



Bilde: Øystein Grue, Jernbanedirektoratet

KVU GREEN: Utslippsreduksjoner i jernbanesektoren

Hovedrapport

Dokument nr: 202300849-1

Dato: 12.09.2023

Utarbeidet av: Jernbanedirektoratet med bistand fra WSP	Saksnummer: 202300849
Godkjent av: Jernbanedirektoratet	Dokumentnummer: 202300849-1
Dato: 12.09.2023	Versjon 1: Endelig rapport

Sammendrag

I tildelingsbrev til Statsbudsjettet 2022, nr. 3 fra Samferdselsdepartementet til Jernbanedirektoratet av 4. april 2022 ble Jernbanedirektoratet gitt i oppgave å gjennomføre en Konseptvalgutredning (KVU) for reduserte utslipp av klimagasser fra jernbanen. Konseptvalgutredningen omfatter Nordlandsbanen, Rørosbanen, Raumabanen og Solørbanen, som er de banestrekningene som ikke er elektrifiserte, og der fossil diesel benyttes som energibærer. I tillegg omfatter utredningen arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver som i dag benytter diesel, også på elektrifiserte strekninger. KVU-arbeidet har sin opprinnelse i utredningene *Nullutslippsløsninger for ikke-elektrifiserte baner (NULLFIB)* fra 2019, og *Nullutslipp – batteridrift på jernbanen (NULLFIB2)* fra 2021.

Problembeskrivelse

Klimagassutslipp er forventet å bidra til i snitt høyere temperaturer, økt havnivå, tørke i nye områder, flom og økning av skogbranner i et globalt perspektiv. For å begrense omfanget av negative konsekvenser, må klimagassutslippene reduseres betydelig i årene som kommer. Norske myndigheter har som mål å redusere klimagassutslippene med 50-55 % sammenlignet med 1990-nivå innen 2030, og innen 2050 er målet at Norge skal ha blitt et lavutslippssamfunn, hvilket innebærer at de nasjonale utslippene skal reduseres med 90–95 % sammenlignet med 1990-nivå. Transportsektoren står ifølge Statistisk sentralbyrå (SSB) for om lag 32 % av de totale klimagassutslippene i Norge. Utslippene fra jernbanen står for en liten andel av disse, med 0,2 % av de totale utslippene fra transportsektoren innenlands. Til tross for dette så utgjør utslippene en ikke ubetydelig mengde, med omtrent 50 000 tonn CO₂-ekvivalenter årlig. Dette fordeler seg med om lag 20 000 tonn CO₂-ekvivalenter årlig fra persontrafikk og 30 000 tonn CO₂-ekvivalenter årlig fra godstrafikk. I tillegg kommer utslipp fra skiftelokomotiver på godsterminaler og skinnegående arbeidsmaskiner. Utover utslipp av klimagasser så bidrar dagens dieseldrift også til lokale miljøpåvirkninger i form av utslipp av nitrogenoksider, partikler, sot og hydrokarboner til luft og ytre miljø, samt at dieseldrift har lav energieffektivitet slik at det blir brukt relativt mye primærenergi.

Behovsanalyse

Utredningen har kartlagt behov ved hjelp av normative, etterspørselsbaserte og interessentbaserte metoder. Det prosjektutløsende behovet er formulert som at «samfunnet har behov for at jernbanesektoren bidrar til at Norges forpliktelser til å redusere klimagassutslipp nås».

Strategiske mål og rammebetingelser

Samfunns målet er formulert for å beskrive den positive tilstanden eller utviklingen som prosjektet skal bidra til. Følgende samfunns mål er definert for prosjektet: «Reduserte klimagassutslipp fra jernbanen».

Effektmålene beskriver hvilke prosjektspesifikke virkninger som søkes oppnådd for ulike interessenter. Det er formulert effektmål med tilhørende indikator, jfr. tabellen nedenfor. Effektmålene er listet i prioritert rekkefølge.

Effektmål	Vurderingsmetode KVU/Indikator
Jernbanen bidrar til at transportsektorens utslipp reduseres med minst 55 % innen 2030	Beregning av endring i transportsektorens utslipp av CO ₂ -ekvivalenter, inkludert økt trafikk, i 2030.
Jernbanen bidrar til at transportsektorens utslipp reduseres med 90-95 % innen 2050	Beregning av endring i transportsektorens utslipp av CO ₂ -ekvivalenter, inkludert økt trafikk, i 2050.
Energiløsninger for jernbanen gir mer effektiv bruk av samfunnets samlede energiresurser	Energieffektivitet <i>Well-to-wheel</i> brukes for å måle energieffektiviteten og hvor mye energitap det er gjennom energikjeden.
	Gradering av om jernbanen bruker en uforholdsmessig stor andel av en knapp energiresurs, som kunne vært benyttet i sektorer som ikke har andre gode alternativer for å redusere sine utslipp.
Togtilbudets attraktivitet ivaretas uavhengig av valgte klimavennlige løsninger	Egenskaper ved alternativet som påvirker punktlighet, transport-kapasitet, trafikkapasitet og togframføringstid.

Det er definert ni rammebetingelser for valg av løsning som skal bidra til klimagassreduksjoner på jernbanen:

1. Løsningen må ikke bidra til å øke de globale klimagassutslippene
2. Realiserbarhet i drift
3. Driftsstabilitet og regularitet
4. Teknologimodenhet
5. Interoperabilitet
6. Standardisering
7. Samfunnssikkerhet
8. Tilfredsstillende lover, forskrifter og annet førende regelverk
9. Kompatibilitet med dagens teknologi

Rammebetingelsene anses som ufravikelige krav som må oppfylles for at et konsept skal være gjennomførbart, og dermed valgbart. Rammebetingelse 1 er avledet fra samfunns- og effektmålene. Målene knytter seg mot Norges internasjonale forpliktelser til reduksjon av klimagasser. Det er likevel viktig at en løsning ikke blir suboptimalisert, slik at de reelle globale klimagassutslippene i praksis går opp. Den første rammebetingelsen skal sikre at aktuelle løsninger faktisk er klimagassreducerende, sett i et globalt livssyklusperspektiv. De øvrige rammebetingelsene knytter seg til forhold utover samfunns- og effektmålene.

Mulighetsstudie

Gjennom mulighetsstudien er det identifisert tiltak med varierende ambisjonsnivå og omfang. Tiltakene er identifisert ved hjelp av firetrinnsmetodikken med de fire trinnene:

1. Tiltak som kan redusere behovet
2. Tiltak som gir en mer effektiv utnyttelse av eksisterende løsninger
3. Mindre investeringer
4. Større investeringer

For å identifisere tiltak er det gjennomført en flere aktiviteter, herunder arbeidsverksteder, fagmøter, og deltakelse på InnoTrans 2022. Det er også hentet innspill fra interessenter og sendt ut en «Request for Information» (RFI) til leverandører. Totalt ble det identifisert muligheter som ble samlet og beskrevet i 42 mulighetskort. Det ble deretter gjennomført en grovsiling av mulighetene. Tilfredsstillende av rammebetingelser ble benyttet som kriterium, og 28 av mulighetene ble tatt med videre etter grovsilingen. Endelig ble mulighetene inndelt i konsepter, som igjen ble vurdert opp mot oppnåelse av effektmål.

Alternativer

Fem konseptuelle alternativer er tatt videre til alternativanalyse. Ut over referansealternativet så representerer alle konseptene skifte til nye energibærere.



Konsept 0 Fossil Diesel

Bruk av fossil diesel som energibærer slik som i dag utgjør referansealternativet.



Konsept 1 Ikke-fossil diesel

Konsept 1 bygger på referansealternativet og innebærer skifte av drivstoff til ikke-fossil type på eksisterende togmateriell. Det er vurdert to varianter av konseptet. Variant 1a innebærer drift med ikke-fossil diesel, mens variant 1b innebærer drift med ikke-fossil diesel i tillegg til at enkelte delstrekninger med lav investeringskostnad elektrifiseres. Begge varianter av konsept 1 er silt ut av analysen. Dette skyldes manglende eller negativ effektmåloppnåelse sammenlignet med referansealternativet, som følge av forbruk av avansert biodrivstoff som en knapp ressurs.



Konsept 2 Hydrogen

Konsept 2 innebærer at grunnstoffet hydrogen benyttes som energibærer. Kjøretøyene utstyres med trykksatte lagertanker med hydrogen, brenselceller, batteri og elektrisk motor. Hydrogen som trykksatt gass føres fra tankene og gjennom brenselcellen, hvor det produseres elektrisk energi. Det er to varianter av konseptet.





Variant 2a innebærer drift med hydrogen, mens variant Konsept 2b innebærer drift med hydrogen i tillegg til at enkelte delstrekninger elektrifiseres. En driftsmodell med hydrogen krever en tilrettelagt infrastruktur med hydrogendepoter med fyllestasjoner. I utredningen er det forutsatt hybride kjøretøy, som kan benytte både hydrogen og elektrisitet som energibærer.

Konsept 3 Batteri



Konsept 3 innebærer at kjøretøyene benytter batterier med ladesystem som energibærer. I utredningen ligger det til grunn del-elektrifisering for lading av batteriene, dvs. at enkelte delstrekninger elektrifiseres, mens kjøretøyene føres frem ved hjelp av energi fra batterier på de strekningene som ikke er elektrifiserte. I utredningen er det forutsatt hybride kjøretøy, som kan benytte både batteri og elektrisitet som energibærer.

Konsept 4 Elektrifisering



Konseptet innebærer utbygging av kontaktledningsanlegg for strømforsyning langs hele banestrekningene.

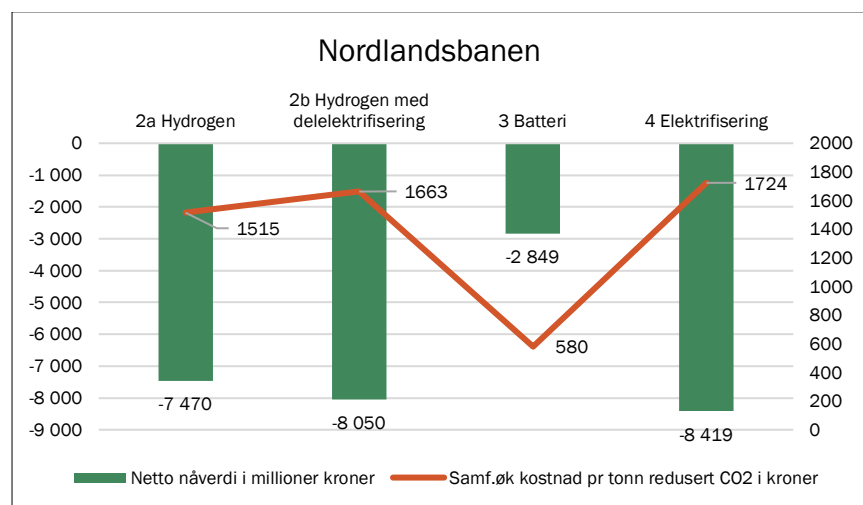
Skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver har andre behov og krav enn kjøretøy for person- og godstransport. Det er også slik at disse kjøretøyene benytter både elektrifisert og ikke-elektrifisert bane, samt at de skinnegående arbeidsmaskinene, hver for seg, har betydelig lavere utslipp enn person- og godstog. I utredningen er arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver derfor ikke inkludert i alternativene som er utarbeidet for person- og godstransport, men håndtert ved hjelp av supplerende vurderinger til alternativene for person- og godstransport.

Samfunnsøkonomisk analyse

Det er gjennomført samfunnsøkonomisk analyse av fire konsepter sett opp mot referansealternativet. De viktigste parameterne som er vurdert er investeringskostnader i infrastrukturen, investeringskostnader for kjøretøy, energi- og vedlikeholdskostnader for kjøretøyene, kjøretidsreduksjoner for godstog og prissatte lokale og globale utslipp, samt ikke-prissatt virkninger. For Røros- og Solørbanen er godstrafikken sterkt knyttet sammen, og banene er derfor sett i sammenheng i den samfunnsøkonomiske analysen. Generelt er tog drevet av batterier og elektriske tog mer energieffektive, og koster mindre å fremføre for operatørene, enn tog drevet av diesel eller hydrogen. Investeringskostnadene er imidlertid lavere for hydrogen-konseptene enn for batteri- og elektrifiseringskonseptene. Dette tilsier generelt at konsepter med elektrifisering og batteridrift rangerer høyt for delstrekninger med relativt mye togtrafikk, mens konsepter med hydrogen rangerer høyt på strekninger der det er mindre togtrafikk. Netto nåverdi er funnet å være negativ for alle konsepter på alle banestrekninger, det vil si at referansealternativet med dieseldrift kommer best ut.

Resultater fra samfunnsøkonomiske analysen for banestrekningene:

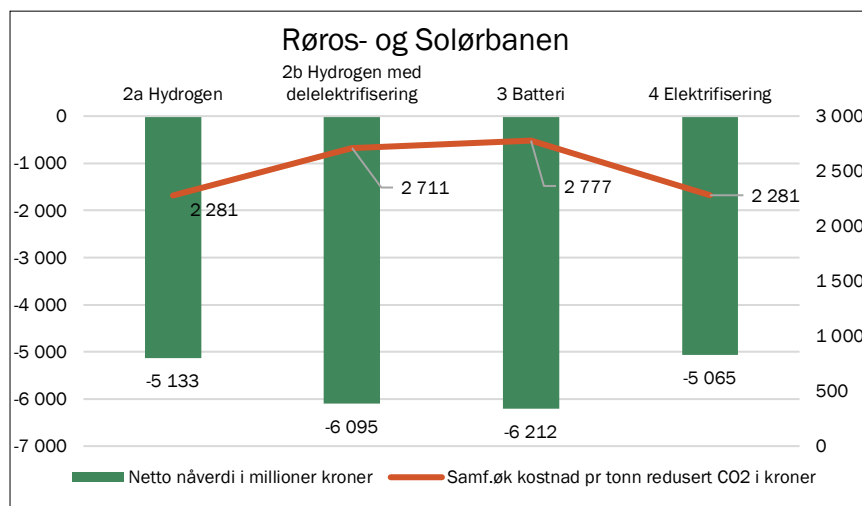
Nordlandsbanen:



Figur 1 Netto nåverdier og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO2-utslipp på Nordlandsbanen.

Den samfunnsøkonomiske analysen viser at konsept 3 BATTERI kommer best ut på Nordlandsbanen med en netto nåverdi på – 2 849 millioner kroner. Netto samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO₂-utslipp er beregnet til 580 kroner for batteridrift, noe som er den laveste kostnaden per tonn redusert CO₂-utslipp for konseptene som er vurdert på Nordlandsbanen. Vurdering av ikke-prissatte virkninger gir ingen innvirkning på de to høyest rangerte alternativene på Nordlandsbanen, men elektrifiseringskonseptet styrker seg.

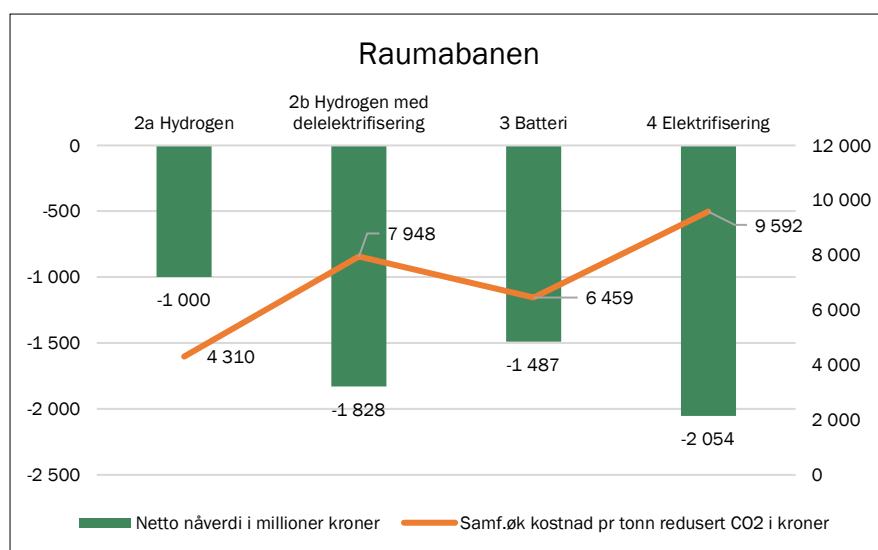
Røros- og Solørbanen:



Figur 2 Netto nåverdier og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂-utslipp på Røros- og Solørbanen.

For Røros- og Solørbanen kommer konsept 4 Elektrifisering knapt bedre ut enn neste beste konsept, som er 2a Hydrogen. Netto nåverdi for elektrifisering er beregnet til – 5 065 millioner kroner, mens netto nåverdi for hydrogen er beregnet til – 5 133 millioner kroner. Netto samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO₂-utslipp er beregnet til 2281 kroner for begge konseptene. Vurdering av ikke-prissatte virkninger gir ingen innvirkning på de to høyest rangerte alternativene på Røros- og Solørbanen, men batterikonseptet styrker seg.

Raumabanen:



Figur 3 Netto nåverdier og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂-utslipp på Raumabanen.

For Raumabanen er det konsept 2a Hydrogen som kommer best ut med en netto nåverdi på fremtidige nytte- og kostnadsvirkninger på – 1000 millioner kroner. Samfunnsøkonomisk netto kostnad pr tonn redusert CO₂-utslipp for konseptet er 4 310 kroner. Vurdering av ikke-prissatte virkninger gir ingen innvirkning på rangeringen på Raumabanen. Alternativenes effektmåloppnåelse er vist i tabellen nedenfor.

Tabell 1: Effektmåloppnåelse for de utredede konseptene

Effektmål	0 Fossil diesel	2 A Hydrogen	2 B Hydrogen med del elektrifisering	3 Batteri	4 Elektrifisering
1. Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)	0	(+)	(+)	(+)	(+)
2. Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)	0	+++	+++	+++	+++
3. Energieffektivitet	0	+	+ (+)	+++	+++
4. Attraktivitet	0	(-)	(+)	+(+)	+++

Konklusjoner og anbefalinger

Konklusjoner og anbefalinger gis med bakgrunn i en samlet vurdering av samfunnsøkonomisk analyse, effektmåloppnåelse knyttet til fremtidig situasjon (herunder fremtidige beregnede klimagassutslipp, som er en del høyere enn historiske utslipp dersom man fortsetter med dieseldrevne kjøretøyer), realopsjoner knyttet til teknologisk utvikling og tilgang på informasjon, samt vurdering av risiko og usikkerhet. I tillegg bør jernbanen sees i et systemperspektiv hvor standardisering av kjøretøytyper er tilrettelagt for en ensartet driftsform, og egnet for alle banestrekninger, være viktig i det videre arbeidet. Dette vil bidra til reduserte investeringskostnader, enklere drift og vedlikehold for kjøretøyeiere. En enhetlig driftsform vil også forbedre driftseffektiviteten, øke sikkerheten og oppfylle samfunnets behov for en mer helhetlig jernbane.

Nordlandsbanen

For Nordlandsbanen anbefales konsept 3 Batteri (med deelektrifisering). Anbefalingen vurderes å være robust for endrede forutsetninger i den samfunnsøkonomiske analysen, og med god samfunnsøkonomisk margin mot de øvrige konseptene. Det er vurdert at den teknologiske modenheten vil være høy for persontogkjøretøy og godslokomotiver med batterier i år 2030, men at det er noe større risiko og usikkerhet knyttet til teknologisk modenhet for godslokomotiver, som følge av at utviklingen har kommet kortere der. Ettersom batterikonseptet på Nordlandsbanen har den laveste tiltakskostnaden for reduksjon av klimagassutslipp på jernbanen, anbefales det at den prioriteres først av de tre aktuelle banestrekningene. Tiltaket ligger blant de rimeligste tiltakene i Klimakur 2030 tiltakskategori 2, og det anbefales dermed at tiltaket prioriteres høyt sammenlignet med andre mindre effektive klimatiltak og andre tiltak i samferdselssektoren. Uavhengig av endelig løsning, forventes det at godslokomotiver med batteridrift vil koste mer enn diesel eller bimodale (diesel-kontaktledning) lokomotiver. For å sikre at togoperatørene faktisk vil benytte seg av muligheten for batteri-elektrisk drift, bør det vurderes å innføre incentividninger for overgang til utslippsfri teknologi.

Røros- og Solørbanen

For Røros- og Solørbanen anbefales konsept 4 Elektrifisering. Elektrifisering er det konseptet som kommer best ut i den samfunnsøkonomiske analysen. Resultatet er imidlertid ikke robust for endringer i forutsetninger, og avstanden til spesielt hydrogenkonseptet er liten. Det er dermed også tatt hensyn til at elektrifisering har den beste effektmåloppnåelsen, og vurderes å være det konseptet som har minst risiko ved en økning i trafikk. Elektrifisering utløser videre potensial for økt kapasitet, og et mer robust nettverk av baner mellom Østlandet og Trøndelag. Potensialet for overføring av tungtrafikk fra vei til bane innebærer at konseptets innvirkning på utslipp av klimagasser fra transportsystemet som helhet kan forventes å være større enn kun utslippsreduksjoner fra selve jernbanen. Ettersom elektrifiseringskonseptet på Røros- og Solørbanen har høyere tiltakskostnad for reduksjon av klimagassutslipp på jernbanen enn batterikonseptet på Nordlandsbanen, anbefales det at Røros-/Solørbanen prioriteres lavere. Tiltakskostnaden som er

identifisert i KVV GREEN ligger i kategori 3, det vil si den dyreste kategorien med tiltak i Klimakur 2030, men likevel innen rekkevidde av kategori 2. Ettersom tiltaket forventes å kunne bidra til å redusere klimagassutslippene fra både jernbane- og veisektoren, anbefales det at en videre optimalisering av konseptet gjennomføres. Hensikten er å se om det er mulig å redusere kostnader og øke klimagevinsten ytterligere (fortrinnsvis opp til kategori 2), og deretter vurdere nærmere hvordan tiltaket bør prioriteres opp mot andre klimatiltak.

Raumabanen

For Raumabanen anbefales det at samfunnet prioriterer andre tiltak før bytte av energibærer på Raumabanen, herunder skifte av energibærer på Nordlandsbanen og Røros-/Solørbanen. Dette skyldes høy tiltakskostnad i form av netto nåverdi per tonn redusert CO₂-utslipp. Tiltakshaver ser også betydelig risiko ved innføring av hydrogen som energibærer på jernbanen, og anser usikkerheten i teknologi- og regelverksutviklingen som stor. Å avvente en beslutning om skifte av energibærer på Raumabanen har dermed også fordeler med hensyn til risikostyring. Det forventes å være både ønskelig og mulig å finne løsninger på Raumabanen som kan ha vesentlig lavere tiltakskostnad for klimagassreduksjoner enn det som ble identifisert i KVV GREEN, spesielt når det foreligger mer kunnskap om teknologier og regelverk som i dag er under utvikling. Gitt den lave trafikkmengden på banen, bør det ses videre på løsninger som innebærer vesentlig lavere infrastrukturinvesteringer, eventuelt på bekostning av noe høyere investeringer i kjøretøy. Den videre prosessen bør også omfatte dialog med operatørene på banen, som kan bidra med mer hensiktsmessige løsninger for strekningen. Det anbefales at en slik ny/oppdatert vurdering av konsept for klimagassreduksjoner på Raumabanen gjennomføres med tanke på vurdering i neste NTP-periode, dvs. til Jernbanedirektoratets grunnlag for NTP 2029-2041 som anslagsvis skal leveres våren 2027. I en ny vurdering vil det være naturlig at standardisering av kjøretøyparken blir hensyntatt for Raumabanen.

Skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver

Skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver har varierte bruksmønstre og arbeidsoppgaver, variasjon innen type maskiner, behov for fleksibilitet, tidsperspektiv og eier-/brakerstruktur. Av disse grunnene vil det være opp til den enkelte godsoperatør og eiere/ brukere av arbeidsmaskiner å vurdere hvilken teknologi som foretrekkes.

For skiftelokomotiver anses det som rimelig å forvente at disse byttes ut med hybride batterikjøretøy, eventuelt hydrogenkøretøy om operatøren lokalt anser det mer hensiktsmessig, slik at utslippsreduksjoner kan oppnås frem mot 2030. Når det gjelder etablering av nødvendig infrastruktur for energiforsyning til skiftelokomotivene så anbefales dialog mellom Bane NOR og operatørene. Det bør vurderes om Bane NOR skal få et ansvar for etablering av felles infrastrukturløsninger. Det bør også vurderes etablering av eventuelle støtteordning for skifte til klimavennlige energibærere på godsterminaler.

For skinnegående arbeidsmaskiner er det teknologiske modenhetsnivået og markedstilgangen for lavutslipp-/nullutslippsmaskiner i støpeskjeen, men for lastetraktorer og ledningsvogner-/revisjonsvogner som skal benyttes på elektrifisert bane, bør disse kunne erstattes med teknologi for utslippsreduksjoner. Det antas at hybrid batteri-kontaktledning eller kun batteri vil være foretrukket som løsning for disse maskinene. Øvrige maskiner vil kunne skiftes til utslippsfrie løsninger på litt lengre sikt, når teknologiske løsninger og infrastruktur gir muligheter for dette.

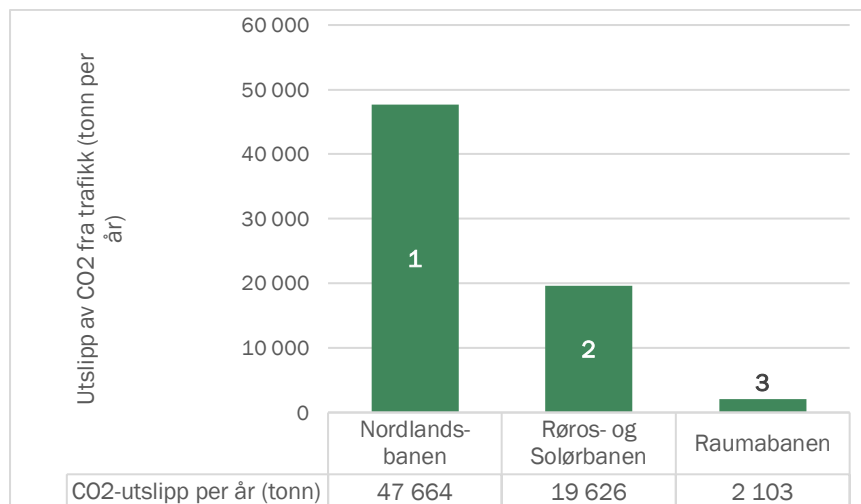
Når det gjelder etablering av nødvendig infrastruktur for energiforsyning anbefales det at Bane NOR bes om å ta rollen som pådriver for overgangen til klimavennlige energibærere for arbeidsmaskiner på jernbanen, og at dette reflekteres i avtaler mellom Jernbanedirektoratet og Bane NOR og bevilgninger til Bane NOR for drift og vedlikehold.

