligger lite kunnskap eller data avdekket, og flere av disse vil bli adressert gjennom Jernbanedirektoratets løpende kunnskapsutvikling (virksomhetsplan).

8.3 Kontraksstrategi

Løsningen med signalteknisk infrastruktur for ATO inngår allerede som en opsjon i kontrakten som omhandler ERTMS. Hva dette innebærer av muligheter eller forpliktelser må avklares i det innledende arbeidet med forprosjektet. Dersom opsjonen har en tidsmessig varighet, må denne tas i betraktning. Det må gjennomføres en egen vurdering av om det aktuelt å utrede alternative kontraksstrategier før oppstart av forprosjektet. Utredningen av ulike kontraksstrategier gjennomføres i så fall som del av forprosjektet.

8.4 Plan for arbeidet med å optimalisere samfunnsøkonomisk lønnsomhet

Gevinstrealiseringsplanen vil bli utarbeidet som del av forprosjektfasen. Det anbefalte konseptet sin positive nåverdi kommer av effekten ATO har på reduksjon i forsinkelser. Gjennom arbeidet med KVVU-en er det avdekket flere områder der det er et stort potensial for å hente ut mer nytte, men der grunnlaget ikke er kvantifisert eller undersøkt i tilstrekkelig grad. Dette gjelder særlig potensialet for redusert framføringstid/spart reisetid på gods- og persontog på lengre strekninger. Arbeidet med å identifisere og kvantifisere andre gevinster i tråd med effektmålene formulert i KVVU-en vil pågå frem til forprosjektfasen startes opp.

Konseptvalget gir gode rammer for styringsmessig fleksibilitet. Som beskrevet i kapittel 7.6, vil ombordutstyre-delen av ATO kunne implementeres over tid. Høy grad av fleksibilitet vil sette krav til prosjektorganisasjonens tverrfaglighet for å gjøre gode vurderinger som både møter behov for et redusert kostnadsnivå, og nytte for de reisende.

9 Referanser

Bane NOR Punktlighetsrapport (2022) [punktlighetsrapport-2021.pdf \(banenor.no\)](#)

Bane NOR Infrastatus (2021) [infrastatus-2021.pdf \(banenor.no\)](#)

Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2016) «Samfunnets kritiske funksjoner»

Ekspertutvalget (2019) «Teknologi for bærekraftig bevegelsesfrihet og mobilitet»

Finansdepartementet (2020) Digitaliseringsprosjekter i Statens prosjektmodell [Digitaliseringsprosjekter i Statens prosjektmodell - Veileder \(ntnu.no\)](#)

Jernbanedirektoratet (2022) Verkstedsrapport fra fasen med kartlegging av behov

Jernbanedirektoratet (2021) Arealeffektivitet i transportsektoren [Microsoft Word - Rapport Arealeffektivitet 20210502.docx \(jernbanedirektoratet.no\)](#)

Menon (2022) for transportvirksomhetene «Vurderinger av trender, drivkrefter og perspektiver i transportsektoren» Menon-publikasjon nr. 82/2022

Miljødirektoratet (2020) «Klimakur 2030»

Norconsult for Jernbanedirektoratet (2019) «ERTMS - Mer Jernbane for Pengene (MJfP)»

Samferdselsdepartementet (2022) Tildelingsbrev med mandat fra SD: [Statbudsjettet 2022 - Supplerende tildelingsbrev nr. 3 \(regjeringen.no\)](#)

Transportvirksomhetene (2022) [NTP 2025–2036: Utredningsoppdrag - svar fra transportvirksomhetene til leveranse med frist 1. oktober 2022 - regjeringen.no](#), [Statens vegvesen \(regjeringen.no\)](#),

TØI (2016) Utrygghet og risiko i transport: En diskusjon 1525/2016 [mal rapporter \(toi.no\)](#)

VIA-Con for Bane NOR (2022) Study report on the effects of ATO and ETCS hybrid level 3 application

10 Vedlegg

Vedlegg 01: Medvirkning i fasen med behovskartlegging

Vedlegg 02: Rapport fra arbeidet med førers tidsbidrag

Vedlegg 03: Rapport fra arbeidet med mulighetsstudien

Vedlegg 04: Rapport fra arbeidet med utvikling av alternativ

Vedlegg 05: Rapport fra arbeidet med simulering av alternativ

Vedlegg 06: Risikovurdering for alternativ C

Vedlegg 07: Usikkerhetsanalyse av kostnader (unntatt offentlighet)

Vedlegg 08: Forenklet usikkerhetsanalyse av FDVU-kostnader (unntatt offentlighet)