Generelt anbefales også følgende tiltak for utslippsreduksjoner fra arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver:

- Bane NOR får ansvaret for å etablere et sentralt system for innsamling av data knyttet til forbruk av diesel fra arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver.
- Bane NOR får ansvaret for å følge opp aktuelle optimaliseringsløsninger.
- Bane NOR som infrastruktureier stiller krav til leverandører av drift- og vedlikeholdstjenester med henblikk på klimagassutslipp.

Prioritering av tiltak og Realopsjoner

Som følge av de strekningsvise konklusjonene ovenfor, anbefales at valgte alternativer per strekning prioriteres som vist i figuren nedenfor.



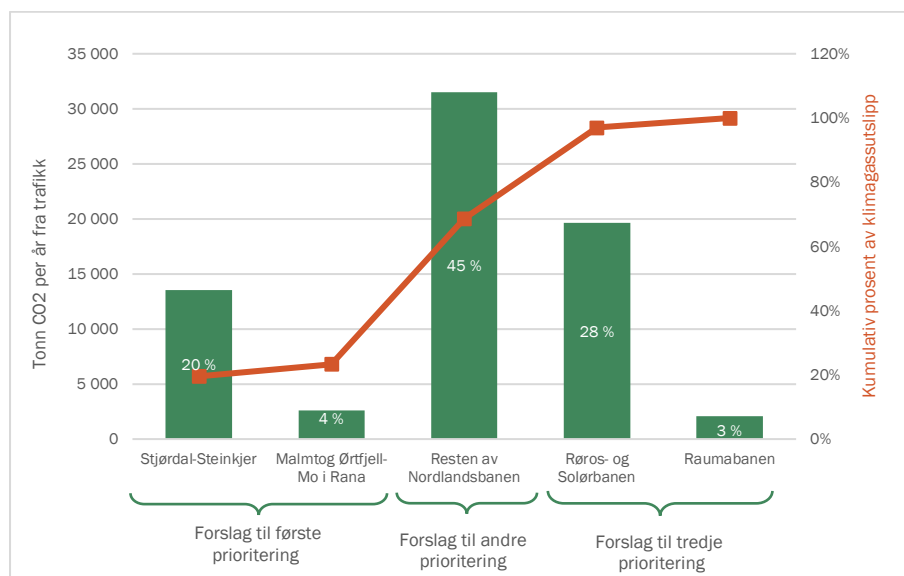
Figur 4 Prioritering av strekninger i KVV GREEN, samt CO₂-utslippsreduksjoner per bane, målt opp mot fremtidige beregnede utslipp i 0-alternativet.

Nordlandsbanen og Røros-/Solørbanen kan anbefales for videre utredning i forprosjekt, mens Raumabanen bør avvente til det kan gjennomføres tiltak med vesentlig lavere tiltakskostnad enn det som er identifisert i de utredede KVV-alternativene.

Prioriteringen ovenfor innebærer at jernbanesektoren tar større risiko knyttet til teknologiutvikling enn ved valg av eksisterende teknologi. Dersom denne risikoen anses som for høy vil prioritering av Røros- og Solørbanen for elektrifisering redusere risiko, men utsette en del av klimagassreduksjonene. Eventuelt kan deler av Nordlandsbanen elektrifiseres før Røros-/Solørbanen – eksempelvis strekningen Stjørdal Steinkjer.

Anbefaling for neste fase

Om effektmålet om at «Jernbanen bidrar til at transportsektorens utslipp reduseres med minst 55 % innen 2030» legges til grunn, anbefales følgende prioritering av klimagassreduksjoner målt opp mot fremtidige beregnede utslipp i null alternativet:



Figur 5 Forslag til prioritering av tiltak, med tilhørende klimagassreduksjoner. Prosentene henviser til strekningens andel av de totale klimagassutslippene fra jernbanetrafikk.

Forslaget kan gi følgende klimagassreduksjoner:

- Første prioritering: 16 000 tonn CO₂/år
- Andre prioritering: 32 000 tonn CO₂/år
- Tredje prioritering: 20 000 tonn CO₂/år

Som følge av behov for ytterligere optimalisering og utredning av de anbefalte konseptene, er det prematurt å anbefale en prioritering mellom parseller/delstrekninger. Det er imidlertid identifisert at Stjørdal-Steinkjer er en «lavthengende frukt» på flere måter: den har høyere utslipp per banekilometer enn øvrige deler av de ikke-elektrifiserte banene, den gjør det mulig å unngå å anskaffe dieselskjøretøy (rene eller bimodale) som erstatning for type 93, og eksisterende plangrunnlag gjør det mulig å planlegge og bygge den på ca. 4 år. Malmtoogene Ørtfjell-Mo i Rana anses også som en potensiell «lavthengende frukt» som kan være mer kostnadseffektiv og raskere å realisere enn øvrige deler av Nordlandsbanen. Spesielt Stjørdal-Steinkjer, gir ca. 20% utslippsreduksjon på Nordlandsbanen.

Som andre prioritert anbefales det gjennomføring av batteridrift med deelektrifisering på resterende deler av Nordlandsbanen. Foreliggende resultater for Røros- og Solørbanen tilsier en tentativ tredje prioritering.

For Raumabanen vil det være behov for ytterligere arbeid på konseptnivå, og dersom KVVU-ens hypotese om at det finnes mer kostnadseffektive måter å redusere utslippene på Raumabanen stemmer, bør den også prioriteres for gjennomføring på 2030-tallet.

Innhold

1	Innledning.....	13
1.1	Bakgrunn	13
1.2	Bestilling.....	13
1.3	Forutsetninger og avgrensninger.....	14
1.4	Organisering av arbeidet	14
2	Problembeskrivelse	15
2.1	Innledning.....	15
2.2	Klimagassutslipp fra den norske jernbanen.....	15
2.3	Øvrige problemer knyttet til dieseldrift på jernbanen	17
2.4	Årsaker til problemet	17
2.5	Forventet utvikling	18
2.6	Hvem som berøres	18
2.7	Hva tilsier at det offentlige bør iverksette tiltak.....	19
2.8	Oppsummering.....	19
3	Behovsanalyse	20
3.1	Normative behov	20
3.2	Etterspørselsbaserte behov.....	20
3.3	Interessentbaserte behov.....	21
3.4	Interessekonflikter.....	22
3.5	Prosjektutløsende behov	23
4	Strategiske mål og rammebetingelser	24
4.1	Samfunns mål	24
4.2	Effekt mål	24
4.3	Rammebetingelser	25
4.4	Prioritering av resultat mål	26
4.5	Målkonflikter.....	26
5	Mulighetsstudie.....	27
5.1	Tilnærming til undersøkelsen av mulighetsrommet	27
5.2	Kartlagte muligheter og silingsoversikt	27
5.3	Drøfting av silingsresultatene.....	30
6	Alternativanalyse.....	31
6.1	Metodebeskrivelse	31
6.2	Beskrivelse av togtilbudet i referansealternativet	33
6.3	Konsept 0 Fossil diesel.....	35
6.4	Konsept 1 Ikke-fossil diesel (Alternativ 1a og 1 b)	40
6.5	Konsept 2 Hydrogen (Alternativ 2a og 2 b).....	42
6.6	Konsept 3 Batteri	50
6.7	Konsept 4 Elektrifisering	57
6.8	Kostnader	62
6.9	Samfunnsøkonomisk analyse.....	63
6.10	Måloppnåelse	71
6.11	Oppsummering av teknologisk modenhet	73
6.12	Arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver	74
7	Konklusjoner og anbefalinger	78
7.1	Metode og forutsetninger som ligger til grunn for anbefalingen.....	78
7.2	Nordlandsbanen.....	79
7.3	Raumabanen	81
7.4	Røros- og Solørbanen	82

7.5	Arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver	84
7.6	Optimaliseringstiltak.....	85
7.7	Prioritering av rekkefølge.....	86
7.8	Realopsjoner.....	86
8	Føringer for neste fase.....	87
8.1	Nordlandsbanen.....	87
8.2	Røros- og Solørbanen	89
8.3	Raumabanen	91
8.4	Arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver	92
8.5	Anbefalinger knyttet til gjennomføringsstrategi.....	92
8.6	Prioritering og anbefalt tidfesting av tiltak.....	94
8.7	Kontraktstrategi.....	95
8.8	Optimaliseringstiltak.....	95
8.9	Grensesnitt til andre prosjekter og programperspektiv	95
8.10	Risikoreduserende tiltak.....	96
8.11	Styringsmessig fleksibilitet	96
	Delrapporter og vedlegg.....	97
	Vedlegg 1 – Grunnleggende informasjon om jernbanen og de ikke-elektrifiserte strekningene	97
	Vedlegg 2 – Problembeskrivelse.....	97
	Vedlegg 3 – Behovsanalyse	97
	Vedlegg 4 – Strategiske mål og rammebetingelser	97
	Vedlegg 5 – Mulighetsstudie.....	97
	Vedlegg 6 – Alternativanalyse.....	97
	Vedlegg 7 – Begreper og forkortelser	97
9	Kilder og referanser	98

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

KVU-arbeidet har sin opprinnelse i utredningene *Nullutslippsløsninger for ikke-elektrifiserte baner – NULLFIB* i 2019 og *Nullutslipp – batteridrift på jernbanen (NULLFIB2)* i 2021. Hensikten med NULLFIB-rapportene var å danne grunnlaget for en eventuell bestilling fra Samferdselsdepartementet om en KVU for investering i nødvendig infrastruktur for overgang til nullutslippsteknologi i de delene av driften som ikke allerede har dette.

Den første utredningen så på alternativer til dagens dieseldrift på ikke-elektrifiserte strekninger. Utredningen gjorde en vurdering og evaluering av nye teknologiske løsninger for drift av jernbane, og så på energibærerne hydrogen, biogass, biodiesel, helbatteri og batteridrift med del-elektrifisering. Sistnevnte energibærer utpekte seg som mest aktuell som mulig varig løsning til erstatning for fossilbasert brensel. NULLFIB var avgrenset til å bruke Nordlandsbanen som casestudie.

NULLFIB2 er en oppfølgingsrapport som tar for seg de ikke-elektrifiserte strekningene Nordlandsbanen, Rørosbanen, Raumabanen og Solørbanen. Arbeidet omfatter vurderinger av ulike varianter av ladesystemer, og tilgang på egnede batterikjøretøy til all skinnegående virksomhet på norsk jernbane som i dag benytter diesel som energibærer.

NULLFIB2 viser at det er teknologisk gjennomførbart å få til en overgang fra dieseldrift til batteridrift på de ikke-elektrifiserte delene av det norske jernbanenettet. Teknologien er så moden og tilgjengelig at en teknologiovergang vil bære mer preg av å være en utrulling enn et utviklingsprosjekt.

1.2 Bestilling

Mandatet kommer frem av supplerende tildelingsbrev til Statsbudsjettet 2022, nr. 3 fra Samferdselsdepartementet til Jernbanedirektoratet av 4. april 2022.

I dag er det i hovedsak Nordlandsbanen, Rørosbanen, Raumabanen og Solørbanen som ikke er elektrifisert. I tillegg bruker arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver i dag diesel, også på elektrifiserte strekninger. For å vurdere hvordan utslipp fra jernbanen kan reduseres ønsker Samferdselsdepartementet å få utarbeidet en KVU for å vurdere hvilken energibærer som passer for den enkelte bane/jernbanekjøretøy, og om en differensiert energiløsning er hensiktsmessig. Det fremgår videre fra Samferdselsdepartementet at Utredningene har vist at det er flere løsninger som kan gi reduserte utslipp og kostnadsbesparelser sammenlignet med full elektrifisering. Samferdselsdepartementet gir med dette Jernbanedirektoratet i oppdrag å gjennomføre en Konseptvalgutredning (KVU) for reduserte utslipp av klimagasser på jernbane. KVU-en skal utarbeides i tråd med Finansdepartementets rundskriv R-108/19 Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten (statens prosjektmodell).

I tråd med bestillingen fra Samferdselsdepartementet, så vil KVU-arbeidet vurdere alle aktuelle energibærere for den ikke-elektrifiserte driften av jernbanenettet, med utgangspunkt i de to tidligere NULLFIB-rapportene. Batteridrift har blitt belyst på et mer detaljert nivå enn de øvrige energibærerne, og det har vært vesentlig for KVU-arbeidet at kunnskapsgrunnlaget innenfor øvrige energibærere har blitt vurdert på et tilsvarende nivå for å påse at alternativene er sammenliknbare på et objektivt nivå. Som det fremgår av tidligere utredningsarbeid, så kan det være aktuelt med differensierte løsninger, ettersom de ulike ikke-elektrifiserte strekningene har svært ulik lengde, topografi og driftsopplegg.

Det fremgår videre i brevet at KVU-en skal inneholde blant annet:

- En vurdering av alternativer som reduserer utslipp fra jernbanen, samt de samfunnsøkonomiske kostnadene ved disse.
- En vurdering av driftsform (dagens løsning vurdert opp mot el, batteri, hybrid, hydrogen etc.) og tilknyttede behov for investeringer.
- En vurdering av behov for ombygging eller utskifting av eksisterende jernbanekjøretøy.
- Kartlegge behov for infrastrukturtiltak for energiforsyning

- En vurdering av fordeler og ulemper ved ulike teknologier skal belyses, herunder energieffektiviteten til ulike energibærere.
- En vurdering av rekkefølgen av tiltak basert på samfunnsøkonomisk kostnad per tonn CO₂.

Utredningen skal belyse utslipp som teller på det norske utslippsregnskapet.

1.3 Forutsetninger og avgrensninger

Formålet med utredningen er å utarbeide et beslutningsgrunnlag for å velge hvilket eller hvilke konsept som eventuelt skal videreføres i forprosjektfasen. Arbeidet vil gå gjennom de vanlige trinnene i en KVV, med problembeskrivelse, behovsanalyse, strategiske mål og rammebetingelser for konseptvalg, mulighetsstudie, alternativanalyse og føringer for forprosjektfasen.

Konseptvalgutredningen skal gjennomføres i tråd med Finansdepartementets rundskriv R-108/19 Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten (statens prosjektmodell). Det skal utarbeides kostnadsestimater og usikkerhetsanalyser i tråd med krav i punkt 5.6 i rundskrivet. Konseptvalgutredningen skal utformes i tråd med kravene for rammeavtalen i ordningen med ekstern kvalitetssikring (KS1).

Avgrensninger, hentet fra prosjektmandat i Jernbanedirektoratet:

- Levetid for standard kontaktledning må beregnes ut fra 50 år og 75 år, omformerstasjoner/ladeanlegg er 40 år, kjøretøy er 30 år. Levetid for ny/annen teknologi behandles i prosjektet.
- Det er direkte utslipp av klimagasser fra fossil forbrenning i dieselmotorer som beregnes, men utslipp fra transport av drivstoff til fyllingsanleggene inkluderes også som en del av å beregne klimaeffekten av konseptene.
- Ikke-prissatte virkninger og klimagassutslipp fra bygging av kjøretøy holdes utenfor, men inkluderes for infrastruktur, herunder anleggsutslipp, massetransport og eventuelle naturinngrep.
- Prosjektet skal kun vurdere tilgjengelige teknologiske løsninger som har høy grad av gjennomførbarhet for bruk på jernbane med gitt topografi og klima for de aktuelle strekningene.

Utredningsprosjektet har avgrenset arbeidet til utslipp som kan knyttes til den skinnegående virksomheten på jernbanen. Det medfører at utslipp knyttet til utbygging av ny jernbane og vedlikehold/fornyelse som utføres med ikke-skinnegående anleggsmaskiner ikke omfattes. Disse aktivitetene må kunne antas at følger utvikling av utslippsfrie alternativer i den generelle anleggssektoren (veiutbygging og lignende).

1.4 Organisering av arbeidet

Prosjekteier i Jernbanedirektoratet har vært Anita Skauge (t.o.m 31.6.23) og deretter Jan Frederik Geiner (fra 1.7.23). Prosjektansvarlig har vært Tatiana Klougman. Styringsgruppa for arbeidet har hatt følgende medlemmer: Anita Skauge/Jan Frederik Geiner (leder av styringsgruppen), Tatiana Klougman (prosjektansvarlig), Erik Lund, Pål Midtlien Danielsen og Vegard Lyng (Bane NOR). Styringsgruppa har gitt råd til prosjekteier/prosjekt-ansvarlig for å sikre effektive beslutninger av kvalitet og koordinering med mottakere av prosjektets leveranse.

Arbeidet med konseptvalgutredningen har vært ledet av en prosjektgruppe bestående av Stephen Oommen (prosjektleder), Dag Wilhelm Aarsland (ass. prosjektleder/teknisk leder), Nils Henning Anderssen, Frode Hjelde, Atle Einarson, Geir Vadseth, Bjørn Bryne, Morten K. Flisnes, Harald Wiborg Bøe (alle Jernbanedirektoratet), Beate Isetorp (Bane NOR) og Razieh Fard (Norske tog).

Jernbanedirektoratet har engasjert WSP som konsulent for utredningen. WSP har i dialog med prosjektgruppa i Jernbanedirektoratet utarbeidet delrapporter for de ulike fasene: problembeskrivelse, behovsanalyse, strategiske mål og rammebetingelser, mulighetsstudie, alternativanalysen og til slutt utkast til hovedrapport. Jernbanedirektoratet har utarbeidet den samfunnsøkonomiske analyserapporten. Usikkerhetsanalyser ble gjennomført av WSP. Det ble også gjennomført to arbeidsverksteder og et dialogmøte, hvor interessenter har vært invitert. Det har også vært arrangert flere avklaringsmøter med enkeltstående parter/interessenter i saken.

2 Problembeskrivelse

2.1 Innledning

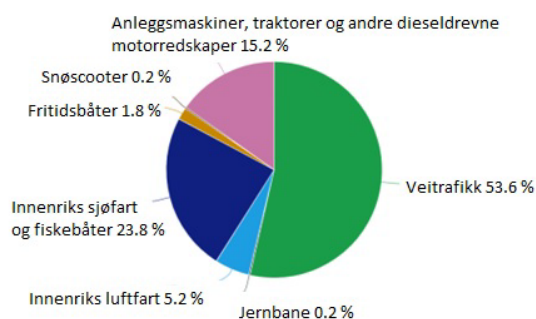
I henhold til Finansdepartementets rundskriv om krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten [1], skal problembeskrivelsen «gjøre rede for hvilke uløste problemer man ser på, og hva som tilsier at det offentlige bør iverksette tiltak på området». Beskrivelsen skal omfatte problemets omfang, hvor alvorlig det er og hvem som blir berørt, og skal vurdere både dagens problemer og forventet utvikling. Det bør gjøres en vurdering av hva som er årsakene til at problemene har oppstått.

Klimagassutslipp er forventet å bidra til høyere temperaturer, økt havnivå, tørke i nye områder, flom og økning av skogbranner i et globalt perspektiv. For å begrense omfanget av negative konsekvenser, er det vedtatt norsk politikk at klimagassutslippene skal reduseres betydelig i årene som kommer.

2.2 Klimagassutslipp fra den norske jernbanen

Transportsektoren står ifølge Statistisk sentralbyrå (SSB) for om lag 32 % av de totale klimagassutslippene i Norge. Figur 4 viser direkte klimagassutslipp i transportsektoren innenlands fordelt på ulike kategorier. Utslipp fra jernbanen står for en liten andel, med 0,2 % av de totale utslippene fra transportsektoren.

Til tross for at andelen utslipp fra jernbanen er relativt sett liten, utgjør utslippene en ikke ubetydelig mengde, med i overkant av 50 000 tonn CO₂-ekvivalenter årlig fra jernbanetransport. Dette fordeler seg med om lag 20 000 tonn CO₂-ekvivalenter årlig fra persontrafikk og 30 000 tonn CO₂-ekvivalenter årlig fra godstrafikk. I tillegg kommer årlige utslipp på om lag 20 000 tonn CO₂-ekvivalenter fra kjøretøy til drift, vedlikehold og fornyelse, og ca. 23 000 tonn CO₂-ekvivalenter fra nybygging av jernbane. Utslippene knyttet til nybygging av jernbane inngår som en del av ordinære utslipp fra bygg- og anleggssektoren, og vil derfor ikke drøftes videre i denne utredningen. Når det gjelder drift, vedlikehold og fornyelse, så skyldes utslippene fra disse aktivitetene bruk av kjøretøy med fossilt drivstoff. Dette omfatter tjenestebiler på vei, skinn-/veimaskiner, øvrige anleggsmaskiner og rent skinnegående arbeidsmaskiner. Denne utredningen omfatter de rent skinnegående maskinene, mens utslipp fra øvrige kjøretøy til drift, vedlikehold og fornyelse er forutsatt håndtert som en del av bygg- og anleggssektoren.



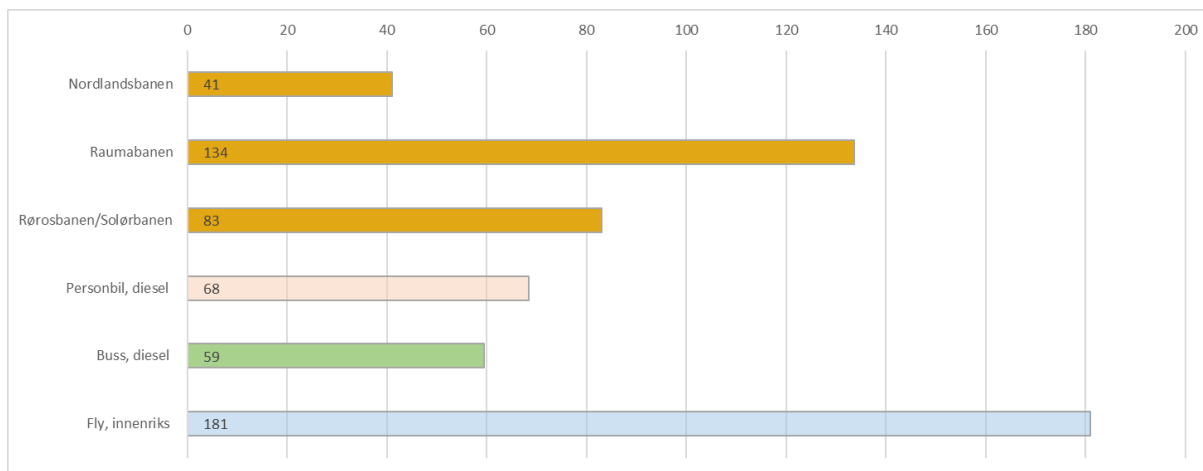
Figur 6: Direkte klimagassutslipp i transportsektoren innenlands 2019 fordelt på kategorier [22]

Det at jernbanen står for en lav andel av utslippene fra transportsektoren, skyldes blant annet at store deler av det norske jernbanenettet er elektrifisert, slik at kjøretøyene forsynes med elektrisk energi via kontaktledning. Klimagassutslippene fra jernbanetransport skyldes bruk av diesel som energibærer på de banestrekningene som ikke er elektrifiserte. For utredningen omfatter dette Rørosbanen, Raumabanen, Solørbanen og Nordlandsbanen fra Stjørdal og nordover. Elektrifisering av Nordlandsbanen fra Trondheim til Stjørdal, og hele Meråkerbanen fra Hell til riksgrensen, regnes som politisk vedtatt, og inngår dermed ikke i denne utredningen.

Klimagassutslipp fra persontransport på de ikke-elektrifiserte banestrekningene

Det er stor variasjon i klimagassutslipp fra persontrafikk på de ikke-elektrifiserte strekningene. Figur 7 viser CO₂-utslipp per passasjerkilometer (g CO₂/pkm). Utslippene varierer fra 134 g CO₂/pkm for Raumabanen, til 41 g CO₂/pkm for Nordlandsbanen. Gjennomsnittlig utslipp fra alle de ikke-elektrifiserte jernbanestrekningene er 67 g CO₂/pkm. Til sammenligning har dieseldrevne personbiler et utslipp på 68 g CO₂/pkm, dieseldrevne busser et utslipp på 59 g CO₂/pkm og innenriks fly et utslipp på 181 g CO₂/pkm. Nordlandsbanen har lavest utslipp per passasjerkilometer av alle de presenterte kategoriene. Samtidig er det denne banen som har klart størst passasjertrafikk, og som derfor samlet sett bidrar til de største utslippene målt i gram CO₂. Rauma-, Røros- og Solørbanen har utslipp målt i gram CO₂/pkm som er høyere

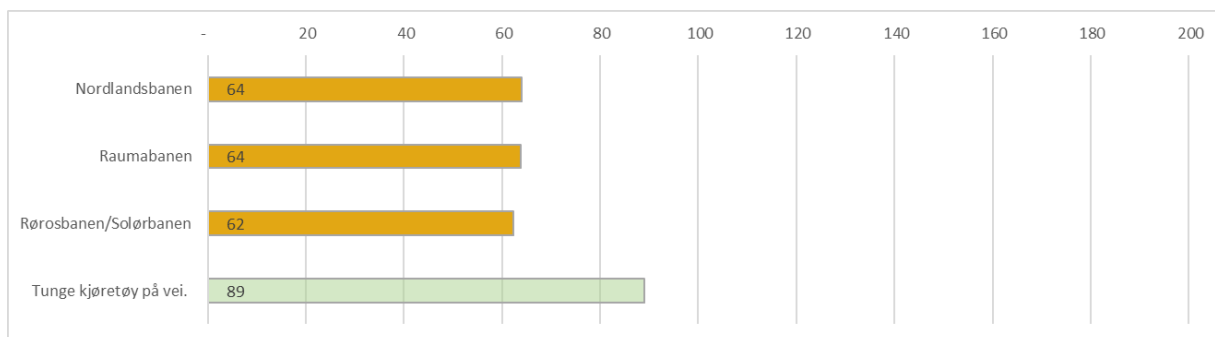
enn eksempelvis buss, men lavere enn innenriks fly. Gjennomsnittlig utslipp fra personbil i Norge ligger imidlertid rundt 50 gram om man tar hensyn til elbilmiksen i Norge, som er på 22,5 prosent i juli 2023 [2] .



Figur 7: Passasjerutslipp målt i gram CO₂ per passasjerkilometer (g CO₂/pkm) [3]

Klimagassutslipp fra godstransport på de ikke-elektrifiserte banestrekningene

CO₂-utslippet målt i gram per tonnkilometer (g CO₂/tkm) for godstransport er tilnærmet likt for alle banestrekningene. Gjennomsnittlig utslipp for Rørosbanen / Solørbanen ligger på 62 g CO₂/tkm, mens Nordlandsbanen og Raumabanen begge har et utslipp på 64 g CO₂/tkm. Til sammenligning har tunge dieselskjøretøy på vei et utslipp på 89 g CO₂/tkm. Tallene viser at godstrafikk på de ikke-elektrifiserte banene har lavere utslipp enn godstrafikk på vei. På Nordlandsbanen fraktes årlig over 200 millioner tonnkilometer med gods. Banen er med det den av de ikke-elektrifiserte strekningene der det fraktes klart mest gods, og som dermed også har det samlede største utslippet målt i gram CO₂ [3].



Figur 8: Godsutslipp målt i gram CO₂ per tonnkilometer (g CO₂/tkm) [3]

Klimagassutslipp fra skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver

Skinnegående arbeidsmaskiner til drift, vedlikehold og fornyelse av jernbanen omfatter en rekke ulike maskiner som benyttes til forskjellige arbeidsoppgaver. Maskinene omfatter blant annet lastetraktorer, ledningsvogner, linjelokomotiver, høyfjellsfreser, vedlikeholdstog, målevogn og diverse andre spesialmaskiner. I tillegg kommer skiftelokomotiver til skifteoperasjoner inne på godsterminalene. Maskinene representerer en kompleks struktur av eiere, operatører og arbeidsoppgaver. Drift og vedlikehold på jernbanen utføres av flere selskaper. I tillegg finnes mange ulike eiere av kjøretøy, som enten benytter maskinene selv, eller som leier ut maskiner til virksomheter som utfører drift og vedlikehold. Det finnes begrenset med tilgjengelig informasjon om utslipp fra skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver. Tabell 2 viser en oversikt over utslipp fra Bane NOR sine egne skinnegående arbeidsmaskiner. Bane NOR er den største eieren av slike maskiner. Tabellen gir dermed en indikasjon på utslippene fra denne kategorien av kjøretøy, uten at den gir et komplett bilde. Samlede årlige CO₂-utslipp fra Bane NOR sine skinnegående arbeidsmaskiner er om lag 3 600 tonn CO₂. Det er lastetraktorer som bidrar klart mest til utslippene, med en andel på 57,5 %.

Tabell 2: Klimagassutslipp per kjøretøygruppe (2021) for Bane NOR sine skinnegående arbeidsmaskiner

		Ny fordeling av utslipp	Andel av utslipp i %
Lastetraktor		2 084 tonn CO ₂	57,5 %
Ledningsvogn/ revisjonsvogn		504 tonn CO ₂	13,7 %
Lok		538 tonn CO ₂	14,8 %
Skiftelok		10 tonn CO ₂	0,3 %
Høyfjellsfres	Beilhack	341 tonn CO ₂	9,4 %
Vedlikeholdstog		9 tonn CO ₂	0,2 %
Målevogn	Roger 1000	133 tonn CO ₂	3,7 %
	LM2		
Div. kjøretøy (ballastfordeler, kombipakk, LT18 og L15)		15 tonn CO ₂	0,4 %
Tot. sum:		3 632 tonn CO₂	100%

De skinnegående arbeidsmaskinene skiller seg fra person- og godstransport ved at alle maskinene er dieseldrevne, og at de dieseldrevne maskinene benyttes både på de elektrifiserte og de ikke-elektrifiserte strekningene. Det er estimert at anslagsvis 80 % av CO₂-utslippene fra de skinnegående arbeidsmaskinene er utført av dieseldrevne arbeidsmaskiner på banestrekninger som allerede er elektrifiserte [4].

2.3 Øvrige problemer knyttet til dieseldrift på jernbanen

Utover selve klimagassutslippene er det også øvrige problemer med dagens dieseldrift. Dieseldriften bidrar til lokale miljøpåvirkninger i form av utslipp av nitrogenoksider, partikler, sot og hydrokarboner til luft og ytre miljø. Graden av påvirkning avhenger av konsentrasjonen i luften og miljøet/ antall mennesker som blir berørt. Dieseldrift innebærer også støyforurensing som kan påvirke mennesker og dyr i jernbanens omgivelser. Både utslipp og støy fra dieseldrift påvirker arbeidsmiljøet til personer som arbeider med kjøretøyene eller i kjøretøyenes direkte nærhet.

Dieseldrift har lav energieffektivitet. Om lag 30 % av den kjemisk lagrede energien i dieselen blir omgjort til mekanisk energi fra motorens aksel. Diesel som primær energibærer bidrar til klimagassutslipp, og lav energieffektivitet er derfor lite gunstig. Bærekraft er et aktuelt tema for å sikre kunde og brukertilfredshet, og flere selskaper har ambisiøse klimamålsetninger. Manglende tiltak for å bidra til klimagassreduksjoner vil kunne virke negativt på jernbanenes omdømme som en klimavennlig aktør. Det er også usikkerhet knyttet til fremtidig driftsøkonomi som følge av priser på diesel. Økende etterspørsel etter energi, sikkerhetspolitiske forhold og ettervirkninger etter Covid-19 pandemien bidrar til usikkerheten. I tillegg kan krav om endringer i bruk av fossile energikilder som følge av klimautfordringene bidra til at det på sikt blir dyrere å bruke fossilt drivstoff ved at CO₂ avgiften økes. I flere store markeder i verden er det innført, eller det er diskusjoner om å innføre, juridiske restriksjoner som styrer når det er mulig å selge bensin- og dieselmotorer for veikjøretøy. Det diskuteres også hvorvidt det kan være hensiktsmessig å inkludere andre transportmidler, som eksempelvis jernbanekjøretøy.

2.4 Årsaker til problemet

Da diesel ble valgt som energibærer i sin tid, så var dette ansett som en positiv innføring av teknologi som ga bedre ytelse enn damplokomotiver. I løpet av de siste hundre årene har jernbanen i Norge blitt gradvis elektrifisert, og kunnskapen om dieseldriftens negative påvirkning på klima og miljø har vokst frem særlig de seneste 40 årene. Årsakene til at det fortsatt er dieseldrift på de ikke-elektrifiserte strekningene, og for arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver, er sammensatte. Hovedårsaken har vært at transportgrunnlaget på de ikke elektrifiserte banene har vært for lavt til å gi en samfunnsøkonomisk nytteverdi.

Tidligere fantes det få hensiktsmessige alternativer til dieseldriften, og det er først de siste 15 årene at utviklingen av alternativer til fossil diesel har skutt fart. I denne konteksten er jernbanen et lite marked, også internasjonalt. Markedsstørrelse og potensielle produksjonsvolumer har betydning for utvikling og modning for alternative teknologier, og alternative løsninger for jernbanen har ikke utviklet seg like raskt som løsninger innen eksempelvis vegsektoren. Jernbanens samlede utslipp er små sett opp mot de totale utslippene i transportsektoren, og jernbanen har hatt en posisjon som et klimavennlig alternativ sammenlignet med de andre aktørene i transportsektoren. Samtidig har det ikke blitt satt spesifikke krav til

utslippsfri teknologi i konkurranser på den norske jernbanen, slik det har vært gjort i eksempelvis Tyskland. Organisatoriske forhold, slik som eier og operatørstruktur for kjøretøy og infrastruktur kan også medvirke til at innføring av ny teknologi tar tid.

2.5 Forventet utvikling

Iht. Stortingsmeldingen for NTP 2022-2033 forventes utslippet av klimagasser fra de ikke-elektrifiserte strekningene å utvikle seg i tråd med utviklingen i togtilbudet. Flere avganger og/eller større energiforbruk per avgang vil bidra til å øke klimagassutslippene fra strekningene i tråd med økninger i gods- og persontrafikk på strekningene. Ettersom vekten av de reisende utgjør en liten andel av togets bruttovekt, vil økningen i klimagassutslipp fra persontrafikken forventes å være direkte proporsjonal med økningen i togkilometer, forutsatt lik bruk av kjøretøyene. Etterspørselen innvirker dermed ikke nevneverdig på klimagassutslippene fra jernbanen, med mindre store endringer i passasjertallene får følger for antallet avganger på strekningene. For godstransporten vil utviklingen i både antallet avganger og energiforbruk per avgang, som påvirkes av hvor tungt toget er, innvirke direkte på klimagassutslippene. Dersom økt trafikk på jernbanen innebærer å flytte passasjerer og gods fra transportløsninger med høyere utslipp per personkilometer eller tonnkilometer, kan imidlertid nettoeffekten for klimagassutslipp på samfunnsnivå, som følge av økt transport på jernbanen, utgjøre en nedgang i utslippene. For godstransporten vil overføring av gods til jernbane medføre lavere klimagassutslipp, selv om jernbanen fortsatt driftes med fossil diesel.

Det pågår en omfattende utvikling innenfor teknologi for reduserte klimagassutslipp. Innføring av alternative energibærere og ny teknologi for vei-, sjø- og lufttransport vil påvirke dette bildet, og jernbanen vil med fortsatt dieseldrift kunne miste noen av sine argumenter for klimavennlig transport på de ikke-elektrifiserte strekningene, dersom ikke utslippene også reduseres på jernbanen. Løsninger for reduserte utslipp fra veitransport innføres i stadig større grad. Utslippsfrie kjøretøy på vei utgjør nå 22,5 prosent av totalt antall kjøretøy, og øker med rundt tre prosentpoeng årlig [5]. Et grovt estimat tilsier at også Nordlandsbanen vil kunne ha høyere utslipp enn veitrafikken i løpet av 10-15 år dersom denne utviklingen fortsetter, og det ikke innføres tiltak på jernbanen. For luftfarten går utviklingen foreløpig vesentlig saktere, men Norge er likevel langt fremme med prosjekter for elektrifisering på kortbanenettet.

Selv om utviklingen av alternativ teknologi går raskere i veisektoren, skjer det også en utvikling av alternativ teknologi for persontog og godstog. Særlig i Europa, der land som Storbritannia, Danmark, Frankrike og Tyskland har ambisjoner om å fase ut fossil dieseldrift. Etterspørselen vil trolig bidra til en økt tilgjengelighet av kjøretøy med alternative energibærere og hybride løsninger. På den andre siden er det sannsynlig at etterspørselen etter dieseldrevne jernbanekjøretøy vil synke kraftig, og at teknologien på lengere sikt sannsynligvis vil fases ut på de fleste bruksområder. Nye myndighetskrav og reguleringer av utslipp fra forbrenningsmotorer gjør at kjøretøy som oppfyller dagens krav, ikke nødvendigvis vil bli godkjent i fremtiden dersom kjøretøyene ikke utvikles videre. Selv om det er stor usikkerhet knyttet til fremtidige krav til forbrenningsmotorer innenfor jernbane, så er trenden at det stilles stadig høyere krav til reduserte utslipp, hvilket vil påvirke utvalget av dieselskjøretøy hos produsentene. Dette vil mest sannsynlig gjelde i større grad for person- og godstog enn for skinnegående arbeidsmaskiner.

Intensiteten på arbeidet med drift, vedlikehold og fornyelse er i stor grad drivende for utslippene fra maskinbruk på jernbanen. Generelt er det ventet at behovet for drift- og vedlikehold, og dermed operasjonstid for arbeidsmaskinene med tilhørende utslipp, vil øke i takt med økt trafikk på sporet. For fornyelse er det lagt til grunn i NTP 2022-2033 en vesentlig økning av fornyelse av infrastrukturen sammenlignet med bevilgningene i tidligere år. Dersom bevilgningene til drift og vedlikehold av jernbanen realiseres iht. Stortingsmeldingen for NTP 2022- 2033, vil det innebære en økt bruk av arbeidsmaskiner, og dermed økte totale klimagassutslipp.

Det forventes at kunder og brukere vil stille skjerpede krav til energieffektivitet og reduksjoner i utslipp og annen uønsket miljøpåvirkning fra transport generelt. Dette inkluderer også person- og godstransport på jernbane, og vil kunne bidra til å motivere for tiltak for reduserte utslipp.

2.6 Hvem som berøres

Tiltaksområdet for KVV-en er å redusere utslippene fra transport og andre aktiviteter på den norske jernbanen. Utredningen er begrenset til å se på direkte utslipp av CO₂ i Norge, dvs. utslipp som fysisk finner

sted i Norge, ikke medregnet utslipp som knyttes til varer og tjenester som importeres til landet. Influensområdet, her forstått som hvem som berøres av problemet, er mindre avgrenset. Lokale utslipp og støy fra dieseldrift vil kunne få konsekvenser for miljø og personer i nærheten av jernbanen. For klimagassutslippene er konsekvensene imidlertid globale. Utslippene fra jernbanen bidrar på lik linje med utslipp fra andre kilder til de totale klimagassutslippene, som igjen forventes å påvirke klimaet i et globalt perspektiv.

2.7 Hva tilsier at det offentlige bør iverksette tiltak

Markedet forventes å etterspørre klimavennlige løsninger, og i mindre grad tilby kjøretøy som bidrar til klimagassutslipp. Markedet kan likevel ikke løse utfordringen alene. Infrastrukturen på jernbanen er offentlig eid, og jernbanen er et komplekst system med mange aktører som drifter, vedlikeholder og bruker infrastrukturen. Persontransport på jernbane er samfunnsøkonomisk lønnsom på flere strekninger, men bedriftsøkonomisk ulønnsom som følge av at trafikkinntektene sjelden dekker drifts- og kapitalkostnadene. Staten kjøper derfor persontransporttjenester på bedriftsøkonomisk ulønnsomme strekninger for å ivareta kollektivtilbudet [6]. Togene er offentlig eid, og dermed i hovedsak det offentliges ansvar. Jernbanens fortrinn og stordriftsfordeler kan falle bort som følge av offentlige beslutninger, eller mangel på beslutninger. Jernbanesektoren er av disse hensyn relativt gjennomregulert, særlig innenfor persontogtransport og utbygging, drift og vedlikehold av infrastruktur. De private aktørene forpliktes gjennom kontrakter med det offentlige, som eier både togene og infrastrukturen. Deler av jernbanens klimagassutslipp vil med andre ord vedvare uten tiltak fra sektormyndighetene.

2.8 Oppsummering

Utslipp av klimagasser fra den norske jernbanen bidrar til klimaendringer. Norske myndigheter har som mål innen 2030 å redusere klimagassutslippene med 50-55 % sammenlignet med 1990-nivå. Innen 2050 er målet at Norge skal ha blitt et lavutslippssamfunn, hvilket innebærer at de nasjonale utslippene skal reduseres med 90–95 % sammenlignet med 1990-nivå. Transportsektoren står samlet for om lag 30 % av Norges CO₂-utslipp. Av dette bidrar jernbanen med en liten andel, 0.2 %. I antall tonn er det likevel en ikke ubetydelig mengde. Klimagassutslippene på jernbanen kommer fra dieseldrift på de ikke-elektrifiserte strekningene, samt utslipp fra skiftelokomotiver og arbeidsmaskiner til drift, vedlikehold og fornyelse.

3 Behovsanalyse

Finansdepartementets rundskriv om krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten [1] angir at «behovsanalysen skal beskrive bredden i aktuelle, konkrete behov relatert til problembeskrivelsen, vurdert i et overordnet samfunnsperspektiv. Den skal inneholde en kartlegging av relevante interessenter/aktører i en interessentanalyse. Analysen skal få frem hvem som berøres av tiltaket og avdekke interessekonflikter. Analysen må inneholde en vurdering av styrken i de ulike identifiserte behovene og det må framkomme hvilket behov som skal legges til grunn for den videre utredningen». Behov er kartlagt ved hjelp av normative metoder, etterspørselsbaserte metoder og interessentbaserte metoder.

3.1 Normative behov

Normative behov viser gapet mellom politiske mål og dagens situasjon og/eller forventet utvikling, og er utledet fra overordnede politiske målsetninger i form av stortingsmeldinger og stortingsproposisjoner, lover og forskrifter. Normative behov som er drøftet i utredningen omfatter globale mål og avtaler om å begrense klimaendringene, Norges internasjonale forpliktelser og mål mot 2030 og 2050, FNs bærekraftsmål, transportpolitiske målsetninger (NTP-målene), nasjonale og internasjonale krav til jernbanen og sikkerhet, samt lover, forskrifter og handlingsplaner knyttet til arbeidsmiljø og lokale miljøpåvirkninger. Drøfting av normative behov er vist utfyllende i Vedlegg Behovsanalysen. Tabell viser en oppsummering av de normative behovene som er identifisert.

Tabell 3: Oppsummering av normative behov

Normative behov	Prosjektutløsende behov	Jernbanesektoren etterlever og bidrar til å oppfylle de nasjonale forpliktelsene til å halvere klimagassutslippene innen 2030, og oppnå et lavutslippssamfunn innen 2050 (90-95 % reduksjon av klimagassutslipp sammenlignet med 1990).
		Jernbanens attraktivitet opprettholdes for å unngå en økning i veitrafikken i de lange korridorene av hensyn til trafikkssikkerhet og lokalmiljø.
		Jernbanen etterlever og bidrar til å oppfylle Norges forpliktelser til FNs bærekraftsmål.
	Andre behov	Jernbanen etterlever kravene i Jernbaneforskriften uansett driftsform. Jernbanen oppfylder de krav som lokale planmyndigheter og DSB stiller på den infrastruktur som kreves for den alternative energibæreren. Kjøretøyene oppfyller et akseptabelt nivå på sikkerhet i henhold til forskriftene.
		Jernbanen minimerer negativ påvirkning på arbeidsmiljø og lokalmiljø, for eksempel i form av luftforurensning og støy.

3.2 Etterspørselsbaserte behov

Etterspørselsbaserte behov avdekkes som et misforhold mellom tilbudt kapasitet/ytelse og etterspørsel. I denne KVV-en forstås etterspørselsbaserte behov som kundenes preferanser for klimavennlig transport av personer og gods, samt jernbaneselskapenes behov for kjøretøy og arbeidsmaskiner. Etterspørselsbaserte behov som er drøftet omfatter etterspørsel etter klimavennlige transportløsninger, etterspørsel etter jernbanetransport på de ikke-elektrifiserte banestrekningene, og etterspørsel etter egnede jernbanekjøretøy. Drøfting av etterspørselsbaserte behov er vist utfyllende i Vedlegg Behovsanalysen. Tabell viser en oppsummering av de etterspørselsbaserte behovene som er identifisert.

Tabell 4: Oppsummering av etterspørselsbaserte behov

Etterspørsels- baserte behov	Prosjektutløsende behov	For at jernbanen skal opprettholde sin konkurranseevne, er det behov for at den imøtekommer kundenes krav og forventninger til null/ reduserte utslipp av klimagasser. Kundene og operatørene har behov for at dette ikke realiseres på bekostning av øvrige kvaliteter i togtilbudet, da transporttjenestene på jernbanen møter konkurranse fra andre transportmidler.
	Andre behov	Det er behov for økt kapasitet, spesielt på Nordlandsbanen.
		Det er behov for løsninger som ivaretar operatørenes mulighet til å opprettholde togtilbudet, med hensyn til avstander, framføringstid, trekkraft, nordisk klima og andre operative forhold.
		Det er behov for løsninger som sikrer interoperabilitet med andre land. Det må være lov og praktisk mulig å benytte kjøretøy som benyttes i Norge også i Europa, særlig for godskjøretøy som gjerne kjører via Sverige.
		Det er behov for løsninger som er del av et velfungerende marked for kjøp, salg og vedlikehold av kjøretøyene. Dette påvirkes av hvor bredt de aktuelle tekniske løsningene benyttes i andre land, grad av standardisering og grad av interoperabilitet.
		Det er behov for å samkjøre endringer i kjøretøy- og arbeidsmaskinflåten med eventuelle endringer i infrastrukturen for kjøretøy som skal byttes ut på kort og mellomlang sikt. Kjøretøyeiere og leasere av kjøretøy/ arbeidsmaskiner har behov for tydelige og mer pålitelige føringer for endringer i energibærer i så god tid som mulig for å kunne omstille seg.
		Det er behov for å finne løsninger for kjøretøy og arbeidsmaskiner som vil ha en bruksverdi etter overgang til andre energibærere enn fossil diesel, slik at verdiene selskapene har investert i sine kjøretøy gir avkastning/verdien kan gjenvinnes og investeres i tilpassede kjøretøy.
		Overgangen til nye kjøretøy er en krevende periode for eiere/ leasere av kjøretøy og arbeidsmaskiner, spesielt for ikke-statlige eiere og brukere av kjøretøy. Det er behov for overgangsløsninger som sikrer at disse selskapene kan bli med på overgangen til løsninger med reduserte/null utslipp.

3.3 Interessentbaserte behov

Behov avdekket med interessentbaserte metoder omfatter behov fra ulike interessenter, slik som statlige myndigheter og etater, fylkeskommuner, leverandørselskaper, mm. For å kartlegge de ulike interessentenes behov, er det gjennomført en interessentanalyse og et arbeidsverksted.

Interessentanalysen har kartlagt en lang rekke interessenter fordelt på primærinteressenter og sekundærinteressenter, der primærinteressentene er eierne av prosjektet, eller interessenter som påvirkes direkte av tiltaket, og sekundærinteressentene er interessenter som har interesse av å informeres om prosjektet, eller som berøres indirekte. Arbeidsverkstedet ble avholdt 8. september 2022 med deltakere fra både eiere og brukere av infrastrukturen og kjøretøyene som i dag står for klimagassutslippene fra jernbanen.

Interessentbaserte behov er drøftet inngående i Vedlegg Behovsanalyse, og interessentanalysen er dokumentert i et eget notat. Tabell 5 viser en oppsummering av de interessentbaserte behovene som er identifisert.

Tabell 5: Oppsummering av interessentbaserte behov

Interessent-baserte behov	Andre behov	Kostnader for transporttjenesten som er akseptable for kundene.
		Et pålitelig og driftssikkert togtilbud med tilstrekkelig punktlighet og lav grad av innstillinger.
		Markedsrelevant framføringstid.
		Tilstrekkelig transportkapasitet og trafikkapasitet iht. markedets behov.
		Å ivareta muligheten for interoperabilitet med naboland.
		Løsningen(e) som velges vil fungere godt også på lang sikt for å unngå ytterligere omstillinger i framtiden.
		Bedre arbeidsmiljø, herunder mindre støy og lokale utslipp for de som jobber med jernbanen, for de reisende, og for de som bor i nærheten av jernbanen.
		Løsninger som er energieffektive, og som bidrar til at samfunnets energiresurser brukes på en hensiktsmessig måte.
		Tilrettelegging og tydelige føringer for anskaffelse av lav-/nullutslippskjøretøy og maskiner, og støtteordninger som hjelper aktørene over til eventuelle nye driftsformer/energibærere.
		Arbeidsmaskinene er compatible med hele jernbanenettet.
		Kontinuerlig tilgjengelighet (anskaffelse og lovlig bruk) av nødvendige arbeidsmaskiner.
		Nye energibærere sørger for at arbeidsmaskinene klarer oppgavene sine.
		Krav som stilles til lav- /nullutslippsløsninger for arbeidsmaskiner i konkurranser om drift og vedlikehold faktisk kan imøtekommes av tilbydernes arbeidsmaskinflåter, og at arbeidsmaskinene er relevante å tilby i flere markeder enn norsk jernbane.
		For arbeidsmaskiner er det behov for løsninger som bidrar til kostnadseffektiv drift og vedlikehold av jernbanen.
		Aktører i energibransjen har behov for tydelighet og langsiktighet, slik at usikkerhet knyttet til om jernbanen vil være en mulig kjøper, av deres teknologi og energi, blir så liten som mulig.

3.4 Interessekonflikter

Det er identifisert interessekonflikter mellom godstrafikk og persontrafikk. Godstrafikken på jernbanen er utsatt for konkurranse fra veitrafikken, og i denne konkurransen er pris avgjørende. Persontrafikken er statlig støttet og styres i lavere grad av inntekter fra passasjer. Godsoperatørene er derfor mer følsomme for endringer i kundegrunnlaget og driftskostnader enn persontogoperatørene, og det kan være en interessekonflikt mellom persontogtrafikk og godstogtrafikk i aksept for risiko knyttet til endring av kundegrunnlaget ved innføring av tiltak for reduksjon av klimagassutslipp. Godstrafikken har også behov for en løsning som gir fleksibilitet i driftsopplegg i større grad enn persontrafikken. Dette kan innebære en interessekonflikt knyttet til hvilke tiltak som egner seg best for de to typene av trafikk. Videre blir godstrafikken utelukkende utført ved hjelp av lokomotiver, mens det for persontrafikk benyttes både motorvogner og lokomotiver. Det kan være at én alternativ energibærer er å foretrekke for godslokomotiver, men ikke for motorvogner, noe som også utgjør en interessekonflikt mellom de to trafikktypene.

Ulike tiltak for reduserte klimagassutslipp vil gi ulik fordeling av kostnadene mellom infrastrukturforvalter og eiere/ brukere av kjøretøy. Alle aktørene har behov for lave investeringskostnader og lave kostnader til

drift og vedlikehold som følge av tiltakene. Det er også en interessekonflikt mellom leverandører av ulike teknologiske løsninger for alternative energibærere, og mellom leverandører av ulike energibærere.

3.5 Prosjektutløsende behov

På bakgrunn av mandatet om å se på klimagassreduksjoner på jernbanen, og problembeskrivelsens erkjennelse av at jernbanen i seg selv er viktig for å nå de nasjonale klimamålene og lette overgangen til et lavutslippssamfunn, er følgende prosjektutløsende behov formulert:

Prosjektutløsende behov	Samfunnet har behov for at jernbanesektoren bidrar til at Norges forpliktelser til å redusere klimagassutslipp nås.
--------------------------------	---

4 Strategiske mål og rammebetingelser

4.1 Samfunnsmål

Ut fra problembeskrivelsen og behovsanalysen er samfunnsmålet formulert for å beskrive den positive tilstanden eller utviklingen som prosjektet skal bidra til. Følgende samfunnsmål er definert for prosjektet:

Samfunnsmål	Reduserte klimagassutslipp fra jernbanen.
-------------	---

Selv om jernbanesektoren i stort står for en svært liten del av klimautslippene i transportsektoren, er det likevel et betydelig klimagassutslipp fra de ikke-elektrifiserte banene. Dessuten vil klimagassreduksjoner i de andre sektorene kunne medføre at jernbanens andel av utslippene vil kunne øke i årene som kommer.