Vedlegg 09: Rapport fra arbeidet med samfunnsøkonomisk analyse

11 Ordliste

Begrep / forkortelse	Forklaring
ATC	Automatic Train Control. Sikkerhetssystem som skal hindre at et tog passerer rødt lys og at toget overskrider lokale hastighetsbegrensninger. ATC er overvåkningssystemet som benyttes i dagens jernbaneinfrastruktur.
ATO	Automatic Train Operation. Teknologi for å automatisere togframføringen. Det finnes forskjellige grader av automasjon (GoA).
Baliser	En elektronisk sender (transponder) som ligger mellom skinnene. Overfører fast eller situasjonsavhengig informasjon til tog som passerer.
Banestrekning / Strekning	Jernbaneinfrastrukturen mellom to punkter
Blokk / Blokkstrekning	Banestrekning hvor det av sikkerhetskensyn bare kan være ett tog av gangen. Signaler styrer om et tog kan kjøre inn på blokkstrekningen eller ut av blokkstrekningen. På strekning med fjernstyring kan blokken være avgrenset av to nabostasjoner, to naboblokkposter eller en stasjon og en naboblokkpost. På strekning uten fjernstyring er blokkstrekningen avgrenset av de to nærmeste stasjonene som er betjent.
Bremsekurver	Beskriver et togs bremseegenskaper. Viser hastighet som funksjon av utkjørt avstand ved gitte forutsetninger, som bremsekraft, stigning og fall osv.
C-DAS	Connected Driver Advisory System. System som bruker sanntidsinformasjon fra hele togssystemet sammen med statisk informasjon om ruteplan og infrastruktur til å gi fører en kontinuerlig oppdatering av anbefalt hastighet.
DAC	Digital Automatic Coupling. System for å automatisk tilkoble og frakoble vogner både mekanisk (mekaniske fastholding og trykkluftslanger for bremses) og elektrisk (strømtilførsel og datatilkobling). Designet primært for godsvogner. Kan bidra til å etablere togintegritet.
DAS / S-DAS	Driver Advisory Systems / Standalone Driver Advisory Systems. System som gir fører en anbefalt hastighet basert på statisk informasjon om ruteplan og infrastruktur. DAS lastes inn før avgang, men oppdateres ikke underveis ved endringer av trafikksituasjonen.
D-ATC	Delvis ATC (se ATC). System for hastigheter opp til 130 km/t som gjør at togene stopper automatisk ved eventuell passering av signal som viser stopp. Systemet dekker over 65 prosent av det norske jernbanenettet.
ERTMS	European Rail Traffic Management System. Nytt felleseuropeisk digitalt signalsystem som innføres på det norske jernbanenettet. Består av delsystemene ETCS, TMS og ombordutrustning i kjøretøyene.
ETCS	European Train Control System. Signal og kontrolldelen av ERTMS (se ERTMS).
F-ATC	Full ATC (se ATC). System for hastigheter også over 130 km/t som gjør at togene ikke overskrider tillatt hastighet eller passerer signal som viser stopp. Gjør det mulig å ha kortere sporavsnitt og dermed kjøre tog tettere. Systemet dekker litt under 10 prosent av det norske jernbanenettet.
Fjerntog / F	Persontog som dekker transport mellom storbyregionene i Norge og utlandet, samt mellom storbyregioner og andre regioner i Norge
Flytende blokk	Banestrekning hvor det av sikkerhetsgrunner bare kan være ett tog av gangen, men hvor grensene er dynamisk definert (derav «flytende») basert på trygg bremseavstand fra toget til nærmeste hindring (annet tog, sporveksel, fysisk signal osv.). Gjør det mulig å ha kortere sporavsnitt og dermed kjøre tog tettere. Overvåkingen styres av en datamaskin (virtuell blokk) og er ikke avhengig av fysiske installasjoner langs sporet. Virtuelle blokker kan også være fast definert (fast virtuell blokk)
FRMCS	Future Railway Mobile Communication System. FRMCS er et nytt togradsystem for kommunikasjon i forbindelse med togframføring, drift og vedlikehold av jernbane. FRMCS er basert på 5G-teknologi.