Jernbanetransportens relevans som transportmiddel bør opprettholdes, blant annet for å sikre effektiv bruk av samfunnets energiresurser, da jernbanen gir svært energieffektiv transport av store volum.

4.2 Effektmål

Effektmålene beskriver hvilke prosjektspesifikke virkninger som søkes oppnådd for ulike interessenter. Det er formulert effektmål med tilhørende indikator, jfr. tabellen nedenfor. Effektmålene er nummerert og listet i prioritert rekkefølge.

Effektmål	Vurderingsmetode KVV/Indikator	Måleenhet
Jernbanen bidrar til at transportsektorens utslipp reduseres med minst 55 % innen 2030	Beregning av endring i transportsektorens utslipp av CO ₂ -ekvivalenter, inkludert økt trafikk, i 2030.	Beregning av endring utslipp tonn CO ₂ e per år fra jernbanesektoren, byggefase, iht. vanlig praksis.
Jernbanen bidrar til at transportsektorens utslipp reduseres med 90-95 % innen 2050	Beregning av endring i transportsektorens utslipp av CO ₂ -ekvivalenter, inkludert økt trafikk, i 2050.	Beregning av endring utslipp tonn CO ₂ e per år fra jernbanesektoren, byggefase, iht. vanlig praksis.
Energiløsninger for jernbanen gir mer effektiv bruk av samfunnets samlede energiresurser	Energieffektivitet <i>Well-to-wheel</i> brukes for å måle energieffektiviteten og hvor mye energitap det er gjennom energikjeden.	<i>Well-to-wheel</i> i prosent. <i>Well-to-tank</i> og <i>tank-to-wheel</i> kan også bli brukt for å dele opp de forskjellige delene av energiprosessen der det anses som nødvendig.
	Gradering av om jernbanen bruker en uforholdsmessig stor andel av en knapp energiresurs, som kunne vært benyttet i sektorer som ikke har andre gode alternativer for å redusere sine utslipp.	Kvalitativ vurdering med score.
Togtilbudets attraktivitet ivaretas uavhengig av valgte klimavennlige løsninger	Egenskaper ved alternativet som påvirker punktlighet, transportkapasitet, trafikkapasitet og togframføringstid.	Kvalitativ score: • Akselerasjonsevne • Trekkraft • Ulemper for togtilbudet som følge av lade-og-tankestopp • Konsekvenser for effektiv tog lengde • Aksellast

Effektmål 1 og 2 (E1 og E2) – Jernbanen skal bidra til at transportsektorens utslipp reduseres med minst 55 % innen 2030 og 90-95 % innen 2050.

Norge har forpliktet seg internasjonalt gjennom Parisavtalen til å begrense klimagassutslipp som fører til global oppvarming. Norges siste innmeldte og forsterkede mål er å redusere nasjonale utslipp med minst 50 prosent og opp mot 55 prosent innen 2030 sammenlignet med 1990-nivå.

Ettersom jernbanesektoren slipper ut svært lite klimagasser totalt sett sammenlignet med resten av transportsektoren per i dag, er det viktig at tiltak som skal bidra til å kutte jernbanesektorens utslipp ikke flytter trafikk over til transportformer som gir høyere totalt utslipp. Aktuelle løsninger som skal redusere jernbanens eget utslipp bør bidra til reduserte klimagassutslipp i transportsektoren som helhet. For å fange opp dette er måleenheten satt til endring utslipp av CO₂-ekvivalenter fra transportsektoren som helhet.

Effektmål 3 (E3) - Mer effektiv bruk av samfunnets samlede energiresurser

For å bidra til reduksjon i jernbanens og samfunnets samlede behov for energi, er et effektmål at fremtidige energibærere skal bidra til mer effektiv bruk av samfunnets samlede energiresurser. «Well-to-wheel»-indikatoren vil derfor brukes som et effektmål for å måle den mest effektive bruken av samfunnets samlede energiresurser. Videre er det viktig at omstilling av jernbanen til lav- og nullutslippsløsninger ikke bruker en uforholdsmessig stor andel av knappe energikilder som kan være nødvendig for omstilling i andre sektorer.

Effektmål 4 (E4) – Ivareta togtilbudets attraktivitet

Løsninger som skal redusere jernbanens klimagassutslipp bør også opprettholde jernbanens attraktivitet, slik at jernbanen ikke taper markedsandeler til transportformer med høyere klimagassutslipp. Dette er viktig, ikke bare for reduserte klimagassutslipp, men også for å unngå økt trafikk og trengsel på veiene, arealforbruk og andre negative effekter.

For å definere et godt togtilbud, er det tatt utgangspunkt i kvaliteter som forventes å bli påvirket av endring i energibærere, og som vil innvirke på operatørenes mulighet til pålitelig å holde en rute som er attraktiv for kundene: Punktlighet, transportkapasitet per avgang, trafikkapasitet, togframføringstid og driftskostnader

Det er store sammenhenger mellom disse egenskapene ved togtilbudet. De påvirkes av et sett med egenskaper ved kjøretøyene, infrastrukturen og energibæreren. Følgende indikatorer er valgt som representative for disse egenskapene:

1. Togenes akselerasjonsevne som funksjon av kjøretøy og energitilgang.
2. Togenes trekraft, dvs. mulighet for fremføring uten pådragsrestriksjoner som følge av energiforsyning.
3. Toget aksellast kan realisere hastigheter iht. overbygningsklasse C.
4. Ulemper for togtilbudet som følge av lade-og-tankestopp, blant annet ladetider, kapasitetsrestriksjoner ved ladepunktet og bindinger i ruteplanlegging til ladestopp.
5. Konsekvenser for effektiv toglengde, blant annet lengdemeter i toget som går bort til energilager, og dermed ikke kan brukes til reisende eller gods

I praksis er det slik at egenskaper ved kjøretøyene kan benyttes til å realisere en kombinasjon av bedre punktlighet, kortere togframføringstid, trafikkapasitet og så videre, men at med en gitt infrastruktur og en gitt kjøretøyflåte, kan man ikke maksimere alle samtidig.

4.3 Rammebetingelser

4.3.1 Rammebetingelser med utgangspunkt i samfunns- og effektmålene

Ved valg av løsninger som skal bidra til klimagassreduksjoner på jernbanen må følgende ufravikelige krav knyttet til samfunns- og effektmålene oppfylles for at et konsept skal være gjennomførbart, og dermed valgbart:

1. Løsningen må ikke bidra til å øke de globale klimagassutslippene.

Effektmålene knytter seg mot Norges internasjonale forpliktelser til reduksjon av klimagasser. Det er likevel viktig at en løsning ikke blir suboptimalisert, slik at de reelle globale klimagassutslippene i praksis går opp.

Denne rammebetingelsen skal sikre at aktuelle løsninger faktisk er klimagassreducerende, sett i et globalt livssyklusperspektiv.

4.3.2 Andre rammebetingelser

Ved valg av løsninger som skal bidra til klimagassreduksjoner på jernbanen må følgende ufravikelige krav knyttet til forhold utenfor samfunns- og effektmålene oppfylles for at et konsept skal være gjennomførbart, og dermed valgbart:

2. Realiserbarhet i drift
3. Driftsstabilitet og regularitet
4. Teknologimodenhet
5. Interoperabilitet
6. Standardisering
7. Samfunnssikkerhet
8. Tilfredsstille lover, forskrifter og annet førende regelverk
9. Kompatibilitet med dagens teknologi

Dersom enkelte av løsningsalternativene ikke tilfredsstiller rammebetingelsene, må det tas stilling til om alternativet skal forkastes, eller om det eventuelt kan fungere i en kombinasjonsløsning eller for deler av jernbanesektoren.

4.4 Prioritering av resultatmål

Det er valgt én målprioritering for prosessen frem til og med forprosjektet og en annen for den videre detaljplanlegging. Når konseptet er endelig vedtatt vil ytelse og kostnad vektas høyere enn tid.

Målprioritering i forprosjekt for investeringsbeslutning:

1. Tid
2. Ytelse
3. Kostnad

Begrunnelsen for denne prioriteringen er at det haster å ta et valg av konsept, slik at aktørene snarest mulig kan innrette seg etter det valgte konseptet. Derneft er det viktig at konseptet gir god ytelse (uttrykt ved reduserte klimagassutslipp, energieffektivitet og attraktivitet). Kostnad synes å vekte mindre enn tid og ytelse i denne fasen, slik oppdraget og fokuset i NTP er tolket.

Målprioritering i detaljprosjektering/gjennomføring, for ferdigstilling av tiltak:

1. Ytelse
2. Kostnad
3. Tid

Når valgt konsept er vedtatt vil ytelse og kostnad vekte høyere enn tid, da det vil være viktig at det valgte konseptet baseres på modnet teknologi som gir mest mulig ytelse for pengene – og at aktørene får tid til å tilpasse seg det valgte konseptet. Tid er likevel ikke uvesentlig i denne fasen heller, da størst mulig klimaeffekt skal akkumuleres innen 2050.

4.5 Målkonflikter

En aktuell målkonflikt kan være at tiltak for å redusere klimagassutslipp går på bekostning av en attraktiv jernbane ved at betydelige ressurser benyttes på tiltak som ikke nødvendigvis gjør jernbanen mer attraktiv. I et helhetlig perspektiv vil likevel en tilnærmet klimanøytral jernbane være mer attraktiv over tid. Dette perspektivet vil likevel være viktig å balansere.

5 Mulighetsstudie

5.1 Tilnærming til undersøkelsen av mulighetsrommet

Det ble identifisert mange muligheter gjennom prosjektets aktiviteter for å åpne mulighetsrommet. Disse ble supplert og bearbeidet videre i prosjektet til 42 mulighetskort. Underveis i bearbeidingen ble mulighetene samlet i fire kategorier, som delvis overlapper med trinnene i 4-trinnsmetodikken. Det ble imidlertid lagt større vekt på å samle konsepter av lignende art, enn å rendyrke inndelingen i trinn:

1. Tiltak som kan redusere behovet
2. Tiltak som gir mer effektiv utnyttelse av eksisterende løsninger
3. Mindre eller større investeringer som ikke innebærer bytte av energibærer
4. Mindre eller større investeringer som innebærer bytte av energibærer

For å lukke mulighetsrommet ble det gjennomført en siling av de kartlagte mulighetene, der disse ble vurdert opp mot konseptvalgutredningens rammebetingelser, og silt i to steg: Først en grovsiling av mulighetene på bakgrunn av de identifiserte rammebetingelsene. Deretter ble det silt på bakgrunn av antatt effektmåloppnåelse, slik at åpenbart svakere konsepter kunne lukes ut.

I KVVU GREEN ble det identifisert svært mange muligheter, inkludert hybridløsninger. For å gjøre det mulig å synliggjøre effektene og å lage konseptuelt forskjellige alternativer har det vært prioritert å samle de identifiserte mulighetene i relativt rendyrkede konsepter, selv om man kunne tenkt seg utallige kombinasjoner. Eventuelle kombinasjoner av konsepter vil kunne vurderes i sluttfasen av utredningen.

5.2 Kartlagte muligheter og silingsoversikt

De kartlagte mulighetene, resultatene fra silingen og en kort begrunnelse presenteres i det følgende, iht. de fire typene tiltak som ble kartlagt i mulighetsstudien. Det henvises til vedlegg for mulighetsstudien og mulighetsrommet for nærmere beskrivelse av prosessen og de kartlagte mulighetene.

Tabell 6 Tiltak som kan redusere behovet

Tema	Muligheter	Siling og begrunnelse
Muligheter som reduserer behovet for persontransport (på jernbanen)	1. Innrette samfunnet slik at behovet for daglige reiser reduseres	Ja. Mulig, men vil ikke være tilstrekkelig for å nå klimamålene. Utenfor konseptvalgutredningens mandat.
	2. Redusere tilbudet på ikke-elektrifiserte persontrafikklinjer med lavt belegg	Nei. Innvirkning på klimagassutslipp avhenger i veldig stor grad av hvordan det gjøres og for hvilke strekninger. Dette krever omfattende analyser å avklare. Da dette tiltak også er i direkte motstrid med effektmål 4, konkluderes det med at tiltaket ikke videreføres.
Muligheter som reduserer behovet for godstransport (på jernbanen)	3. Økt lokal produksjon	Ja. Mulig, men vil ikke være tilstrekkelig for å nå klimamålene. Utenfor konseptvalgutredningens mandat.
	4. Overføre godstransporten til vei	Nei. På kort og mellomlang sikt vil utslipp fra tungtransport på vei være større enn fra jernbanen (selv om den går på fossil diesel), og muligheten tilfredsstiller ikke krav til klimaeffekt. Overføring til lastebil er urealistisk for malm som følge av høy vekt, og det mangler veikapasitet for overføring av tømmertransporten. Alternativet bryter med overføringsmålet i NTP 2022-2033, der regjeringen har som ambisjon å overføre 30 prosent av gods over 300 km fra vei til sjø og bane innen 2030.
Muligheter som reduserer behovet for drift og vedlikehold på jernbanen	5. Ingen videre utbygging eller større oppgradering av jernbanen	Nei. Dersom jernbanen ikke oppgraderes i tråd med brukernes forventninger, vil det bli et stadig mindre attraktivt som transportmiddel, og transporten vil overføres til andre transportmidler. På sikt vil manglende utbygging og oppgraderinger gi negative konsekvenser for driftsstabilitet og regularitet, med svekket realiserbarhet i drift som konsekvens. Jernbanen vil overtiden slite med å tilfredsstille nyere krav til sikkerhet.

Tabell 7 Tiltak som gir mer effektiv utnyttelse av eksisterende løsninger

Tema	Muligheter	Siling og begrunnelse
Smartere togframføring og logistikk-løsninger	6. Økt automatisering av togtrafikken	Ja. Utreddes i KVV for bedre utnyttelse av ERTMS gjennom økt automatisering (ATO).
	7. Optimalisering av kjøremønster/-adferd per linje	
	8. Driver Advisory System	
	9. Effektivisering av vekt og aerodynamikk	Ja. Effekten av dette for klimagassutslipp forventes å være positiv, men ikke veldig stor.
	10. Redusere tomgangskjøring	
	11. Plassering av hensettingsanlegg slik at tomtogkjøring reduseres	Ja. Potensialet for å optimalisere plassering av hensettingsanlegg på ikke-elektrifiserte strekninger er lite.
Smartere og mer energieffektivt vedlikehold	12. Smart vedlikehold av infrastrukturen	Ja. Bane NOR jobber allerede med gjennomføring.
	13. Deling/samarbeid om arbeidsmaskinflåte med Sverige	Nei. Muligheten gir ikke merkbare reduksjoner i klimagassutslipp. Om det er ønskelig av andre hensyn henvises til de ansvarlige aktører.
	14. Mer energieffektiv forflytning av arbeidsmaskiner	Nei. Det antas at det vil være tungvint å realisere dette i større grad enn i dag. Vurdering av mulighetene for dette er interne hensyn i Bane NOR som kan avklares i forbindelse med den operative driften.
Endre prioritering mellom togkategoriene	15. Permanent buss for tog for å prioritere godstrafikken i stedet	Nei. Det kan oppstå kapasitetsproblemer som gjør tiltaket dyrt å realisere i praksis (trinn 3 eller 4). Supplert med eventuelle kapasitetsøkende tiltak kan dette allikevel være mulig å gjennomføre.

Tabell 8 Mindre eller større investeringer som ikke innebærer bytte av energibærere

Tema	Muligheter	Siling og begrunnelse
Overgang til mer energieffektiv teknologi	16. Overgang til mer energieffektive metoder og maskiner for vedlikehold	Ja. God ide, men ikke ett overordnet konseptvalg som kan vurderes her. Hva som er en hensiktsmessig utforming av arbeidsmaskinflåten, kan påvirkes av hvilken energibærer som brukes.
	17. Strategisk utvikling av arbeidsmaskinflåten med hensyn til energibruk	Ja. God ide, men ikke ett overordnet konseptvalg som kan vurderes her. Hva som er hensiktsmessig balanse, kan påvirkes av hvilken energibærer som brukes.
	18. Forbedre traksjonssystem og energieffektivitet	Ja. God idé uavhengig av energibærere. Tiltak må tilpasses slik at krav til interoperabilitet ivaretas.
	19. Redusere vekten på kjøretøy	Ja. Effekten av dette for klimagassutslipp forventes å være positiv, men ikke veldig stor.
	20. Multipurpose kjøretøy	Nei. Muligheten gir ikke merkbare reduksjoner i klimagassutslipp. Om det er ønskelig av andre hensyn henvises til de ansvarlige aktører.
Optimalisert trafikkflyt og kryssingsmønster	21. Optimalisering av rutemodellen for energieffektivitet	Ja. Klimaeffekten vil avhenge av hvordan dette gjennomføres, men forventes å være positiv. Mange andre gode gevinster. Optimaliseringen for energiforbruk må innrettes slik at det ikke skaper unødige driftsulemper.
	22. Lengre kryssingsspor for å få lengre og mer effektive godstog	Ja. Klimaeffekten vil avhenge av hvordan dette gjennomføres, men forventes å være positiv. Flere andre gevinster. Kan være kostbart å gjennomføre.
Andre muligheter	23. Leasing av nyere dieselskjøretøy i en overgangsfase	Nei. Det finnes ikke en pool av tilgjengelige kjøretøy som kan leases for godstog. Undersøkelser har tidligere bekreftet at nyere dieselskjøretøy for persontrafikk heller ikke er tilgjengelige. Nye dieselskjøretøy kun for bruk i en overgangsperiode vil ikke være klimavennlig eller økonomisk attraktivt

Tema	Muligheter	Siling og begrunnelse
	24. Bygge om/bytte ut motoren i eksisterende dieselskjøretøy	Ja. Tjenesten tilbys allerede i markedet.
	25. Karbonfangst av utslipp fra kjøretøy på jernbanen	Nei. Denne teknologien har stort potensiale, men som følge av at den ikke er under utvikling for jernbanen vurderes det at den teknologiske modenheten er for lav. Det anbefales at utvikling av denne teknologien overvåkes.
	26. Karbonfangst fra luft med tog i bevegelse	Nei. Dette er svært umoden teknologi, og ikke et tiltak som egentlig omhandler utslipp fra jernbanen.

Tabell 9 Mindre eller større investeringer som innebærer bytte av energibærer

Tema	Muligheter	Siling og begrunnelse
Elektriske løsninger – Elektrifisering	27. Helelektrifisering med standard kontaktledning	Ja. Krevende å realisere til 2030, men mulig med sterk politisk vilje og handlingskraft.
	28. Elektrifisering uten elektrifisering av tunellene	Ja. Krevende å realisere til 2030, men mulig med sterk politisk vilje og handlingskraft.
Elektriske løsninger – batteribaserte løsninger	29. Helbatteri med ladepunkt i enden av banestrekningen	Ja. Hvorvidt batteriene har lang nok rekkevidde avhenger av hvilken bane, transporttype og tidsperspektiv som vurderes. Tilgjengelig energi i toget avhenger av batterikapasiteten, og hvor mange og store batterier det er på toget
	30. Helbatteri med lading underveis fra ladepunkt eller batteribytte	Ja. Får driftsmessige konsekvenser for togtrafikken, men forventes å være realiserbart i drift, teknisk sett. Ulemper for tunge tog må vurderes nærmere. Stopptiden ved kryssing kan utnyttes til lading.
Drivstoffbaserte løsninger – hydrogen og lignende	31. Hydrogentog med brenselcelle	Ja. Tilgjengelig for persontog. Det er imidlertid utfordringer med tilstrekkelige energimengder for godstog på bl.a. Nordlandsbanen. Sikkerhet i tunneler må avklares nærmere (rammebetingelse 8).
	32. Hydrogentog med forbrenningsmotor	Nei. Forbrenningsmotor for hydrogen gjør det jevnt over dårligere/mye dårligere enn brenselcelle og andre gassmotorer, med hensyn til bl.a. energieffektivitet og vedlikeholdskostnader. Dette bidrar til at det ikke jobbes med å utvikle løsninger for jernbane med forbrenningsmotorer for hydrogen. Det kan likevel tenkes at enkelte arbeidsmaskiner i fremtiden kan benytte flere drivstoff, inkludert hydrogen.
Drivstoffbaserte løsninger – diesel fra ikke-fossile kilder	33. Biodiesel	Ja. Tilfredsstillelse av rammebetingelsen for klimagassutslipp avhenger av hvordan utslippene regnes og hvilken iblandingsgrad som forutsettes.
Drivstoffbaserte løsninger – biogass og bioalkohol	34. Biogass	Nei. Det mangler interesse for biogass på jernbanen i Europa. Ettersom det satses lite på biogass kan Norge potensielt bli eneste bruker i Europa. Muligheten tilfredsstiller derfor ikke kravet til mulighet for standardisering.
	35. Bioalkohol	Nei. Denne typen forbrenningsmotor er ikke egnet for så tunge applikasjoner, og det kan ikke forventes at noen vil investere i å utvikle teknologien for jernbane.
Hybrider batteri-kontaktledning	36. Delelektrifisering med batteri	Ja. Løsningen er moden for persontog, men ikke like moden for gods.
Hybrider kontaktledning-drivstoff	37. Delelektrifisering med biodiesel	Ja. Se Biodiesel.
	38. Delelektrifisering med hydrogen	Ja. Se Hydrogen med brenselcelle.
Hybrider batteri-drivstoff	39. Hybrid batteri-biodiesel	Ja. Mulig, men egenskapene tilsier at løsningen primært er aktuell for å komplettere andre løsninger.
Tribriider kontakt-ledning-batteri-drivstoff	40. Tribriid kontakt-ledning-batteri-biodiesel	Ja. Det er en utfordring med at det blir veldig mange energibærere som skal utnyttes, og det kan være krevende å få plass nok til teknologien og nok effekt ut av hver energibærer.
Annet	41. Flerdrivstoffmotor	Nei. Teknologimodenhet må avklares nærmere.

Tema	Muligheter	Siling og begrunnelse
	42. Kjernekraftdrevne tog	Nei. Denne løsningen forutsetter en internasjonal standardisering og sertifisering for å ivareta sikkerheten. Teknologisk sett forventes ikke løsningen å være moden i 2030 eller 2050.

5.3 Drøfting av silingsresultatene

Det er identifisert en rekke muligheter for å gjøre ting på en smartere måte i jernbanesektoren. Disse mulighetene gir ikke god nok måloppnåelse alene, med hensyn til klimagassreduksjoner, og utgjør derfor ikke et eget alternativ. Mange av disse er imidlertid veldig gode ideer, og de har til felles at de søker å øke energieffektiviteten på jernbanen gjennom ulike typer tiltak og virkemidler.

Ulike aktører i sektoren har handlingsrom til å implementere disse innenfor sin virksomhet i dag, og det er rimelig å forutsette at den aktuelle aktøren vet best akkurat hvordan det bør gjøres. Disse optimaliseringstiltakene innebærer i liten grad reelle konseptvalg, men heller innspill til måter å jobbe med kontinuerlig forbedring av dagens virksomhet. Flere er allerede tatt i bruk av de aktuelle aktørene. Disse tiltakene videreføres derfor til anbefalte tiltak, uavhengig av anbefalt konsept i KVV GREEN:

Optimalisering med automatisering og lignende → Anbefalt fulgt opp videre i KVV ATO

- Optimalisering av kjøremønster/-adferd per linje.
- Driver Advisory System (DAS/C-DAS).
- Økt automatisering av togtrafikken (ATO).

Optimalisering av energiforbruk → Anbefalt fulgt opp videre av den enkelte berørte virksomhet

- Effektivisering av vekt og aerodynamikk.
- Redusere tomgangskjøring.
- Smart vedlikehold av infrastrukturen.
- Overgang til mer energieffektive metoder og maskiner for vedlikehold.
- Strategisk utvikling av arbeidsmaskinflåten med hensyn til energibruk.
- Forbedre traksjonssystem og energieffektivitet.
- Redusere vekten på kjøretøy.
- Plassering av hensettingsanlegg slik at tomtogkjøring reduseres.

Optimalisering med investering/kostnad → Tas med videre som aktuelt tiltak i alle konsepter

- Bygge om/bytte ut motoren i eksisterende dieselskjøretøy.

På bakgrunn av silingen av konsepter, og videre arbeid med å forenkle og spisse disse inn mot de aller mest aktuelle framtidige løsningene, ble følgende konseptuelle alternativer tatt med videre til alternativanalysen:

- 0 – Fossil diesel (referansekonseptet)
- 1 – Ikke-fossil diesel (uten og med delelektrifiserte strekninger – variant a og b)
- 2 – Hydrogen (uten og med delelektrifiserte strekninger – variant a og b)
- 3 – Batteri (med delelektrifiserte strekninger)
- 4 – Elektrifisering

For batterikonseptet er det for Rørosbanen og Nordlandsbanen nødvendig å delelektrifisere strekninger for å gi nødvendig lading til batteriene underveis. I hydrogenkonseptet er det valgt å ta med en delelektrifisert variant for å avdekke om elektrifisering av bratte, men ukompliserte, strekninger kan gi høyere lønnsomhet enn et rent hydrogenalternativ. Det samme gjelder for konsept 1 Ikke-fossil diesel. Alternativene er beskrevet mer utførlig i neste kapittel.

6 Alternativanalyse

6.1 Metodebeskrivelse

For persontogslinjene analysert i dette arbeid har Jernbanedirektoratet utarbeidet «mal-tog». Dette er tog som er representative for den trafikken som kjøres, og hvor disse er lenket til forskjellige toglinjer. I beregningen av investeringskostnader for kjøretøy er det for persontogene brukt samme investeringskostnad for regiontog som for regiontog i distrikt. Dette skyldes manglende prisobservasjoner for korte regiontog i distrikt, og hvor det også er uklart hvor stor prisforskjellen vil være mot regiontog. Hensikten med dette grepet er å gjøre alternativene sammenlignbare, selv om denne tilpasningen ikke vil representere virkeligheten fullt ut. Samtidig er det i energisimuleringene simulert med regiontog i distrikt for de linjer som har slike mal-tog. Det betyr at det er et avvik mellom energisimuleringer og kostnadsberegninger for de toglinjer som bruker regiontog i distrikt, men dette grepet anses ikke å påvirke sammenligningen mellom alternativene negativt.

Det henvises til vedlegg 6 Alternativanalysen for nærmere beskrivelse av alternativene som er utredet. Videre henvises det til vedlegg om underlag for grunnkalkyle (vedlegg 6.4), infrastrukturforutsetninger (vedlegg 6.5) og arealbeslag og kostnader for hydrogendepoter (vedlegg 6.6) for nærmere beskrivelse av kostnader og infrastrukturforutsetninger.

6.1.1 Evalueringskriterier

Samfunnsøkonomi

Den samfunnsøkonomiske lønnsomhetsanalysen viser konseptenes økonomiske måloppnåelse, representert gjennom blant annet investeringskostnader, driftskostnader, samt samfunnsøkonomiske gevinster og ringvirkninger – alt i et livssyklusperspektiv.

Det er viktig å være klar over at den samfunnsøkonomiske analysen også beregner økonomisk effekt avledet av forhold som også inngår i effektmålene, eksempelvis:

- Klimagassutslipp, gjennom beregnede kvotepriser for utslipp
- Energieffektivitet, gjennom effektiv ivaretagelse av energikilden fra opprinnelse til forbruk
- Attraktivitet, gjennom beregnet gevinst av bedret framføringstid

Estimerte effekter av andre ikke-prissatte virkninger er synliggjort som del av den samfunnsøkonomiske analysen.

Som følge av at fremtiden er usikker, ikke minst for utvikling av umoden teknologi og fremtidige forventede energipriser, er det gjennomført følsomhetsanalyser. Disse vil kunne påvirke beslutningsvalget, da følsomhetsanalysene vil kunne avdekke robustheten i det forskjellige alternativene for at fremtiden kan endre seg.

Effektmåloppnåelse

I tabellene for effektmåloppnåelse for de ulike konseptene benyttes det både fargekoder og +/- for å forenkle lesbarheten av vurderingene. Gult/0 betyr likt som i referanse, mørkere grønn og flere + betyr økende grad av bedre måloppnåelse enn referansealternativet og mørkere oransje/rød – betyr lavere grad av måloppnåelse enn referansealternativet + eller – i parentes indikerer en halv skår av + eller – uten parentes.

Helhetlige betraktninger

Helhetlige betraktninger vil også kunne gjøre seg gjeldende i beslutningsvalget, da valg av konsept vil kunne påvirke, eller påvirkes av, andre investeringer og beslutninger, standardiseringsbehov, eksisterende kjøretøy og infrastruktur, kompleksitet i hele jernbanenettet og lignende.

6.1.2 Analysemodell

Alternativanalysen tar for seg de konseptene og alternative varianter som er identifisert i mulighetsstudien. I tillegg er dagens løsning med som et referansealternativ. De forskjellige alternativene vil drøftes i hvert sitt

delkapittel. Hver av disse er detaljert så langt det er ansett nødvendig for å kunne ta stilling til forventet effektmåloppnåelse og for å gjennomføre en samfunnsøkonomisk analyse. Underveis vil også de gjenværende alternativene kunne testes mot realisme, økonomi og muligheter for effektmåloppnåelse – for eventuelt å sile ut åpenbart urealistiske konsepter.

Som del av alternativanalysen er det også gjennomført følgende delanalyser:

- Energisimuleringer per bane og alternativ (se neste avsnitt)
- Usikkerhetsanalyse for investeringer, drift og vedlikeholdskostnader
- Energikostnader og virkningsgrader
- Samfunnsøkonomiske analyser, herunder:
 - Nytte-kostnadsanalyse
 - Analyse av ikke-prissatte virkninger

6.1.3 Simuleringer

I alternativanalysen har det blitt gjennomført simuleringer for å beregne og kvantifisere energiforbruk og utslipp for konseptene. Dette arbeid er dokumentert i delrapport Energisimulering KVV GREEN. Hensikten med simuleringene er følgende:

- Grunnlag for driftskostnader for hvert konsept
- Grunnlag for utslipp CO₂ fra drift for hvert konsept
- Utvikle et realistisk og robust forslag til del-elektrifisering
- Foreslå hensiktsmessige størrelser på batterier og hydrogentanker
- Foreslå hydrogenbehov for hver simulert jernbanestrekning
- Analyse av enkelte parametervariasjoner
- Grunnlag for estimering av kjøretidsgevinst

Simuleringsverktøyet D3S utviklet av WSP er benyttet som verktøy for simuleringene. Arbeidsprosessen for simuleringer har vært følgende:

1. Få på plass infrastrukturdata og kjøretøydata for simuleringene, inkl. å forberede resultatene fra energimålinger som er blitt foretatt av CargoNet.
2. Validere modellen mot energimålinger, som gjøres gjennom å gjenskape de forutsetningene som var aktuelle ved energimålingen, og sammenlikne målt energiforbruk med simuleringsresultatene.
3. Parallelt med valideringen ble det gjennomført en nøyaktighetsanalyse koblet til steglengde i simuleringsverktøyet. Dette var for å identifisere en steglengde som ga tilstrekkelig nøyaktighet i resultatene.
4. Når valideringen var gjennomført, konkluderte prosjektet med nøyaktigheten var tilstrekkelige, og neste steg var å definere de simuleringene som skulle gjennomføres til bruk for å svare ut punktene i ovenfor.
5. Usikkerheter knyttet til simuleringene er håndtert gjennom å gjøre et antall parametervariasjoner og analysere de resultatene.
6. For å kvalitetssikre simuleringsresultatene er det gjort uavhengige simuleringer av SINTEF med bruk av simuleringsverktøyet RaJA.

Resultatene fra simuleringene og inngående detaljer er presentert i delrapport Energisimulering KVV GREEN, og et utvalg av disse er brukt i denne rapport.

6.2 Beskrivelse av togtilbudet i referansealternativet

Togtilbudet på de fire ikke-elektrifiserte banestrekningene beskrives nærmere i det følgende.

Tabell 10 Beskrivelse av togtilbudet på Nordlandsbanen

Linje	Beskrivelse	Frekvens (per retning og døgn)	Kjøretøytype
F7	Fjerntog Bodø-Trondheim	2 avg. Bodø-Trondheim 2 avg. Bodø-Mosjøen 1 avg. Mo i Rana-Trondheim	Fjerntog Bodø-Trondheim Regiontog i distrikt Bodø-Mosjøen
R75	Regiontog Bodø-Rognan	7 avganger	Regiontog i distrikt
R70	Regiontog Steinkjer-Lundamo/Melhus	21 avganger	Regiontog
GK25a	Kombitog Bodø-Brattøra	4 avganger	Godslokomotiv
GSM25	Malmtog Ørtfjell-Mo i Rana	6 avganger	Godslokomotiv
GST18x	Tømmertog Skogn-Sørli/Hove/Koppang	Ca. 3 per uke	Godslokomotiv

Tabell 11 Beskrivelse av togtilbudet på Røros- og Solørbanen

Linje	Beskrivelse	Frekvens (per retning og døgn)	Kjøretøytype
RD60	Regiontog Trondheim-Hamar (via Røros)	2 avg. Hamar-Trondheim 4 avg. Hamar-Røros 1 avg. Røros-Trondheim	Regiontog i distrikt
GST13x	Tømmertog Koppang/Hovdmoen-Elverum/Braskereidfoss/Kongsvinger	Ca. 6 avganger	Godslokomotiv

Tabell 12 Beskrivelse av togtilbudet på Raumabanen

Linje	Beskrivelse	Frekvens (per retning og døgn)	Kjøretøytype
RD65	Regiontog Åndalsnes-Dombås	4 avganger	Regiontog i distrikt
GK23	Kombigods Åndalsnes-Alnabru	1 avgang	Godslokomotiv



Figur 9: De ikke-elektrifiserte banestrekningene med togtilbud (transporttype)

6.3 Konsept 0 Fossil diesel

Dette er referansealternativet/null-alternativet. Fossil diesel er energikilden for kjøretøy på ikke-elektrifiserte strekninger og andre jernbanekjøretøy som ikke kan benytte elektrisk drivkraft. Sistnevnte gjelder blant annet skiftelokomotiv på noen godsterminaler og arbeidsmaskiner.

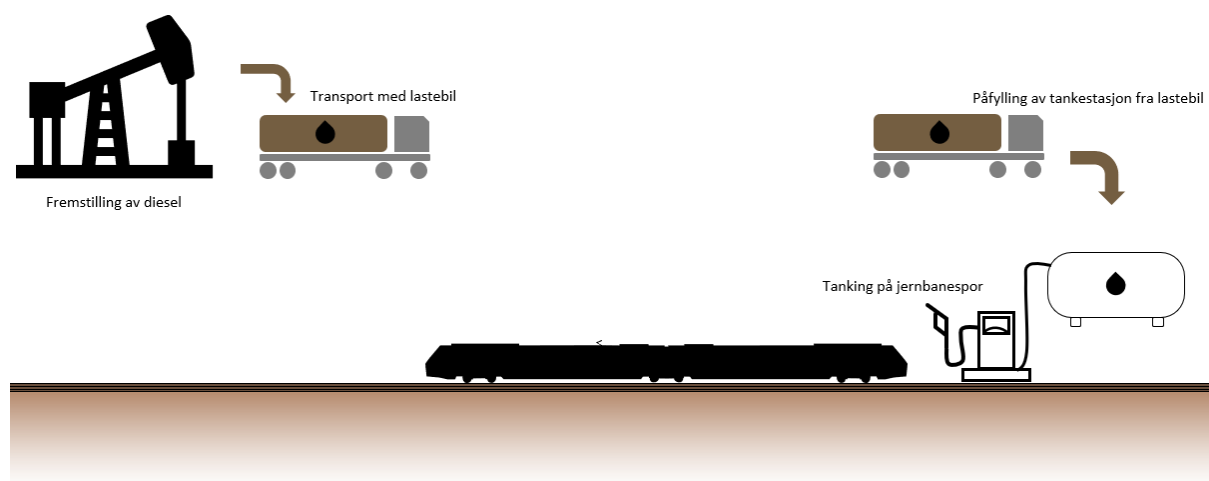
Forbrenningsmotorer som benytter fossil diesel som energikilde, produserer utslipp av luftforurensing og partikler i det ytre miljø. Luftforurensingen fra dieseldrift består blant annet av nitrogenoksider, partikler, sot og hydrokarboner. Dette anses som uheldig i et nullutslippssamfunn, både for klima, miljø og menneskene som oppholder seg i nærhet til kjøretøy og maskiner med forbrenningsmotorer.

0 Fossil diesel



6.3.1 Beskrivelse av energibærer

Dieseldrift har blitt benyttet på jernbanen i om lag 100 år og er forutsigbart, da diesel er lett tilgjengelig og rekkevidden til dieseldrevne kjøretøy er stor. Dieselskjøretøy har lavere effekt enn elektriske kjøretøy, og dermed lavere trekkraft basert på lokomotivets effekt, topphastighet og akselerasjonsevne. Dieseldrevne kjøretøy har også et høyere energiforbruk og vedlikeholdsbehov enn elektriske kjøretøy.



Figur 10 Illustrasjon av konsept 0 Fossil diesel (dagens referanseløsning)

6.3.2 Innblanding av biodrivstoff i fossil diesel

Fra 1. januar 2023 er det krav om at flytende drivstoff til ikke-veigående maskiner (inkl. jernbanekjøretøy) skal inneholde minst 10 % avansert biodrivstoff. Dette refereres til som omsetningskravet, som forvaltes av Miljødirektoratet. Det er den som omsetter drivstoffet som står til ansvar for å oppfylle kravene.

Avansert biodrivstoff skiller seg fra konvensjonelt biodrivstoff ved at det produseres av rester og avfall fra næringsmiddelindustrien, landbruk eller skogbruk, og dermed ikke har sitt opphav i råstoff som ellers kan brukes til mat eller fôr.

Avansert biodrivstoff kalles også HVO, se tabell i kapittel 4.6 (hydrogenbehandlet vegetabilsk olje), eller 2. generasjons biodiesel. Det har mye lavere lokale utslipp enn fossil diesel, og gir derfor betydelig bedre luftkvalitet ved eksempelvis arbeid i tunnel.

6.3.3 Infrastruktur

Ifølge Network Statement 2023 (Bane NOR) finnes følgende påfyllingsanlegg for drivstoff til tog: Alnabru, Røros, Åndalsnes, Hamar, Støren, Marienborg, Steinkjer, Mo i Rana og Bodø.

Selskapet Togdiesel AS eid av Bane NOR er hovedleverandøren av diesel til jernbanetransport. De drifter anleggene som er nevnt over. I tillegg er det mulig å få levert diesel andre steder ved hjelp av tankbil.

Påfyllingsanleggene for diesel ligger på endestasjoner eller større stasjoner langs de ikke-elektrifiserte strekningene. De er tilgjengelige med egne spor inne på stasjonsområdet.



Figur 11: Fyllestasjon for diesel. Bildet til venstre er fra Røros hensettingsanlegg (svingskiven i bakgrunnen), mens bildet til høyre viser dispenser ved Støren påfyllingsanlegg (begge foto fra Network statement)

6.3.4 Kjøretøyflåten

Det er forutsatt samme type kjøretøyflåte i alle konsepter, men med ulike energibærere:

- Regiontog, ca. 110 m lange motorvognsett. Omfatter også regiontog i distrikt, som sannsynligvis vil være kortere enn regiontog til bruk i byområdene.
- Fjerntog, 220 meter lange motorvognsett.
- Godslokomotiv, 6-akslet.

Det er forutsatt overgang til bimodale kjøretøy (diesel-kontaktledning) i referansealternativet. Bimodale og hybride kjøretøy er i utgangspunktet synonyme begreper, men i jernbanesammenheng forbindes oftest bimodale kjøretøy med kjøretøy som har en kombinasjon av diesel og kontaktledning som energibærere. Ved bruk av andre kombinasjoner enn diesel-kontaktledning benytter vi i denne utredningen derfor begrepet hybride kjøretøy.

Det er en forskjell på ordinære regiontog og regiontog i distrikt. I alternativanalysen er det likevel gjort en forenkling, da referansealternativet i praksis angir samme kjøretøytype i kostnadsbildet for begge togtilbudene. I energisimuleringene er det imidlertid skilt mellom regiontog og regiontog i distrikt. At dette er behandlet litt ulikt i simuleringer og alternativanalyse er ikke vurdert å ha vesentlig innvirkning på resultatene.

Tabell 13 Type og antall kjøretøy som forutsettes i Alternativ 0 Fossil diesel

Kjøretøytype	Nordlandsbanen	Raumabanen	Røros- og Solørbanen	Samlet
Regiontog diesel	18	3	8	29
Fjerntog diesel	4	0	0	4
Godstog diesel	12	2	14	28

6.3.5 Tekniske løsninger og teknologisk modenhet

Det er ikke behov for investeringer i infrastruktur i referansealternativet. Eventuelle avvik av HMS-messig art og lignende forutsettes lukket innen investeringstidspunktet for alternative energibærere. Fossil diesel har vært i bruk på jernbanen siden 1920-tallet og er forventet faset ut i forbindelse med overgang til

nullutslippssamfunnet. Gjennom markedsundersøkelsen er det avdekket at dieseldrevne kjøretøy ikke vil være del av kjøretøyproducentenes fremtidige kjøretøyflåte på lengre sikt.

Dieseldrevne kjøretøy kan gi negative opplevelser for passasjerene og de ansatte på toget som følge av at dieselmotoren gir mer støy og ubehagelig lukt enn elektrisk drift.

Dieseldrevne arbeidsmaskiner gir dårlig luftkvalitet, spesielt ved arbeid i tunnel. Når det arbeides i tunnel, stilles det krav til utluftning når luftkvaliteten har blitt for dårlig. Drivstoff med lavere lokale utslipp vil derfor også effektivisere arbeid i tunnel, da mindre tid vil måtte gå med til utluftning.

6.3.6 Kostnader

Referansealternativet (nullalternativet) innebærer ingen investeringer i infrastruktur. Eventuelle avvik i dagens situasjon forutsettes lukket innen investeringstidspunktet. Kjøretøykostnadene beregnes med en årlig avskrivningskostnad, basert på anskaffelseskostnad og levetid, i modellen for samfunnsøkonomiske analyser.

Vedlikeholdskostnadene for nullalternativet settes som basis og defineres derfor til null. Øvrige alternativer vil dermed referere sine vedlikeholdskostnader i forhold til dette nullalternativet.

Fra 1. januar 2023 ble det innført omsetningskrav for biodrivstoff i anleggsgas og fyringsolje. Stortinget har vedtatt at omsetningspåbudet skal være på 10 % avansert biodrivstoff. Dette er biodrivstoff fremstilt av rester og avfall. Omsetningspåbudet innebærer at det vil blandes inn 10 % biodrivstoff i anleggsgas og fyringsolje i snitt over året. Hvor mye biodrivstoff som vil bli blandet inn til enhver tid vil variere med sesong og sted i landet.

Drivstoffleverandør blander inn HVO (Hydrogenert Vegetabilsk Olje) i anleggsgas og fyringsolje for å løse omsetningspåbudet. HVO har tilnærmet identiske egenskaper som fossil diesel, og innblandingen vil derfor ikke påvirke kvaliteten på de produktene som blir levert.

Det vil fortsatt være CO₂-avgift på både anleggsgas og fyringsolje, men det svares ikke CO₂-avgift av biodrivstoff. Ettersom bioandelen gjennom året i snitt vil være på 10 %, vil CO₂-avgiften på anleggsgas og fyringsolje måtte dekke opp for en fossilandel på 90 %.

CO₂-avgiften på disse produktene er fra 1. januar 2023 derfor justert til å utgjøre 90 % av full avgift. Full avgift i 2023 var forslått å skulle være 2,53 kr/l. Dermed er 90 % av full avgift i dag 2,28 kr/l.

Når det gjelder kostnaden for biodrivstoff for å dekke omsetningspåbudet på 10 %, vil prisen på anleggsgas og fyringsolje ilegges et biotillegg på 0,12 USD/liter fra 2023. Biotillegget omregnet i norske kroner vil justeres månedlig basert på utvikling i dollarkursen.

6.3.7 Oppnåelse av effektmål

1. Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030):

Det forutsettes utslipp i 2030 som vedtatt i henhold til innblandingskrav for biodiesel i 2023.

Utslipet er beregnet til 70 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år, basert på togtilbudet i referansealternativet (herunder ca. 40 % økning i godstrafikken) og definert kjøremønster i utredningens energisimuleringer.

2. Langsiktige utslipp (innen ca. 2050):

Nullalternativet forutsetter ingen endring, og gir dermed likt utslipp i 2050 som i 2023 og i 2030. Utslipet er beregnet til 70 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år, basert på togtilbudet i referansealternativet og definert kjøremønster i utredningens energisimuleringer.

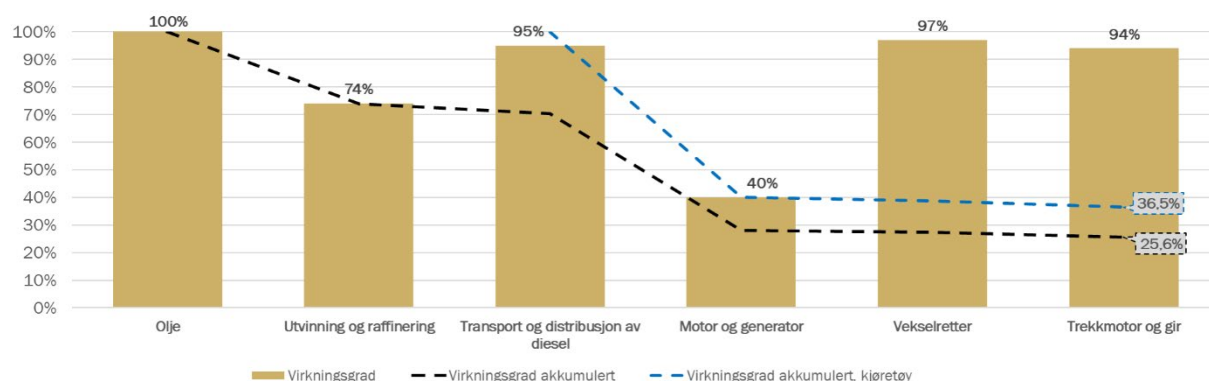
3. Energieffektivitet

Energieffektiviteten for diesel «tank-to-wheel» er beregnet til 36,5 % (se vedlagt energiberegningsrapport). Dette er lavt sammenlignet med elektriske togsett. Lav energieffektivitet skyldes primært konverteringen fra lagret kjemisk energi i diesel til mekanisk energi som driver togets aksler, som utvikler mye spillvarme.

Ifølge en rapport fra Oljedirektoratet er det anslått at det går med omtrent 3,5 kWh energi for å produsere en liter diesel fra råolje [7]. Dette tallet inkluderer utvinning fra oljebrønn på norsk sokkel i Nordsjøen og

raffinering. Energidensiteten til diesel er 10,08 kWh per liter. Det gir dermed en virkningsgrad på 74 % fra oljeutvinning til ferdig raffinert diesel, se stolpe 2 i figuren nedenfor.

Energieffektiviteten til diesel fra «well-to-wheel» vil variere stort i forhold til hvordan råoljen utvinnes, i dette eksempelet er virkningsgraden for fossil diesel (hele kjeden fra "well-to-wheel"). WTW = 25.6 %. På de ikke-elektrifiserte banene som omfattes i utredningen er det, i energiberegningene med forutsatt trafikk, beregnet et dieselforbruk på ca. 20 millioner liter, som tilsvarer en energimengde på omtrent 202 GWh.



Figur 12: Virkningsgrad fossil diesel (hele kjeden fra "well-to-wheel"). Figuren illustrerer hvordan virkningsgraden for hvert trinn i kjeden (fra venstre til høyre) påvirker virkningsgrad ved effektuttak

Det norske markedet for petroleumsprodukter er på nesten ni milliarder liter [8]. Energiforbruket, på de ikke elektrifiserte strekningene med forutsatt trafikk, er beregnet til omtrent 200 GWh. Dette tilsvarer et dieselforbruk på omtrent 20 millioner liter, som er 0,2 % av det norske markedet for fossilt drivstoff.

5. Togtilbudets attraktivitet

Referansealternativet forutsetter bimodale kjøretøy (diesel-kontaktledning) som bruker diesel på de ikke-elektrifiserte strekningene. Disse tekniske egenskapene blir sammenlignet med øvrige konsepter.

Oppsummering av alternativets effektmåloppnåelse

Tabellen nedenfor oppsummerer effektmåloppnåelsen i konsept 0 – fossil diesel, med relativ skår i forhold til 0-alternativet (fossil diesel).

Tabell 14 Effektmåloppnåelse konsept 0 – fossil diesel

	Effektmål	Vurderingsmetode	Måleenhet	Verdi (avrundet)	Relativ skår
1	Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt 2023-2029	70 000	0
2	Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt 2030-2049	70 000	0
3	Energieffektivitet	Energieffektivitet WTW	Prosentvurdering	26 %	0
		Forbruk av knappe ressurser	Kvalitativ vurdering	0,2 % av Norges marked for fossilt drivstoff	0
4	Attraktivitet	Akselerasjonsevne	Kvalitativ vurdering	Referanse	0
		Trekraft	Kvalitativ vurdering	Referanse	0
		Lade-og-tankestopp	Kvalitativ vurdering	Referanse	0
		Effektiv toglengthe	Kvalitativ vurdering	Referanse	0
		Aksellast	Kvalitativ vurdering	Referanse	0

6.3.8 Tilfredsstillelse av rammebetingelser

En videreføring av dagens konsept bidrar ikke til reduserte utslipp av klimagasser i transpostsektoren innen 2030. Dagens løsning bidrar heller ikke til å redusere de globale klimagassutslippene.

Løsningen må ha et driftskonsept som muliggjør effektiv drift under forventede fremtidige myndighetskrav. Det er økende grad av bekymring om dagens løsning vil kunne opprettholdes ettersom krav til ytre miljø, klima og arbeidsmiljø forventes å bli strengere i årene som kommer, og kjøretøyleverandørene vil på lengre sikt fase ut kompetanse og kjøretøy som støtter dieseldrevne maskiner.

På kort sikt vil driftsstabilitet og regularitet kunne opprettholdes på dagens nivå, men på lengre sikt vil en aldrende kjøretøypark resultere i større avvik enn i dag. På lang sikt vil det også kunne bli utfordrende å reanskaffe kjøretøy og reservedeler.

Dieselløsninger er moden teknologi, men må utvikles videre for å tilfredsstille stadig strengere standarder og krav til utslipp og arbeidsmiljø.

I dag brukes både dieselskjøretøy og bimodale kjøretøy (diesel-kontaktledning) på de ikke-elektrifiserte banene. Ved bruk av rene diesellokomotiver i dag må godsoperatørene bytte lokomotiv for en del linjer, bl.a. bytter tømmerogene til Sverige lokomotiv i Kongsvinger og kombitogene til Åndalsnes bytter lokomotiv på Dombås. Referansealternativet forutsetter imidlertid overgang til bimodale kjøretøy (diesel-kontaktledning), som vil ivareta en høyere grad av interoperabilitet enn i dagens situasjon.

Arbeidsmiljøet i tunneler, på verksteder og på stasjoner under bakken er utfordrende knyttet til eksos fra dieselmotorene. Dersom man fortsetter med dagens drift vil arbeidsmiljøforholdene sannsynligvis ikke kunne bedres i samme grad som ved et teknologiskifte, og det må gjøres tiltak for å tilfredsstille stadig strengere regelverk på området. I tillegg til de globale klimagassutslippene vil fortsatt fossil dieseldrift også medføre at lokale miljøpåvirkninger som støy, avgasser og partikkelutslipp fortsetter på de ikke-elektrifiserte strekningene. Også på dette området vil stadig strengere regelverk kunne medføre behov for tiltak for fortsatt dieseldrift.

6.4 Konsept 1 Ikke-fossil diesel (Alternativ 1a og 1 b)

6.4.1 Beskrivelse av energibærere

Det er to varianter av konsept 1. Begge alternative varianter bygger på referansealternativet/null-alternativet, og innebærer skifte av drivstoff til ikke-fossil type på eksisterende kjøretøy. Alternativ 1b innebærer at man elektrifiserer enkelte strekninger med lav investeringskostnad (strekninger uten tunneller, lave fagverksjernbanebruer og lave overgangsbruer) og stort strømutvekslingsbehov (store høydeforskjeller), for å avdekke om en slik løsning kan være lønnsom ved bruk av bimodale kjøretøy som kan benytte både flytende drivstoff og elektrisitet som energibærere.