GNSS	Global Navigation Satellite System. Fellesbetegnelse for satellittbaserte systemer for navigasjon og posisjonering med global dekning. GPS er en av disse systemene.
GoA	Grade of Automation. Grad av automatisering fordelt på fire trinn som betegner hvor automatisert togfremføringen er.
GSM-R	Dagens togradsystem for kommunikasjon i forbindelse med togframføring, drift og vedlikehold av jernbane. Systemet gir bl.a. fører kontakt med togleder. GSM-R er basert på 2G-teknologi
Holdeplass	Sted på linjen hvor tog kan stoppe for passasjerutveksling uten signalering.
Hybridnivå 3	Variant av ERTMS-installasjon, hvor det benyttes både fysisk overvåkede blokkstrekninger (som i nivå 2) og faste virtuelle blokkstrekninger (i stedet for flytende blokkstrekninger som i nivå 3). Gjør det mulig å ha kortere sporavsnitt og kjøre tog tettere enn med standard nivå 2, men uten full utbygging av ERTMS nivå 3.
KVU	Konseptvalgutredning. Første fase i statens prosjektmodell for gjennomføring av store investeringsprosjekter (R-108/23)
Lokaltog / L	Persontog som dekker transport mellom sentrum og forsteder i storbyområder. Toget stopper i hovedsak ved alle stoppesteder.
Minste togfølgetid	Minste tidsavstand mellom tog på en strekning. Tilsvarende minste tidsavstand som det er mulig å ha mellom to tog, gitt at togene kan opprettholde maksimalt tillatt hastighet og fremføres i henhold til regelverk og togsikringssystem.
Neddiskontering	Neddiskontering innebærer å omregne framtidige beløp til dagens verdi for å beregne nåverdi, der framtidige beløp har en mindre verdi jo lenger fram i tid de kommer. Se egen omtale av nåverdi
Netto nåverdi (NNV)	Netto nåverdi (NNV) er nåverdien av nytten fratrukket nåverdien av kostnadene. Se egen omtale av nåverdi.
NTP	Nasjonalt transportplan
Nåverdi	Nåverdi er verdien av framtidige beløp regnet i dagens verdi
Prediktivt vedlikehold	Tilstandsbasert vedlikehold som utføres etter en prognose utledet av gjentatt analyse eller kjente egenskaper og evaluering av de vesentlige parameterne for degradering av enheter
Regiontog / R	Persontog som dekker transport mellom sentrum i storby og regionalt omland.
Reserveruteleie	Tidsluke som det ikke normalt kjører tog i. Utgjør reservekapasitet for forsinkede tog eller for fremføring av ekstratog.
Ruteleie	Tidsluke det er planlagt å kjøre tog i. Utgjør den infrastrukturkapasiteten som er nødvendig for å kjøre et tog mellom to steder innenfor et gitt tidsrom
Rutemodell	En rutemodell er en beskrivelse av et framtidig togtilbud, med forslag til rutetider. Rutemodellen gir all relevant informasjon som trengs for å identifisere behovet for infrastrukturkapasitet.
Ruteplan	En ruteplan fastlegger alle planlagte togbevegelser og viser detaljerte tider for tog på gitt, eksisterende infrastruktur i en gitt tidsperiode, normalt ett år.
Skattefinansieringskostnad	Skattefinansieringskostnad er den samfunnsøkonomiske kostnaden som oppstår dersom det offentlige må finansiere et tiltak gjennom beskatning som påfører økonomien et samfunnsøkonomisk effektivitetstap.
Sporavsnitt	Fysisk overvåket banestrekning hvor det av sikkerhetsgrunner bare kan være ett tog av gangen. Det kan være flere sporavsnitt på en stasjon eller blokkstrekning.
Stokastisk	Tilfeldig variasjon innenfor gitte grenser styrt av en viss sannsynlighet. Kan beskrive fordelingen av forstyrrelser på ruteplanen, variasjon i føreropphørsel eller forsinkelser i avgangs- og oppholdstider
Stasjon	Avgrenset banestrekning med sporveksler og gjerne utvidelser til flere spor, hvor trafikken styres av signaler. Sporene kan ha plattformer for passasjerutveksling.

Stoppested	Fellesbetegnelse for holdeplasser (se det) og stasjoner (se det) med passasjerutveksling
Tidsverdi	Tidsverdi er trafikantenes verdsetting av den tiden som brukes på transport
TIOS	Støttesystem for togdrift, toginformasjon og for brukere på operativt og administrativt plan. TIOS mottar rutedata og dynamiske togbevegelser fra fjernstyringsanleggene, samt informasjon om togsammensetning.
TMS	Traffic Management System. Et system for planlegging og fjernstyring av togtrafikken som setter opp togveier og overvåker togtrafikken i hele landet.
Togframføring	De aktiviteter og tiltak som i tillegg til eller sammen med kjøringen, bidrar til at toget kommer sikkert fram.
Togintegritet	Teknisk system i et tog som blant annet overvåker lengden på toget, at alle vogner er til stede og henger sammen.
Togleder / Trafikkstyrer	En person som styrer togtrafikken ved hjelp av bl.a. TMS og kommunikasjon med fører av toget. En togleders hovedoppgave er: «å opprettholde sikker og rutemessig togframføring, og skal gi ordre om kjøring og innstilling av tog og disponering av strekning for arbeider, og ellers foreta de nødvendige disposisjoner for å overvåke og styre toggangen. Ved driftsuhell eller ulykker, eller fare for slike hendelser, skal togleder straks sette i verk nødvendige tiltak for å begrense ev. skader på personer og materiell, og for å rydde linjen og opprettholde normal drift i størst mulig utstrekning».
Togvei	Definert «kjøreløype» for et tog gjennom spor og sporveksler mellom to signaler, og som er sikret mot farlige konflikter med annen trafikk.
TSI	Technical Specifications for Interoperability. Felles europeisk spesifisering for interoperabilitet på jernbanenettet. Det finnes flere TSI-er for forskjellige tekniske områder av jernbanesystemet. TSI-ene blir norsk forskrift når de tas inn i EØS-avtalen med hjemmel i samtrafikkforskriften.
TSI CCS	Technical Specifications for Interoperability - Control Command and Signalling. Den felles europeiske spesifiseringen som beskriver krav til signalsystemene, og som i siste revisjon (2023) også inkluderer beskrivelse av ATO.