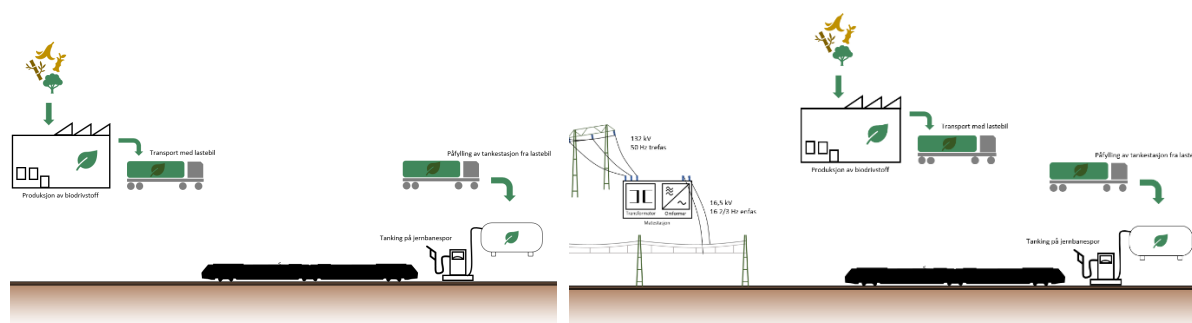
Biodrivstoff er flytende eller gassformig brensel som er fremstilt av biologisk materiale, ofte kalt biomasse. I norsk regelverk brukes begrepene konvensjonelt og avansert biodrivstoff basert på hvilket råstoff biodrivstoffet er fremstilt av, samt produksjonsmetode. Konvensjonelle biodrivstoff fremstilles av råstoff som også kan brukes til å produsere mat eller dyrefôr (landbruksvekster). Dette kalles av noen også 1. generasjons biodrivstoff. Avanserte biodrivstoff framstilles i hovedsak av rester og avfall fra næringsmiddelindustri, landbruk eller skogbruk og kommer ikke fra råstoff som kan utnyttes som mat eller dyrefôr. Dette kalles av andre også 2. generasjons biodrivstoff.

For konsept 1 antas avansert biodrivstoff som for eksempel HVO-100. Det er kompatibelt med kjøretøy som er bygget for fossil diesel, gir en høy reduksjon i CO₂-utslipp og tåler kulde bedre enn mange andre biodieseltyper [9].

1a Ikke-fossil diesel



1b Ikke-fossil diesel med del-elektrifisering



Figur 13 Illustrasjon av konsept 1a (venstre) og 1b (høyre)

Norge har et omsetningskrav for biodrivstoff til veitransport [10]. Andelen biodrivstoff som kreves for å oppfylle omsetningskravet for veitrafikk er på mellom 14,75 og 17 prosent. Fra 1. januar 2023 er det også et omsetningskrav for avansert biodrivstoff til ikke-veigående maskiner (inkludert jernbane). Dette kravet er i lovteksten omtalt som «andre formål enn veitrafikk, luftfart og sjøgående fartøy». Siden det kun er avansert biodrivstoff som kan brukes til å oppfylle kravet, telles det ikke dobbelt her. Omsetter av flytende drivstoff og flytende brensel skal ved omsetning til andre formål enn veitrafikk, luftfart og fartøy sørge for at minst 10 volumprosent av totalt omsatt mengde flytende drivstoff og flytende brensel til disse formålene per år består av avansert biodrivstoff og avansert flytende biobrensel. Biogass skal holdes utenfor kravet.

6.4.2 Oppnåelse av effektmål

Flytende biodrivstoff er et viktig tiltak for å nå nasjonale klimamål, men avansert biodrivstoff¹ er en svært begrenset ressurs og har en høy kostnad. Det forventes fortsatt høye priser framover, og Miljødirektoratet har beregnet den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden for avansert biodrivstoff for perioden 2023-2030 til over mellom 4500 og 6000 kr/tonn CO₂ redusert [11]. Samtidig er det få eller ingen tekniske barrierer for å bruke biodrivstoff som erstatning for fossile energiprodukter, og det kan blandes inn i fossilt drivstoff. Ressursknappheten på råstoffene som kan brukes til bærekraftig produksjon av avansert biodrivstoff vil imidlertid utgjøre en barriere på lengre sikt. En analyse av Argus Media viser at global produksjon av avansert biodiesel (HVO og andre typer biodiesel) er under 8 milliarder liter i 2023, og estimert til å kunne øke til 15 milliarder liter i 2035. Til sammenligning var totalt salg av drivstoff i Norge på omtrent 9 milliarder liter i 2022, ifølge SSB [8]. Knapphet på bærekraftig biomasse gjelder for avansert biodrivstoff. Det er i dag svært begrenset produksjon av avansert biodrivstoff. Rester og avfall som brukes til å lage flytende avansert biodrivstoff er også stort sett svært knappe ressurser. Den globale produksjonen av avansert biodrivstoff er forventet å øke, men det er også ventet sterk økning i etterspørselen globalt. Avanserte råstoff har i tillegg mange andre bruksområder, og det er knapphet på arealer til biomasseproduksjon globalt.

Omsetningskrav er et virkemiddel som er krevende å kombinere med andre virkemidler som fremmer bruk av flytende biodrivstoff. Dersom aktører ønsker å benytte 100 % biodrivstoff, istedenfor ordinært drivstoff med innblanding av avansert biodrivstoff, for eksempel for å oppnå sektormål eller lokale klimamål, og dette volumet også blir brukt til å oppfylle et omsetningskrav, vil det ikke føre til en økning av totalt volum biodrivstoff i Norge. Dette betyr i praksis at de som kjøper inn biodrivstoff betaler for å bruke biodrivstoffet, men uten at det fører til reelle utslippsreduksjoner nasjonalt eller globalt. På grunn av dette, har flere aktører ønsket et system for bruk av biodrivstoff utenfor omsetningskravet. Miljødirektoratet har laget en egen publikasjon om dette temaet [12]. Det er kjent at enkelte drivstoffomsettere tilbyr dette i dag.

Miljødirektoratet har gjort flere vurderinger av virkemidler for bruk av flytende biodrivstoff, og vurderer at dersom man ønsker økt bruk av flytende biodrivstoff, så er en nasjonal regulering, som omsetningskrav, det mest hensiktsmessige virkemiddelet. Denne vurderingen er generell og gjelder selv om det utvikles et system utover omsetningskravet. En regulering som omsetningskrav kan innrettes styringseffektivt opp mot nasjonale klimamål og -forpliktelser. Nasjonale reguleringer gir også større forutsigbarhet for biodrivstoffprodusenter enn enkeltanskaffelser, noe som er en viktig forutsetning for investeringsbeslutninger i ny biodrivstoffproduksjon. I tillegg sørger omsetningskrav for at bærekraftskriterier og klassifisering av ulike typer råstoff reguleres mer treffsikkert og på et overordnet nivå. Kriteriene er basert på omfattende EU-prosesser, og i de fleste tilfeller vil kunder/aktører som kjøper biodrivstoff ha begrenset kunnskap om biodrivstoff og bærekraftskriteriene.

Fordi bærekraftig råstoff til å produsere biodrivstoff er en særlig knapp ressurs, er det også svært viktig å prioritere andre tiltak der det er mulig for å sikre langsiktig omstilling til et nullutslippssamfunn. Rendyrkning av omsetningskrav som virkemiddel for flytende biodrivstoff kan ha en positiv omstillingseffekt ved at andre virkemidler kan spisses slik at de fremmer teknologier og løsninger som bidrar til langsiktig omstilling, som f.eks. logistikktiltak og utslippsfrie teknologier. Oppsummert, så er klimateffekten og bærekraftsegenskapene til avansert biodrivstoff generelt sett bedre enn konvensjonelt biodrivstoff, men avanserte råstoff er knappe ressurser. Det vil være en fordel at jernbanen ikke benytter en uforholdsmessig stor andel av slikt drivstoff – som kan være nødvendig for omstilling i andre sektorer.

Dette er bakgrunnen for at arbeidsgruppen for Klima og miljø i utredningsoppdraget i Nasjonal transportplan anbefalte at bruken av flytende biodrivstoff i anleggssektoren reguleres gjennom det

¹ I norsk regelverk skiller vi på avansert og konvensjonelt biodrivstoff, som er basert på hvilke råstoff biodrivstoffet er laget av. Konvensjonelt biodrivstoff er laget av råstoff som også kan brukes til mat og fôr (f.eks. raps og palmeolje). Avansert biodrivstoff er hovedsakelig laget av råstoff som er avfall og rester, og skal ikke være i direkte konflikt med mat- og fôrproduksjon. Avansert biodrivstoff har generelt sett bedre bærekraftsegenskaper, og Miljødirektoratet anbefaler at all økt bruk av biodrivstoff bør være avansert.

nasjonale omsetningskravet for ikke-veigående maskiner. Det vises til vedlegget "Klima og miljø" til leveransen på utredningsoppdraget i NTP for nærmere vurdering av dette [13].

Alternativet scorer på de fleste områder likt som referansealternativet, men dårligere enn referanse på forbruk av knappe ressurser. Energieffektiviteten for avansert ikke-fossilt drivstoff vil også kunne være vesentlig lavere enn fossil diesel, men dette vil kunne variere mye avhengig av hvilket drivstoff man ser på. Det norske salget av avansert biodrivstoff til veitrafikk er på 7451 millioner liter [14]. Energiforbruket, på de ikke elektrifiserte strekningene med forutsatt trafikk, er beregnet til omtrent 202 GWh. Dette tilsvarer et dieselforbruk på omtrent 20 millioner liter, som er 4,4 % av det norske markedet for ikke-fossilt drivstoff.

Tabellen nedenfor oppsummerer effektmåloppnåelsen i konsept 1 - Ikke fossil diesel, med relativ skår i forhold til 0-alternativet (fossil diesel).

Tabell 15 Effektmåloppnåelse for konsept 1a – ikke fossil diesel

	Effektmål	Vurderingsmetode	Måleenhet	Verdi (avrundet)	Relativ skår
1	Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt 2023-2029	70 000	0
2	Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt 2030-2049	70 000	0
3	Energieffektivitet	Energieffektivitet WTW	Prosentvurdering	Variabelt	
		Forbruk av knappe ressurser	Kvalitativ vurdering	4 % av avansert biodrivstofforbruk i Norge	- -
4	Attraktivitet	Akselerasjonsevne	Kvalitativ vurdering	Som 0-alt.	0
		Trekraft	Kvalitativ vurdering	Som 0-alt.	0
		Lade-og-tankestop	Kvalitativ vurdering	Som 0-alt.	0
		Effektiv toglangde	Kvalitativ vurdering	Som 0-alt.	0
		Aksellast	Kvalitativ vurdering	Som 0-alt.	0

Konsept 1 (begge alternativer) siles ut som følge av ingen, eller negativ, effektmåloppnåelse. Vurdering innebærer at konseptet som helhet fremstår som dårligere enn 0-alternativet. Det er derfor ikke gjennomført kostnadsestimater, usikkerhetsanalyse og videre utredning for dette konseptet.

Av markedsmessige eller andre kommersielle grunner kan det likevel være aktuelt for noen togselskaper i en overgangsperiode å benytte ikke-fossil diesel, selv om det ikke reduserer klimagassutslippene totalt sett. Det vil i så fall være opp til aktørene å gjennomføre på egen hånd, dersom det anses hensiktsmessig.

6.5 Konsept 2 Hydrogen (Alternativ 2a og 2 b)

6.5.1 Beskrivelse av energibærer

Dette kapitlet beskriver både alternativ 2a og 2b som i stor grad sammenfallende teknologiplattform og beskrives derfor under ett. Alternativene 2a og 2b (Figur 14) omhandler energibærer basert på grunnstoffet hydrogen. Hydrogen benyttes i gassform (hydrogengass), men vil i fortsettelsen omtales som hydrogen. Kjøretøyene utstyres med trykksatte hydrogen lagertanker, brenselceller, et batteri og elektrisk motor. Prinsippet for kjøretøyene er at hydrogen som trykksatt gass føres fra tankene og gjennom brenselcellen, hvor det produseres elektrisk energi, varme og vann. Produsert elektrisk energi fordeles parallelt til en elektrisk motor for traksjon, og til et batteri for mellomlagring av energi. Dette sikrer fremdrift av kjøretøyet. Batteriene lades også under kjøring ved at energi som genereres ved bremsing mates tilbake i batteriene gjennom

2a Hydrogen

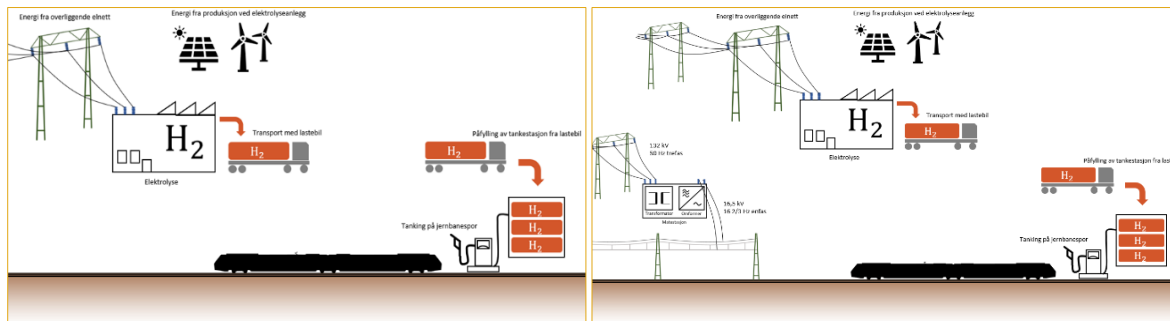


2b Hydrogen med del-elektrifisering



såkalt regenerativ bremsing. Systemet skal også dekke sekundærbehov i form av hjelpestrøm slik som lys, oppvarming, ventilasjon og kjøling.

Det er lagt til grunn at kjøretøyene i 2a og 2b er hybride og like. Forskjellen i alternativene er at det for 2b utbygges noe kontaktledning (KL) slik at kjøretøyet kan benytte kjørestrom tilsvarende kjøretøy for elektrifiserte baner. For 2b gir dette en effekt ved at drivstoffkostnadene til hydrogen kan reduseres. En driftsmodell med hydrogen vil kreve en tilrettelagt infrastruktur med hydrogendepoter med fyllestasjoner.



Figur 14 Illustrasjon av konsept 2a (venstre figur), sentral produksjon av hydrogen, som transporteres til jernbanens fyllanlegg. Konsept 2b er som for 2a men med tilrettelegging for bruk av kontaktledningsanlegg på bratte strekninger med lav utbyggingskostnad (illustrert i høyre figur)

Verdikjeden består av flere viktige prosesser før hydrogen kan fylles på tanken til kjøretøyet, og det finnes flere aktuelle løsninger knyttet til produksjon, logistikk og teknologi. Leveranse av trykksatt (>350 bar) hydrogengass til hydrogendepoter er i denne utredningen forutsatt med lastebiler. Det er imidlertid også mulig med leveranse med jernbanevogner, eller ved lokal produksjon av hydrogen i tilknytning til jernbanen. Hvorvidt lokal produksjon bør være et alternativ er avhengig av flere faktorer som f.eks. transportavstander og trafikkbelastning på veier, lønnsomhet, leveransesikkerhet og arealbeslag.

Fordelene med lokal produksjon er at anlegget er kompakt og at det vil være lettere å ivareta sikkerhet i et kompakt anlegg, samt at transport av hydrogen med lastebiler kan unngås. Disse anleggene kan også komme godt ut av produksjonskostnadene i områder der man har tilgang på rimelig kraft. Ulempene er imidlertid høyere investeringskostnader, og lokaliseringsutfordringer. Hydrogendepot basert på tilkjørt hydrogen i gassform antas å føre til høye logistikk-kostnader, spesielt ved høyt hydrogenforbruk og lange transportavstander. Markedsprisen vil være følsom for avstanden mellom hydrogenfabrikk og depot.

6.5.2 Tiltak i infrastrukturen og kjøretøyflåten

Anlegg for produksjon, lagring, omtapping og fylling av hydrogen i tillegg til sikkerhetssoner, krever relativt store arealer. Behovet for sikkerhetssoner avhenger av hydrogenmengde, type teknologi og lagringsform.

For en overgang til hydrogen som energibærer vil det være behov for nye eller ombygde kjøretøy, en produksjons- og forsyningskjede som kan levere hydrogen som drivstoff, og tilpasninger i fasiliteter for reparasjoner og vedlikehold.

Hydrogendepot

Det er stor usikkerhet knyttet til tomteplassering, størrelse på tomt og sikkerhetsavstander. For å imøtekomme rutemodeller for togtrafikk, krever dette egne utredninger i en senere fase. I denne utredningen er det kun gjort generiske betraktninger. Et hydrogendepot er et anlegg med jernbanespor for et eller flere kjøretøy, en fyllestasjon der hydrogen mellomlagres og med dispenser for fylling av et kjøretøy, samt infrastruktur for leveranse av hydrogen med lastebil.

Arealbeslaget for en fyllestasjon er avhengig av mengden hydrogen som skal lagres for å sikre en robust leveranse til togene. For at togene ikke skal være til hinder for annen trafikk ved fylling, vil eller kan det være behov for å bygge ut med egne sidespor til hydrogendepotet. Mengden spor som det vil være nødvendig å bygge vil være avhengig av hvor det er mest hensiktsmessig å plassere fyllestasjonen. Plasseringen avhenger av arealtilgang i forhold til omliggende infrastruktur, veianlegg for leveranse av hydrogen, bebyggelse, miljømessige konsekvenser m.m.

Hvor høyt hydrogenforbruket er, og hvilken reservekapasitet det må være i forhold til forstyrrelser i togtrafikken/logistikken, er viktige faktorer for å angi nødvendig lagringskapasitet i et depot. Det er gjort vurderinger av dette for alle de aktuelle hydrogendepotene, og anslått en moderat lagerstørrelse tilsvarende to dagers forbruk. Dagens tankanlegg for diesel har imidlertid vesentlig større kapasitet enn dette. Eventuelle behov for beredskapskapasitet må derfor løses i tillegg til det som dekkes i denne utredningen, eksempelvis i form av avtale om minimumslagring hos leverandør.

Som følge av arealene som kreves for å få en akseptabel logistikk-løsning for både leveranser og fylling av kjøretøy, og en tilfredsstillende sikkerhetsavstand rundt anlegget, er det lagt til grunn at plassering av hydrogendepoter ikke kan gjøres på eksisterende dieselfyllanlegg. For plassering av hydrogendepoter er det tatt utgangspunkt i person- og godstogrelasjoner og antall tog på disse strekningene i referansealternativet. Det er mest hensiktsmessig å fylle hydrogen på lokasjoner med hensetting av persontog, endestasjoner for en togpendel, steder med driftspause for godstog, samt der det foretas bytte av trekkmateriell. Hensetting av persontog foretas generelt i tilknytning til endestasjoner for togpendler. Driftspause for strekningslokomotiv til godstog legges generelt i tilknytning til godsterminaler i enden av en godstogsrelasjon.

Det er satt som en forutsetning at bytte av lokomotiver utføres ved overgang mellom elektrifiserte og ikke-elektrifiserte strekninger. Dette gir gode føringer for aktuelle plasseringer av hydrogendepoter. På disse plasseringene er det gjort en fordeling av størrelse basert på resultatene av energisimuleringene. Flere av hydrogendepotene har også mulig tilknytning til andre hydrogenprosjekter, slik som Vestfjordsambandet i Bodø, eller den planlagte hydrogenproduksjonen i Mo i Rana [15].

Det er lagt til grunn at det vil være behov for egne spor til depotene for at fyllingen ikke skal være til hinder for annen togtrafikk. Det må opparbeides nødvendige tomtearealer og tilfredsstillende adkomstmuligheter for transport av hydrogen. Imidlertid kan det ved senere utredninger vise seg å være behov for endringer i lokasjonene som framkommer i tabell 7, samt at det kan være behov ytterligere hydrogendepoter.

Tabell 16 Fyllestasjoner for hydrogen med kapasitet og arealbehov. Kilde: Vedlegg 6.7 Arealbeslag og kostnader for hydrogendepoter

Fyllestasjon	Tankstørrelse	Arealbehov
Bodø	9 600 kg	13 000 m ²
Marienburg	7 200 kg	13 000 m ²
Kongsvinger	5 400 kg	13 000 m ²
Hamar	3 600 kg	7 500 m ²
Støren	3 000 kg	7 500 m ²
Steinkjer	1 800 kg	7 500 m ²
Mo i Rana	1 800 kg	5 000 m ²
Alnabru	1 800 kg	5 000 m ²
Dombås	1 200 kg	5 000 m ²

Kjøretøyflåten

Overgang til hydrogendrift vil medføre at hele dagens flåte av kjøretøy som trafikkerer de ikke elektrifiserte strekningene sannsynligvis må byttes ut, og at det i tillegg må utvikles og investeres i energivogner for godslokomotiver. Utsiftingen kan skje gradvis, da dieselskjøretøy og hydrogenkjøretøy kan brukes på de samme strekningene samtidig. Det eneste av kjøretøyene i dagens flåte som eventuelt kan bygges om er motorvognsett type 76 som eies av Norske tog, der dagens energivogn med dieselmotorer eventuelt kan byttes ut med en hydrogvogn. Dette er imidlertid vurdert til å være en komplisert og omfattende ombygging med høy prosjektrisiko.

I konseptvalgutredningen er det forutsatt hybride kjøretøy, dvs. kjøretøy utstyrt med strømvogner som kan kjøre via kontaktledning, eller på hydrogen. Dette gjør at kjøretøyet kan kjøre på allerede elektrifiserte banestrekninger uten å bruke hydrogen på disse. Ettersom kjøretøyet også er utstyrt med batteri, kan det også utnytte energi fra elektrodynamisk bremsing, såkalt regenerering, og for å jevne ut effektbehovet. For konseptet er det ikke definert hvilken effekt brenselcellene trenger, eller hvilket volum i hydrogentankene

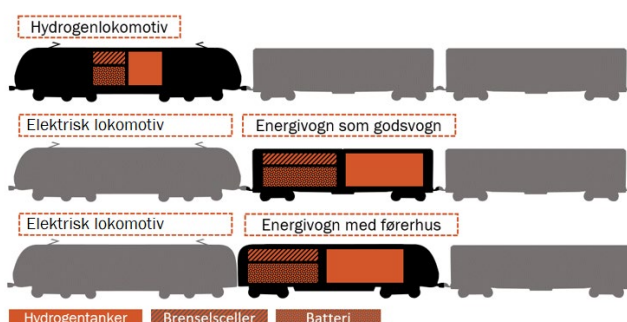
det vil være behov for. Dette vil avhenge av type trafikk, trykk på hydrogen, samt tilgjengelig teknologi på tidspunktet kjøretøy produseres.

Hydrogen motorvognsett i Europa finnes i dag kun som to-vogners motorvognsett på cirka 55 meters lengde, som vist i figur 11. Dette tilsvarer togkategorien regiontog distrikt i Norge. Vi har i denne utredningen beregnet motorvognsett regiontog på 110 meter og fjerntog på 220 meter. Disse størrelsene finnes foreløpig ikke og er ikke etterspurt i markedet. Tre-vogners hydrogenmotorvognsett er under utvikling. Brenselceller og hydrogenbeholdere er vanligvis plassert på taket, mens batteriene er enten på taket eller under gulvet. Det pågår utviklingsprosjekter for å se på løsninger der brenselceller og hydrogentanker plasseres under gulvet eller i maskinrom om bord i motorvognen [16]. Prosjekter i Italia og Frankrike har basert fremtidig anskaffelse på andre lengre hydrogen-motorvognsett som er 70-90 meter lange (Coradia Stream, Coradia Polyvalent). Det er vurdert at kjøretøy på ca. 90 meter sannsynligvis kan fungere som del av regiontogsegmentet på de ikke-elektrifiserte strekningene.

For godstransport vil det enten være aktuelt å ha godslokomotiv med både hydrogen-tanker og brenselceller, eller egne energivogner bak lokomotivet hvor tanker og brenselceller er plassert. Valgt løsning vil være avhengig av nødvendig lagringskapasitet og derav ønsket rekkevidde. En energivogn vil ha betraktelig større kapasitet sammenlignet med om hydrogeninstallasjonene er innebygget i lokomotivet (hydrogenlokomotiv). På lik linje med andre tekniske løsninger med drivstoff er det i dag ikke tillatt å overføre hydrogen mellom vognene, da dette er en deformasjonssone ved sammenstøt. Prinsippet er derfor slik at elektrisk energi produseres i hydrogen energivognen, og så overføres dette til et helelektrisk lokomotiv. Energivognen inneholder brenselceller, hydrogentank og batterier.



Figur 15 Plassering av hydrogentanker, brenselceller og batteri på et hydrogendrevet motorvognsett/persontog



Figur 16 Forskjellige prinsipper for plassering av tanker, brenselceller og batteri i et hydrogendrevet godstog

6.5.3 Teknologisk modenhet og forventet utviklingsløp

De senere årene har flere leverandører av jernbanekjøretøy utviklet hydrogendrift basert på brenselcelleteknologi. På en teknologisk modenhetsskala vurderes det at motorvognsett for kortere tog av typen regiontog i distrikt, ca. 55 meter lange, er på nivå TRL 8/9 per 2023, og at det vil være på nivå 9 i 2030. For lengre motorvognsett inntil 90 meter vurderes TRL-nivået til å være TRL 8/9 i 2023. For motorvognsett som f.eks. regiontog i distrikt 110 m og fjerntog 220 m er usikkerheten stor da denne utredningen ikke har funnet opplysninger om at det utvikles hydrogenløsninger for lange motorvognsett, eller motorvognsett som skal gå over lange avstander. Grunnen for dette er at langdistansekjøring krever mye plass til hydrogen lagringstanker, noe som vil belegge store deler av passasjerkapasiteten.

For små lokomotiver (skiftelokomotiver) med kort rekkevidde, er det allerede i dag kjøretøy i drift på TRL 8 som kan bestilles. Disse er vurdert å ha TRL 9 i 2030. For større lokomotiver for bruk til godstog, og som skal ha lengre rekkevidde, så er markedet for slike løsninger ikke kommet like langt som for mindre lokomotiver og motorvognsett. For hydrogendrift av større lokomotiver må det antas at lagringskapasiteten for hydrogen må være i egen vogn. På en TRL-skala så vurderes det at TRL-nivået for store lokomotiver ikke er høyere enn 5 per 2023, og at det antas å være 7 i 2030.

Det er etablert et pilotprosjekt i Canada for prøving av hydrogenlokomotiv. Hvorvidt denne løsningen vil kunne bli tilgjengelig for det europeiske markedet er usikkert.

For transportsektoren vil hydrogen i hovedsak være aktuelt for tyngre veitrafikk, luftfart, skipsfart og jernbane. Jernbane har høye krav til sikkerhet og driftsstabilitet, noe som igjen medfører tidkrevende prosesser for godkjenning, og omfattende krav til dokumentasjon av blant annet sikkerhet og

interoperabilitet i Europa. Etter hvert som flere delsystemer legges til et kjøretøy, øker den generelle kompleksiteten. Dette gjelder spesielt ved en hydrogendrift med hybride kjøretøy hvor flere drivsystemer må virke sammen for optimal drift. Det gjennomføres mange tester, men det mangler fortsatt mye på erfaring fra drift i krevende miljøer og operasjoner som f.eks. i et nordisk klima.

Den tyske delstaten Niedersachsen startet drift med førproduksjonsutgaver av Alstoms iLint i 2018 og i august 2022 gikk regiontoglinjen over til ren hydrogendrift. De har imidlertid nå konkludert med at den resterende dieselflåten skal erstattes med batteritog og ønsker delvis elektrifisering av infrastrukturen. Årsaken er de høye driftskostnadene. Denne hendelsen i seg selv er ikke et hinder for bruk av hydrogen på den norske jernbanen, men synliggjør hvor viktig det er å observere hvilke løsninger andre Europeiske land velger når de skal erstatte sine dieselløsninger. Et mindre marked vil gi saktere teknologisk utvikling og dyrere enhetskostnader enn dersom markedsinteressen er sterk i kjøretøysegmenter som er aktuelle for bruk i Norge.

6.5.4 Samfunnssikkerhet og tilfredsstillelse av lover og forskrifter

Bruk av hydrogen og hydrogenbaserte løsninger skal være trygt. Sikker bruk er helt avgjørende for at aktuelle brukere skal ta i bruk ny teknologi og nye løsninger, og at hydrogen og hydrogenbaserte løsninger skal kunne være reelle alternativer.

Hydrogenatomets spesielle egenskaper, i form av at den enten utgjør en svært reaktiv, brennbar og eksplosjonsfarlig gass som lagres under ekstremt høyt trykk, eller en væske som lagres ved ekstremt lav temperatur, gjør at det alltid vil være et behov for å sikre at det er satt inn de nødvendige tiltak for å hindre eller redusere konsekvensen av uønskede hendelser.

Behov for særskilte tiltak i tunneler, på stasjoner, i verksteder eller andre innelukkede arealer der større mengder hydrogen tas inn er et tema som stadig diskuteres i tilknytning til bruk av hydrogen. Enkelte aktører mener det ikke er behov for noen form for tiltak, mens andre mener at det ikke finnes gode nok tiltak til at dette kan gjøres på en forsvarlig måte slik at sikkerheten til personer som befinner seg i et innelukket område sammen med en større mengde hydrogen ivaretas.

For at bruk av hydrogen skal kunne være reelt alternativ som kan vurderes, er det i denne analysen forutsatt at det finnes tiltak som kan etablere et sikkerhetsnivå som gir en akseptabel risiko.

6.5.5 Konsekvenser for togtrafikken

Kjøretiden er sterkt avhengig av kjøretøyenes effekt og hvordan effekten kan utnyttes i infrastrukturen. En vesentlig forskjell mellom elektrisk drift og dieseldrift som i referansealternativet, er nettopp kjøretøyenes effekt, og dermed også kjøretid. Som en del av simuleringene utført i forbindelse med vurdering av hydrogendrift, er det også gjort en vurdering av kjøretid. I simuleringene er det lagt til grunn at kjøretøy på ikke-elektrifiserte strekninger som drives av hydrogen har samme effekt som dieseldrevne kjøretøy. Basert på simuleringene er det vurdert at kjøretidene i hydrogenkonseptet er de samme som for dieselkonseptet. Dette skyldes at vekt og trekkdiagrammer er de samme for begge konseptene. For alternativet 2b, når tog benytter kontaktledning som energikilde, tillater dette et høyere effektopptak og mulighet for økt hastighet sammenlignet med effekten fra kun hydrogen.

Da hydrogendepoter er arealkrevende er det knyttet betydelig usikkerhet til hvor disse kan plasseres. Det synes å være behov for at enkelte hydrogendepoter må plasseres vekk fra sentrale områder. Tatt i betraktning tid til kjøring til og fra hydrogendepotene, pluss fylling og mulighetene for å opprettholde rutetidene, må det antas behov for noen ekstra kjøretøy. Det er ikke forutsatt ekstra kjøretøy i den samfunnsøkonomiske analysen.

6.5.6 Mulig tidsplan for innføring av alternativet

Når plangrunnlag og reguleringer er ferdig avklart, inkludert eventuelle behov for oppkjøp av eiendom, kan selve byggingen av fyllestasjonene starte. Selve tankanlegget kjøpes, og konstruksjonsarbeidet består av grunnarbeider for anlegget, adkomst veg for lastebiler, adkomst med spor for tog, samt sikkerhetstiltak som må etableres. Dette anslås å ta 2-3 år.

De dieseldrevne regiontogene, type 93, oppnår forventet levealder i 2030-32 og må erstattes. Planlegging av denne anskaffelsen avventer anbefaling fra denne KVV-en og beslutning om framtidig energibærer på de ikke-elektrifiserte strekningene. De bimodale (diesel-kontaktledning) regiontogene type 76, har forventet levetid fram til ca. 2051. Hva som skjer med disse ved overgangen til en ny energibærer må vurderes. For anskaffelse av nye fjerntog med hydrogen vil det måtte etableres en egen avtale, og anskaffelsen anslås å ta 7-10 år fra en beslutning er tatt. For godsløkomotiver er anskaffelsesprosessen ofte raskere enn for kjøretøy til persontrafikken. Ettersom batteri- og hydrogenlokomotiver fremdeles er en relativt umoden teknologi, ventes det å ta lang tid å få levert slike lokomotiver. Totalt anslås det å ta ca. 2,5-5 år å anskaffe godsløkomotiv og/eller energivogn med hydrogen, avhengig av bl.a. hvor mye innovasjon og utvikling som er nødvendig for at løsningen skal være trygg og effektiv for norske forhold. Godstogoperatørene avgjør selv hvor omfattende eller enkelt de utformer anskaffelsesprosessen, og det er mindre behov for spesialtilpasning til transportoppgaven enn på persontog (hvor det skal bestemmes setekonfigurasjon, ombordfasiliteter osv.). Selve avtaleinngåelsen tar om lag 0,5-1 år.

Med opplysningene over er det sannsynlig å kunne forvente en gradvis innfasing av hydrogen fra ca. 2035-2038.

6.5.7 Oppnåelse av effektmål

1. Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)

Hvorvidt det er mulig å oppnå reduserte klimagassutslipp innen 2030 avhenger i stor grad av hvilke forutsetninger som blir satt for beslutning, planlegging og gjennomføring av konseptet.

Anskaffelsesprosessen for nye kjøretøy ventes å ta lang tid i tillegg til utbygging av nødvendig infrastruktur for fylling av hydrogen. Det synes derfor urealistisk å oppnå utslippsreduksjoner innen 2030.

2. Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)

Alternativet kan redusere klimagassutslippet fra persontog og godstog ned mot null innen 2050, sammenlignet med en videreføring av dagens dieseldrift.

Konseptet for hydrogen har et beregnet totalt klimagassutslipp på 277 355 tonn CO₂ over en periode på 75 år (hydrogen med deelektrifisering: 304 097 tonn). Den største delen av utslippet er knyttet til indirekte utslipp i driftsfasen, som da omfatter utskiftning av teknisk utstyr slik som batterier og brenselceller. Klimagassutslipp i byggefasen er utlignet av reduserte utslipp i driftsfasen etter 0,4 år (hydrogen med deelektrifisering: 0,7 år). Alternativet er vurdert å kunne settes i drift i ca. 2035.

3. Energieffektivitet

Energieffektivitet WTW (well-to-wheel)

Energieffektiviteten for hydrogen «Tank-To-Wheel» er beregnet til 50 % om det regnes en direkte strøm fra hydrogentank til hjul, mens for hele kjeden «Well-To-Wheel» regnes energieffektiviteten til å være 24 % (27 % om energien kanaliseres direkte til fremdrift, utenom batteriene). Energieffektiviteten kan imidlertid bli høyere om man utnytter spillvarme og oksygen fra elektrolyseprosessen. Totalt sett kan man i så fall regne med 30-35 % for «well-to-wheel».

Forbruk av knappe ressurser

Dette konseptet benytter elektrisitet som energikilde til utvinning av hydrogen. Det norske forbruket av strøm er på 133 TWh [17]. Energiforbruket i dette alternativet er beregnet til 182 GWh (175 GWh ved deelektrifisering). Hensyntatt tap i produksjon og transport av strøm og hydrogen gir dette et energibehov på omtrent 303 GWh (242 GWh ved deelektrifisering). Dette strømforbruket utgjør en liten del av det totale strømforbruket i Norge (kun omtrent 0,2 % av totalmarkedet). Konseptet anses derfor ikke å benytte en uforholdsmessig stor andel av en knapp energiressurs – som potensielt kan motvirke omstilling i andre sektorer, og vektas dermed likt som referansealternativet.

4. Togtilbudets attraktivitet

Akselerasjonsevne

Konseptet vil ha tilsvarende akselerasjonsevne som referansealternativet. Skåren er dermed lik som i referansealternativet.

Togenes trekkraft

Overgang til hydrogen medfører behov for hydrogenlager og teknisk utstyr om bord i kjøretøyene som øker vekten. For å frakte tilstrekkelig mengde energi med et godstog, er det forutsatt 1-2 energivogner.

Ulemper for togtilbudet som følge av lade- og tankestopp

Det er ingen ulemper for driften av togtilbudet som følge av behov for lade- og tankestopp i referansealternativet, og det vil heller ikke være det med hydrogen. Det er antatt lengre fylletider og mer komplisert fyllelogistikk enn for diesel. Skåren er dermed noe negativ i forhold til referansealternativet.

Konsekvenser for effektiv toglengthe

For korte motorvognsett er brenselceller, hydrogentanker og batterier vanligvis plassert på taket, noe som ikke vil påvirke antall passasjerplasser. Da lagringsbehovet for fjern tog er betydelig større er det imidlertid usikkerhet i hvilken grad disse komponentene kan spres ut over flere vogner. Det kan derfor være aktuelt å plassere hydrogentanker og brenselceller inne i motorvognsettet, noe som vil redusere arealet som er tilgjengelig for passasjerplasser. Lengden og vekten på godstog avhenger av lokomotivets trekkraft, gjeldende overbygningsklasse og lengde på kryssingsspor. Godstog er avhengig av en eller flere energivogner med hydrogen og brenselceller. Dette vil redusere toglengthen/nyttelasten og virke negativt på lønnsomheten i godsoperasjonen. Som følge av dette, skårer alternativet lavere enn referansealternativet.

Togets aksellast kan realisere hastigheter iht. Overbygningsklasse C

For motorvogner inntre det en begrensning i hastigheten hvis aksellasten er over 18 tonn. For godstogene inntre begrensninger i hastigheten ved 18 tonn og 20,5 tonn. Kombi- og tømmerogene på de ikke-elektrifiserte banen ligger i dag over 18 tonn og under 20,5 tonn, og er forutsatt å gjøre det også referansealternativet. Malmtoogene på Nordlandsbanen har og vil fortsette å ha aksellast over 20,5 tonn.

For motorvognsett (persontog) finnes det informasjon som tilsier at konseptet ikke vil resultere i en aksellast som begrenser hastigheten. Samtidig er det uklart om dette kan sies generelt for motorvognsett, fordi forskjellige kjøretøyprodusenter har forskjellige løsninger for integrering av batteriutstyr i kjøretøyet.

Det er lagt til grunn i hydrogenkonseptet at lokomotivet og energivogneren vil ha en aksellast som ikke overstiger 20,5 tonn. Det innebærer at konseptet ikke vil resultere i en lavere makshastighet enn hva som er aktuelt med referansealternativet.

Samlet oversikt over effektmåloppnåelse

Tabellen nedenfor oppsummerer effektmåloppnåelsen i konsept 2 – Hydrogen, med relativ skår i forhold til 0-alternativet (fossil diesel).

Tabell 17 Effektmåloppnåelse for konsept 2 - Hydrogen

	Effektmål	Vurderingsmetode	Måleenhet	Verdi (avrundet)	Relativ skår
1	Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)	Beregnet CO2-utslipp	Tonn CO2e årlig gjennomsnitt 2023-2029	<70 000	(+)
2	Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)	Beregnet CO2-utslipp	Tonn CO2e årlig gjennomsnitt over levetiden	3700/4050	+++
3	Energieffektivitet	Energieffektivitet WTW	Prosentvurdering	24-35 %	+ *
		Forbruk av knappe ressurser	Kvalitativ vurdering	0,2 % av brutto strømforbruket i Norge	0
4	Attraktivitet	Akselerasjonsevne	Kvalitativ vurdering		0
		Trekkraft	Kvalitativ vurdering		+
		Lade-og-tankestopp	Kvalitativ vurdering		0
		Effektiv toglengthe	Kvalitativ vurdering		-
		Aksellast	Kvalitativ vurdering		0

* For Hydrogen med deelektrifisering er skåren +(+).

6.5.8 Tilfredsstillelse av rammebetingelser

Hydrogenkonseptet har en del usikkerhet knyttet til oppfyllelse av rammebetingelser. Noe av dette kan løses gjennom forutsatte tiltak, mens andre usikkerheter må avklares i senere faser. Rammebetingelsene knyttet til globale klimagassutslipp vurderes helt klart oppfylt, men også standardisering og kompatibilitet med dagens teknologi vurderes som oppfylt.

Det knyttes usikkerhet til når konseptet vil kunne ha tilstrekkelig driftsstabilitet og regularitet under norske forhold. Videre er det variasjon i tilgangen til kjøretøyteknikk. I forhold til teknologimodenhet er det mulig å anskaffe lette persontogkjøretøy, men dersom hydrogen skal erstatte alle kjøretøytyper som i dag brukes så vil dette kreve en betydelig modning av markedet for blant annet godslok og fjerntogkjøretøy. Det er også usikkerhet knyttet til samfunnssikkerhet, siden hydrogen er eksplosivt, og kjøretøyet i tillegg har et stort batteri som vil kunne antenne og være vanskelig å slukke. Etablering av fyllestasjoner for hydrogen introduserer en ny storulykkerisiko i systemet, men om den er vesentlig er noe som må vurderes i hvert enkelt tilfelle ut fra lokalisering og lokale forhold ved det spesifikke anlegget. Det introduseres ved etablering av fyllestasjoner også et nytt objekt som må sikres mot bevisste handlinger, og som ved mangelfull sikring kan forårsake svikt i jernbanens samfunnsfunksjon.

Når det gjelder tilfredsstillelse av lover, forskrifter og annet regelverk er det også usikkerheter knyttet til dette konseptet. Store deler av regelverket som må tilfredsstilles er regelverk basert på at de ansvarlige for sikkerheten skal gjøre risikovurderinger som konkluderer med at risikoakseptkriteriene er oppfylt. Endringene i de grunnleggende risikoforhold som er knyttet til introduksjon av hydrogen og hydrogen sine brann- og eksplosjonsegenskaper, samt høye lagringstrykk, gjør det vanskelig å forvente at slike analyser skal konkludere med at dette alternativet tilfredsstiller kravene til risikoaksept.

Konseptet har utfordringer med flere av rammebetingelsene og vil først kunne være aktuelt når og rammebetingelsene i norsk og europeisk kommende regelverk er oppfylt, samt at aktørene som er ansvarlig for sikkerhet og risiko gir aksept for drift. Tidspunktet for ferdigstillelse av et europeisk regelverk og deretter tidspunkt for at dette regelverket kan tas inn i norsk lovverk, er usikkert.

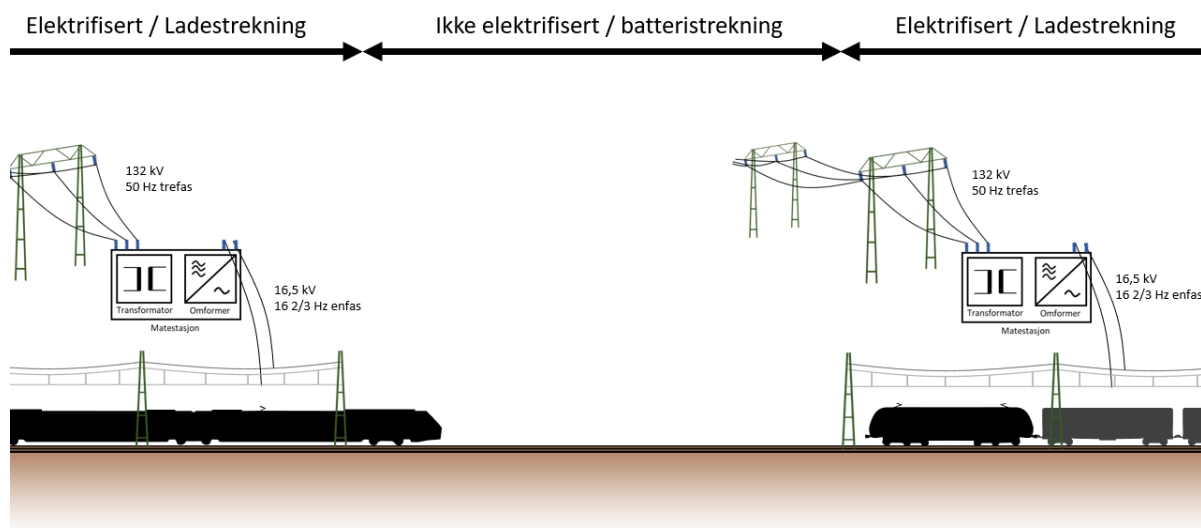
6.6 Konsept 3 Batteri

6.6.1 Beskrivelse av energibærer

Alternativet innebærer at kjøretøyene utstyres med batterier som både skal forsyne kjøretøyet med energi for å kjøre en gitt strekning, og som skal dekke sekundærbehov i form av hjelpestrøm slik som lys, oppvarming, ventilasjon og kjøling når kontaktledning ikke er tilgjengelig.

Når energinivået i batteriene blir lavt må batteriene lades via en ekstern energikilde, noe som krever et ladesystem. Det finnes flere mulige systemer, herunder lading i stillstand ved endepunkter eller opphold underveis, lading i bevegelse via kontaktledning, eller bytte av batteri eller energivogn. Utover at batteriene kan lades fra en ekstern energikilde, så kan batteriene også lades under kjøring ved at energi som genereres ved bremsing mates tilbake i batteriene gjennom såkalt regenerativ bremsing. Valg av ladesystem er prinsipielt viktig for dette konseptet ettersom det har betydning for den daglige driften på banestrekningene, og måten kjøretøyene bruker infrastrukturen på. Figur 17 viser prinsippene for batterikonseptet med lading i bevegelse via kontaktledning, også omtalt som del-elektrifisering. I eksemplet forsynes de elektrifiserte strekningene av omformerstasjoner.

3 Batteri



Figur 17 Prinsipiell løsning for batterikonseptet med lading i bevegelse (del-elektrifisering). Konseptet består av vekselvis elektrifiserte ladestrekninger og ikke-elektrifiserte strekninger der toget går på batteri. Persontog til venstre og godstog til høyre

Kjøretøyets effektbruk til fremføring og hjelpestrøm, sammen med batterienes og banestrømforsyningsens egenskaper, påvirker hvor mye batteriene blir ladet per kilometer ladestrekning, og dermed også hvor lange eventuelle ladestrekninger må være. Behov for store ladeeffekter for å gi rask lading har også påvirkning på dimensjoneringen av kjøretøyets transformator og likeretter. Større ladeeffekter medfører transformator og likeretter som både er tyngre og krever mer plass. Kjøretøyleverandørene vil derfor måtte gjøre avveininger knyttet til hvordan de prioriterer bruken av tilgjengelig bæreevne for vekt og tilgjengelig volum til batterier. På et overordnet nivå bør ladestrekninger og omformerstasjoner plasseres slik at et sterkt overliggende nett er tilgjengelig, og omformerstasjonene kan plasseres på steder som er egnede for formålet.

6.6.2 Tiltak i infrastrukturen og kjøretøyflåten

Kjøretøy

En overgang til batteridrift vil medføre at hele dagens flåte av kjøretøy som trafikkerer de ikke elektrifiserte strekningene må byttes ut. I tillegg må det utvikles og investeres i batterivogner for godstrafikken. Utsiftingen kan skje gradvis, da dieselkjøretøy og batterikjøretøy kan brukes på de samme strekningene samtidig. De eneste kjøretøyene i dagens flåte som eventuelt kan bygges om er motorvognsett type 76 som eies av Norske tog, der dagens batterivogn med dieselmotorer eventuelt kan byttes ut med en batterivogn.

Dette er imidlertid vurdert til å være en komplisert og omfattende ombygging med høy prosjektrisiko. For nye fjerntog har Norske tog en opsjon for batteridrift for kjøring på del-elektrifiserte baner.

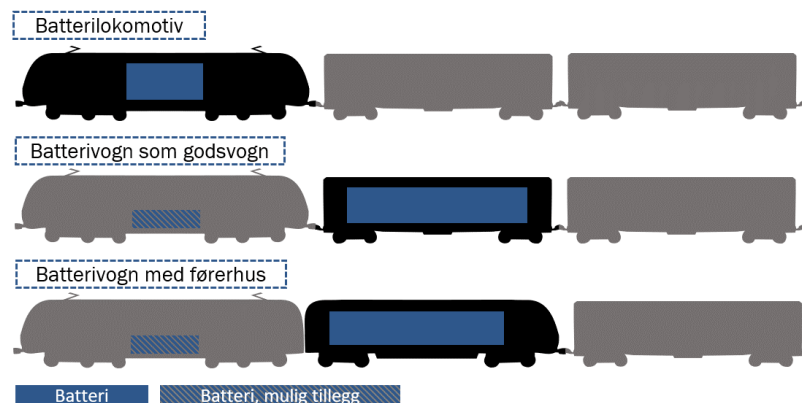
Det vil ikke være behov for endringer i hvordan kjøretøyflåten for persontog må se ut (f.eks. antall tog) og anskaffes, i den forstand at det ikke vil være helt andre typer kjøretøy som anskaffes. Det er i hovedsak hvordan energilageret integreres i kjøretøyet som påvirkes. Dette vil kunne ivaretas i fremtidige anskaffelser, der det kan stilles krav til at kjøretøyene som anskaffes må kunne trafikkerer spesifikke strekninger. Kjøretøysprodusenter vil da kunne dimensjonere energilagringen utfra trafikkoppgavene som skal utføres, og med hensyn til infrastrukturen. Fremtidig utvikling vil også kunne påvirke hvordan batteriene integreres i kjøretøyene. Anskaffelse av slike kjøretøy kan gjennomføres som en separat anskaffelse med forskjellige typer persontog, eller den kan være del av en større kontrakt som også omfatter leveranse av kjøretøy til elektrifiserte strekninger. I det sistnevnte tilfellet vil batterikjøretøyene sannsynligvis utgjøre en mindre del av kontrakten.

For persontogene er det lagt til grunn en drift basert på Jernbanedirektoratets standard togtyper, som er basert på de persontogene som per i dag trafikkerer linjene. Det betyr at det er brukt omtrent den samme ytelse som dagens persontog, og at mengden del-elektrifisering er tilpasset dette.



Figur 18: Eksempel på plassering av batteri på et to-vogns motorvognsett

For godslokomotiver vil det være behov for anskaffelse av elektriske lokomotiver med batterivogn. Det er lagt til grunn et konsept med batterivogn som ikke er tilgjengelig i markedet enda, men som er foreslått og vurdert av kjøretøysprodusenter. Det vil ikke være behov for endringer i hvordan togene utfører trafikken, og det vil heller ikke være behov for endringer i antall lokomotiver. Det som vil endres er kravstilling til lokomotivene. Konseptet med batterivogn forutsetter også at lokomotivene som anskaffes kan brukes uten batterivognene og gå som konvensjonelle elektriske lokomotiver (batterivognene kan kobles fra).



Figur 19: Eksempel på plasseringer av batteripakker for lokomotivdrevne kjøretøy

Infrastruktur

For å finne et gunstig samspill mellom mengden elektrifisering og kjøretøyenes behov for lading, er det utført energisimuleringer av driften for persontogene og godstogene på de ikke-elektrifiserte banestrekningene. På denne måten har energimengden i batteriene blitt analysert for forskjellige plasseringer av elektrifisering. En iterativ prosess med simuleringer har resultert i en foreslått elektrifisering som vil fungere for togene på strekningene. Del-elektrifiseringen er plassert der hvor det er stort energibehov, samt at det er hensiktsmessig gitt toglinjens plassering og type kjøretøy. Elektrifisering av tunneler og overgangsbruer er forsøkt minimert for å redusere investeringskostnadene.



For Nordlandsbanen er det plassert 6 omformerstasjoner som forsyner delstrekninger med elektrifisering. Totalt er det plassert kontaktledningsanlegg på omtrent 240 av 694 kilometer. Dette utgjør 34,5 % elektrifiseringsgrad ikke medregnet eksisterende elektrifisering fra Trondheim til Stjørdal.

For Raumabanen er det plassert 1 omformerstasjon tett på Åndalsnes, og det er elektrifisert omtrent 50 av totalt 114 kilometer.

For Rørosbanen er det foreslått plassering av 2 omformerstasjoner. Det er funnet at det allerede er planlagt bygging av en ny omformerstasjon i Hamar, som vil ha mulighet for å forsyne hele strekningen Hamar–Elverum – Kongsvinger. Derfor er det foreslått å bruke den nye omformerstasjonen som bygges i Hamar, og kapasiteten fra den eksisterende elektrifiseringen i Kongsvinger, for å forsyne hele Solørbanen og en del-strekning på Rørosbanen. Totalt er det elektrifisert omtrent 190 av Rørosbanens 384 kilometer. Hele Solørbanen er foreslått elektrifisert, tilsvarende omtrent 95 kilometer.

Figur 20: Foreslåtte del-elektrifiserte strekninger basert på innledende simuleringer for å gi tilfredsstillende lading av batterier og minimere utbyggingskostnad

6.6.3 Teknologisk modenhet og forventet utviklingsløp

Hybride motorvognsett (batteri-kontaktledning) for fremdrift er kommersielt tilgjengelige for regiontog (110 meter) og regiontog i distrikt (55 meter), og det finnes forskjellige løsninger for integrering av batteriene i kjøretøyet. Valg av batterikjemi vil ha betydning for volum og vekt for batteriene og dermed påvirke rekkevidden for kjøretøyet på ikke-elektrifiserte strekninger. På en teknologisk modenhetsskala vurderes det at TRL-nivået for motorvogner for kortere tog av typen regiontog, og regiontog i distrikt, ca. 55 meter lange, er på nivå 8/9 per 2023, og at det vil være på nivå 9 i 2030. For lengre motorvognsett vurderes TRL-nivået til å være 6 i 2023 og 9 i 2030.

For små hybride lokomotiver batteri-kontaktledning med kort rekkevidde, er det allerede i dag kjøretøy i drift på TRL 8 som kan bestilles. Disse er vurdert å ha TRL 9 i 2030. For større hybride batteri-kontaktledning lokomotiver for bruk til godstog, og som skal ha lengre rekkevidde, så er markedet for slike løsninger ikke kommet like langt som for mindre lokomotiver og motorvognsett. På en TRL-skala så vurderes det at TRL-nivået for store lokomotiver ikke er høyere enn 7 per 2023, og at det vil være 9 i 2030. Dette gjelder for lokomotiver med batterier integrert i selve lokomotivet. For batterivogn er det ikke bekreftet fra leverandører hva TRL-nivået vil være, og det vurderes at nivået ikke er høyere enn 6 i 2023. Det finnes ikke noe som indikerer at en slik løsning etterspørres i markedet, og det anses lite sannsynlig at denne løsningen kan ha det samme TRL-nivået som batterier integrert i lokomotivet per 2023 og i 2030.

Med dagens batteriteknologi er det dokumentert at en teknologiovergang til batteridrift er mulig dersom det finnes en infrastruktur for lading. Forskning og utvikling viser at det er et vesentlig potensial for forbedring

av batteriegenskaper for jernbanekjøretøy. Dette medfører at videre utvikling av batteriteknologi ikke er relevant for om en teknologiovergang fra diesel til batteri er mulig, men det vil ha betydning for kostnadsbildet og hvilken robusthet det er mulig og bygge inn i de ulike trafikkoppleggene. Det påvirker også hvordan batteriene vil integreres i kjøretøyet, særlig for lokomotiver til godstog.

6.6.4 Samfunnssikkerhet og tilfredsstillelse av lover og forskrifter

Den største risikoen knyttet til batteridrift på jernbanen er ansett å være «thermal runaway», som kan medføre raskt utviklende brann som er utfordrende å slukke. Under spesielle betingelser kan feiltilstander i batterier også medføre at det utvikles brennbare gasser som kan føre til eksplosjoner. For å redusere sannsynligheten for dette produseres batterier med luft- og kjølesystemer, samt at batteriene overvåkes av et Battery Management System (BMS) for å se til at batteriene opererer innenfor sikkert driftsområde. Valg av batterikjemi vil sannsynligvis også ha betydning, og høyeffektbatterier har høyere grad av sikkerhet enn høyenergibatterier. Det er også høyeffektbatterier som er lagt til grunn i denne utredningen.

Det finnes i dag standarder som er spesielt utviklet for jernbanekjøretøy med batteridrift, samt at det finnes jernbanekjøretøy som benytter ordinært kontaktledningsanlegg og batterier for fremdrift, som er testet og godkjent av tilsynsmyndigheter i andre europeiske land. Dette gir en indikasjon på at sikkerhet og tilfredsstillelse av lover og forskrifter ved batteridrift er akseptabel, men innebærer ikke automatisk at kjøretøyene passer for de betingelsene som gjelder for jernbanen i Norge. Innføring av konseptet vil innebære risikovurderinger og utarbeidelse av beredskapsplaner og beredskap for den aktuelle driftsformen i norsk kontekst. Sett opp mot referansealternativet er det på dette detaljnivået ikke funnet grunnlag for at konseptet gir unødig eller uakseptabel økning av sårbarheten i forhold til opprettholdelse av jernbanens samfunnsfunksjon, eller vesentlig økt risiko for storulykke.

Løsningen må tilfredsstille de regel- og risikobaserte kravene. Løsningen ser ut til å kunne tilfredsstille regelbaserte minimumskrav i norsk og europeisk regelverk, og ved anskaffelse og driftsettelse av nye jernbanekjøretøy med batterier for fremdrift vil de regelbaserte kravene være ivarettatt av de nødvendige anskaffelses- og godkjenningsprosessene for å få slike kjøretøy godkjent for drift. Det er ikke funnet grunnlag for at konseptet ikke skal kunne være akseptabelt for driftssikkerhet, arbeidsmiljø og ytre miljø, men det er vanskelig å forutsi om det vil være risikobaserte barrierer som begrenser ibruktagelse av batterier som energibærer i jernbanen før alle aktører med ansvar for sikkerhet knyttet til driften har gjort de nødvendige risikovurderingene av sin konkrete bruk av teknologien. I denne sammenheng vil involvering av alle relevante aktører, særlig operatørene, være av stor betydning.

6.6.5 Konsekvenser for togtrafikken

Konseptet som er utarbeidet i utredningen medfører ingen negative konsekvenser for driftsopplegget. Kjøretøyene lader i hovedsak mens de kjører, og på endestasjonene.

Drift på elektrifisert strekning er forutsatt å gi den høyeste ytelsen i form av elektrisk effekt på kjøretøyene, med omtrent dobbel ytelse sammenlignet med drift med energibærere ombord. Med del-elektrifisering så vil batterialternativet gi mulighet for raskere togframføringstid på de elektrifiserte strekningene enn referansealternativet. Kjøretidsvinsten er generelt høyere for godstog enn for persontog. Godstogene har behov for høy effekt for å kunne kjøre raskt, mens persontog allerede har et gunstigere forhold mellom effekt og vekt, og dermed lettere kan holde linjehastigheten ved lavere effekter (skal sees i sammenheng med de linjehastighetene som er aktuelle på de ikke-elektrifiserte strekningene i Norge).

Økt effekt gir, over en viss hastighet, økt akselerasjonsevne, og med det bedre mulighet til å holde kjørehastigheten ved variasjoner i topografien. Konseptet vil ha økt effekt på de elektrifiserte strekningene i forhold til referansealternativets dieseldrift og strekninger med batteridrift. Dette kan bidra til større robusthet i ruteplanen ved at kjøretøyene har større mulighet til å tilpasse seg øvrig trafikk, og å kjøre inn igjen eventuelle forsinkelser på de elektrifiserte strekningene ved behov.

Noe av trafikken som i dag går over strekninger som delvis forsynes av elektrisk energi, og delvis er basert på diesel som energikilde, gjennomføres med bytte av lokomotiv. Dette gjelder eksempelvis tømmertrafikk på Dovrebanen fra stasjoner sør for Trondheim med overgang til Nordlandsbanen, og kjøretøy med gods og tømmer som i dag kommer via Dovrebanen til Hamar, og som skal videre mot Elverum og Kongsvinger. Hel-elektrifisering av Solørbanen, og elektrifisering av Rørosbanen på strekningen Hamar-Elverum, vil knytte

det elektriske nettet på Østlandet sammen, og gjøre at trafikk som kommer fra Dovrebanen kan kjøres gjennomgående via Elverum og Solørbanen mot Sverige og Østfold.

Relativt til referansealternativet med diesel vurderes konseptet ikke å være mer sårbart for ekstremtilfeller av norsk klima eller uforutsette hendelser. Det vurderes at sårbarheten i stor grad kan håndteres i den daglige driften, og med bruk av marginer ved planlegging av infrastruktur.

Det er vurdert at batterielektriske kjøretøy vil være enklere og rimeligere å vedlikeholde enn dagens dieselskjøretøy. Kjøretøy med ulike energibærere må også ha tilpassede anlegg og egen kompetanse for vedlikehold av de energibærerspesifikke komponentene på kjøretøyet. Det må tas stilling til hvilke jernbaneanlegg som skal tilrettelegges med teknisk utstyr og kompetanse for hvilke energibærere. For batterikonseptet betyr det at det vil være behov for spesifikk kompetanse og utstyr på verksteder som skal kunne håndtere vedlikehold av batteripakken, slik som f.eks. bytte av moduler ved feil i battericeller. Det er vurdert at batterikonseptet totalt sett ikke medfører negative endringer for forutsetningene i vedlikeholdet.

6.6.6 Mulig tidsplan for innføring av alternativet

Som for de andre konseptene, er det vurdert at prosessen gjennom KS1, forprosjekt (med hovedplan og detaljplan) og KS2 vil være gjennomført innen slutten av 2027, og at det vil kunne tas en investeringsbeslutning i starten på 2029. Spesifikt for dette konseptet er bygging av infrastruktur og anskaffelse av kjøretøy, som er vurdert å pågå i perioden 2029-2034, med driftsettelse i 2034.

6.6.7 Oppnåelse av effektmål

1. Utslipp innen 2030

Hvorvidt det er mulig å oppnå reduserte klimagassutslipp innen 2030 avhenger i stor grad av hvilke forutsetninger som blir satt for beslutning, planlegging og gjennomføring av konseptet. For batterikonseptet forventes det å ta tid å anskaffe kjøretøy, samt å planlegge og bygge nødvendig infrastruktur, og det blir sett på som mindre realistisk med en full innføring før 2030.

2. Utslipp innen 2050

Mot 2050 reduserer alternativet klimagassutslippet fra persontog og godstog ned mot null, sammenlignet med en videreføring av dagens dieseldrift. Konseptet for batteri vil ha et totalt klimagassutslipp på 162 738 tonn CO₂ over en periode på 75 år, hvor største delen av utslippet er knyttet til indirekte utslipp i driftsfasen, som da omfatter utskiftning av teknisk utstyr, i hovedsak batterier. Klimagassutslipp i byggefasen er utlignet av reduserte utslipp i driftsfasen etter 1,4 år.

3. Energieffektivitet

Energieffektivitet WTW (well-to-wheel)

Energieffektiviteten for batteri i hele kjeden «well-to-wheel» er beregnet til omtrent 63 %, hvor dette er en beregnet gjennomsnittlig verdi. Konseptet har en relativt kompleks energiflyt, hvor energieffektiviteten er avhengig av mange faktorer, herunder batterienes egenskaper og banestrømanleggets mottagelighet for tilbakeføring av energi.

Forbruk av knappe ressurser

Dette konseptet benytter elektrisitet som energikilde. Det norske forbruket av strøm er på 133 TWh [17]. Energiforbruket i dette alternativet er beregnet til 121 GWh. Hensyntatt tap i transport av strøm gir dette et energibehov på omtrent 132 GWh. Dette strømforbruket utgjør en liten del av det totale strømforbruket i Norge (kun ca. 0,1 % av totalmarkedet). Konseptet anses derfor ikke å benytte en uforholdsmessig stor andel av en knapp energiressurs – som potensielt kan motvirke omstilling i andre sektorer, og vektes dermed likt som referansealternativet.

4. Togtilbudets attraktivitet

Togenes akselerasjonsevne og trekkraft

Det er vurdert at den tilgjengelige effekten på del-elektrifiserte strekninger gir potensiale for økt trekkraft og akselerasjon med dette konseptet relativt til diesel. Den økte vekten for godstog vil påvirke akselerasjonen

noe negativt ved lavere hastigheter, men totalt sett over lengre strekninger vil akselerasjonen være bedre i batterikonseptet enn for dieselkonseptet.

Ulemper for togtilbudet som følge av lade- og tankestopp

For dette konseptet er det lagt til grunn en del-elektrifisering som muliggjør lading samtidig som toget kjører. Med denne forutsetningen vil det ikke være noen negativ påvirkning på togtilbudet med hensyn til lade og tankestopp, og det er vurdert at konseptet totalt sett vil være nøytralt relativt til diesel for denne indikatoren under normal drift. Ekstreme tilfeller kan medføre ulemper dersom energien i batteriene ikke er tilstrekkelig til å rekke frem til neste lademulighet. Eventuelle ulemper ved ekstreme tilfeller er vurdert å være tilsvarende som referansealternativet og øvrige konsepter.

Konsekvenser for effektiv toglangde

For kortere motorvognsett, slik som regiontog i distrikt, er det mindre sannsynlig at batteripakken vil redusere antall plasser for passasjer. Relativt til referansealternativet, som er et bimodalt (diesel-kontaktledning) kjøretøy, er det vurdert at det ikke er noe negativ innvirkning på toglangden. Det finnes store motorvognsett med 5 vogner for batteridrift som tilbys på markedet, og som har batterier integrert i enten gulv og/eller tak. Det er vurdert, basert på informasjon fra kjøretøysleverandører, at for regiontog vil et konsept med batterier gi omtrent den samme effektive toglangde som tilsvarende bimodalt (diesel-kontaktledning) kjøretøy. For lengre motorvognsett av typen fjerntog, er det noe mer sannsynlig at batteripakkens størrelse, og eventuell begrensning i hvor spredt batteriene kan plasseres, gjør at rom som ellers hadde vært brukt til passasjerer brukes til batterier. Relativt referansealternativet er det vurdert at energibæreren vil kreve noe mer plass enn det som dieselutstyret ellers hadde brukt. Det er vurdert at batterikonseptet kan resultere i opptil 20 % reduksjon av antallet sitteplasser for fjerntog.

For lokomotiver for persontog så vil det sannsynligvis være tilstrekkelig med vekt og volum i et seksakslet lokomotiv for å klare drift for persontog, noe som er bekreftet fra kjøretøysleverandører.

Det er vurdert at i batterikonseptet vil energibæreren, i form av en batterivogn, påvirke den effektive toglangden for godstog i den forstand at den vil forbruke toglangde tilsvarende én godsvogn. Per i dag er det slik at et kjøretøyskonsept som trenger et lengre lokomotiv enn dagens dieselkjøretøy ikke vil påvirke tømmerogene. Det er togvekten som er begrensende for disse. For kombitogene (f.eks. Trondheim-Bodø), vil en batterivogn (eller batterivogn) forbruke nyttig last tilsvarende en vogns lengde. Det er sannsynlig at det vil bli samme reduksjon for malmtogene fordi disse begrenses av kryssingssporenes lengde mellom Mo i Rana – Ørtfjell.

Togets aksellast kan realisere hastigheter iht. Overbygningsklasse C

For motorvognsett (persontog) finnes det informasjon som tilsier at konseptet ikke vil resultere i en aksellast som begrenser hastigheten. Samtidig er det uklart om dette kan sies generelt for motorvognsett, fordi forskjellige kjøretøyprodusenter har forskjellige løsninger for integrering av batteriutstyr i kjøretøyet.

Det er lagt til grunn i batterikonseptet at lokomotivet og batterivognen vil ha en aksellast som ikke overstiger 20,5 tonn. Det innebærer at konseptet ikke vil resultere i en lavere makshastighet enn hva som er aktuelt med referansealternativet.

Samlet oversikt over effektmåloppnåelse

Tabellen nedenfor oppsummerer effektmåloppnåelse for konsept 3 batteri, med relativ skår i forhold til 0-alternativet (fossil diesel).

Tabell 18 Effektmåloppnåelse for konsept 3 – Batteri

	Effektmål	Vurderingsmetode	Måleenhet	Verdi (avrundet)	Relativ skår
1	Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt 2023-2029	<70 000	(+)
2	Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt over levetiden	2 200	+++
3	Energieffektivitet	Energieffektivitet WTW	Prosentvurdering	63 %	++(+)
		Forbruk av knappe ressurser	Kvalitativ vurdering	0,1 % av brutto strømforbruk i Norge	0
4	Attraktivitet	Akselerasjonsevne	Kvalitativ vurdering		++
		Trekraft	Kvalitativ vurdering		++
		Lade-og-tankestop	Kvalitativ vurdering		0
		Effektiv toglengthe	Kvalitativ vurdering		(-)
		Aksellast	Kvalitativ vurdering		0

6.6.8 Tilfredsstillelse av rammebetingelser

Batterikonseptet er generelt funnet å tilfredsstille rammebetingelsene. For rammebetingelsen teknologisk modenhet bemerkes det at det er lagt til grunn et konsept med batterivogn for godstogene som er drøftet og bekreftet teknisk mulig fra kjøretøysprodusenter, men som ikke er testet i drift. Det er vurdert at konseptet vil ha lavere grad av teknologisk modenhet for slike batterivogner enn et konsept med batterier integrert i lokomotivet, men at det allikevel har tilstrekkelig grad av teknologisk realisme til å kunne realiseres. For rammebetingelsen interoperabilitet bemerkes det at hel-elektrifisering av Solørbanen vi gi en fordel ved at konvensjonelle elektriske lokomotiver kan trekke godstog fra Dovrebanen, via Hamar-Elverum-Kongsvinger, og videre til Sverige uten behov for ikke-elektrifisert drift. For trafikk mellom Sverige og Rørosbanen, Raumabanen og Nordlandsbanen vil det være behov for batterikjøretøy for å kunne benytte del-elektrifisering på de aktuelle banene. Konseptet er dog ikke til hinder for fortsatt bruk av diesellokomotiver for de godsselskapene som vurderer det som det beste alternativet for sin virksomhet.

For rammebetingelsen tilfredsstillelse av lover, forskrifter og annet førende regelverk bemerkes at det i dag finnes standarder som er spesielt utviklet for jernbanekjøretøy med batteridrift, samt at det finnes jernbanekjøretøy som benytter ordinært kontaktledningsanlegg og batterier for fremdrift, som er testet og godkjent av tilsynsmyndigheter i andre europeiske land. Dette gir en indikasjon på at sikkerhet og tilfredsstillelse av lover og forskrifter ved batteridrift er akseptabel, men innebærer ikke automatisk at kjøretøyene passer for de betingelsene som gjelder for jernbanen i Norge. Innføring av konseptet vil innebære risikovurderinger og utarbeidelse av beredskapsplaner og beredskap for den aktuelle driftsformen i norsk kontekst.

6.7 Konsept 4 Elektrifisering

6.7.1 Beskrivelse av energibærer

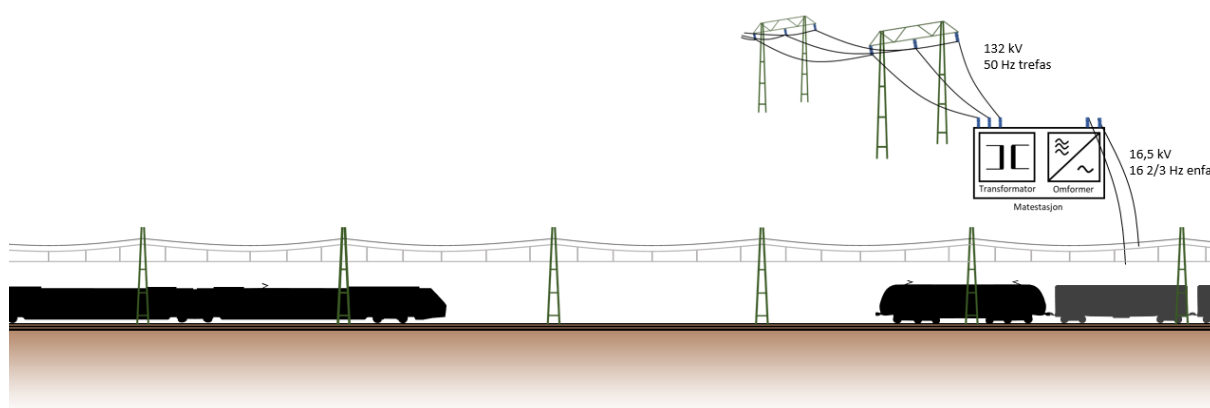
4 Elektrifisering



Elektrifisert jernbane, eller elektrisk jernbane, er baner som er utstyrt med et kontaktledningsanlegg. Et kontaktledningsanlegg er et elektrisk høyspenningsanlegg der strøm forsynes til toget fra en kontakttråd som henger over skinnene. Togene er utstyrt med en strømvtager på taket som sleper langs kontakttråden og lager nødvendig kontakt mellom kjøretøy og kontaktledningsanlegg, og det overføres energi i form av strøm som brukes til å drive kjøretøyet.

Det er ingen lagring av energi til framdrift i toget, og det er den faste infrastrukturen som kontinuerlig forsyner kjøretøyet med nødvendig energi. Kontaktledningssystemet er det mest brukte systemet for energiforsyning til jernbanekjøretøy i Norge, og utgjør om lag 66 % av det nasjonale jernbanenettet.

Kjøretøyene som benyttes på elektrisk jernbane har en enkel, robust og velprøvd grunnkonstruksjon, som gir høy pålitelighet, lave vedlikeholdskostnader og høy energieffektivitet. Det at det ikke lagres energi i kjøretøyet er gunstig i et sikkerhetsmessig perspektiv, men det medfører utfordringer dersom det er avvik i strømforsyningen.



Figur 21 Prinsipiell løsning for elektrifiseringskonseptet

Elektrifisert jernbane har mange gode egenskaper, men det har også en vesentlig utfordring. Det er høye investeringskostnader knyttet til bygging av kontaktledningsanlegg som gjør at det behøves en viss trafikk på banen for å gjøre det samfunnsøkonomisk lønnsomt. For de banene som enda ikke er elektrifisert har dette vært en terskel for bruk av dette systemet.

Utformingen av anlegget som ligger til grunn for vurderingene i KVVU GREEN, er iht. standard kontaktledningsanlegg som benyttes på det meste av det norske jernbanenettet. Det innebærer at omformerstasjonene leverer vekselstrøm med 16 2/3 Hz og 15 kV spenning. Når togene bremser omdanner togene bremseenergien til strøm, som overføres tilbake til kontaktledningsanlegget.

Det er en utfordring at mye av infrastrukturen som går over sporet, dvs. tunneler og overgangsbruer, samt noen jernbanebruer med fagverkskonstruksjon, ikke er høy nok til at det er plass til kontaktledningsanlegg mellom togene og disse konstruksjonene. Det er forutsatt en kontakttrådshøyde på 5,05 meter over skinneoverkant i tunneler. Analyser på grunnlag av foreliggende informasjon om høyden på infrastruktur over jernbanen, viser at det er behov for omfattende ombygging av denne infrastrukturen for å kunne elektrifisere banestrekningene.

Som del av utredningen av konsept 4 elektrifisering har dermed tre muligheter for å redusere omfanget av ombygging blitt vurdert, sammenlignet med standard kontakttråd (løsning A)

B. Dobbeltspent kontakttråd kan redusere høydekravet noe, men analysene viser at potensialet for kostnadsreduksjon allikevel er lite, samtidig som løsningen medfører ulemper knyttet til makshastighet og slitasje. Det anbefales dermed at dobbeltspent kontakttråd kan vurderes nærmere i senere faser, dersom det skulle vise seg å være hensiktsmessig i enkelte situasjoner.

C. Framdrift med batteri gjennom lave tunneler, hvor strømvapteren senkes. Nærmere analyser har vist at antallet lave tunneler er høyt, og avstanden mellom disse ofte veldig kort. Som følge av at det tar litt tid å heve og senke strømvapteren, må i praksis kjøretøyene ha ganske store batterier, og det ble konkludert med at denne varianten av konsept 4, i praksis ville bli lik den i konsept 3 Batteri.

D. Strømskinne ble foreslått og vurdert i mulighetsstudien, og kan redusere krav til høyde under noen forhold. Norsk klima og høy spenning i kontaktledningsanlegget som brukes i Norge medfører imidlertid større isolatoravstand, og løsningen vil som konsekvens ikke redusere kravene til høyde i tunneler.

6.7.2 Tiltak i infrastrukturen og kjøretøyflåten

Infrastruktur

Konsept 4 omfatter hel-elektrifisering av alle de ikke-elektrifiserte strekningene. Elektrifisering vil kreve betydelig investering i ny infrastruktur og ombygging av eksisterende infrastruktur over sporet.

På Nordlandsbanen kan ny omformerstasjon på Hell forsyne banen med strøm helt opp til Steinkjer. Ut over dette må det imidlertid bygges 6 nye omformerstasjoner for å forsyne banen helt opp til Bodø (kan potensielt reduseres til 5). Videre må det etableres kontaktledningsanlegg på de om lag 690 km fra Stjørdal til Bodø, samt på stasjoner og kryssingsspor. Det forventes å være behov for ombygging av ca. 45 av 48 km med tunnel på Nordlandsbanen. Videre forventes det å være behov for heving/nybygg av 20 overgangsbruer og erstatning av 3 lukkede fagverksbruer med nye jernbanebruer.

For Raumabanen er det forutsatt forsyning fra både eksisterende omformerstasjon på Dombås og ny omformerstasjon rett før Åndalsnes, og kontaktledning langs banens 114 km, samt på stasjoner og kryssingsspor. Alle seks tunneler (2,2 km) forventes å måtte utvides, én overgangsbru må heves og én fagverksbru må erstattes av ny jernbanebru.

På Røros- og Solørbanen er det mulig å forsyne banen med strøm fra eksisterende omformerstasjoner på Hamar, Kongsvinger og Lundamo, og dermed kun behov for å bygge to nye omformerstasjoner. Banene er til sammen 480 km lange, og det må også etableres kontaktledningsanlegg på kryssingsspor og stasjoner. Alle seks tunneler (1,5 km) forventes å måtte utvides, 23 overgangsbruer må heves/bygges nye og 2 fagverksbruer må erstattes av nye jernbanebruer.

Det påpekes at tilgjengelig informasjon om høyder i tunneler, under overgangsbruer og gjennom lukkede fagverksbruer har vært vurdert på et overordnet nivå. Det er en del usikkerhet knyttet til disse tallene.

Kjøretøy

For konsept 4 Elektrifisering er det forutsatt hel-elektriske kjøretøy, i samme antall som i referansealternativet. Dette er moden og velprøvd teknologi, og det er et velutviklet marked for kjøp av slike kjøretøy. For godslokomotiver er det også mulig å lease elektriske lokomotiver.

Elektriske kjøretøy har mindre slitasje og er rimeligere i drift enn dieselskjøretøy. Dette gir høy pålitelighet, lave vedlikeholdskostnader og høy energieffektivitet. Anskaffelseskostnadene er også lavere enn for diesel. Det at det ikke lagres energi i kjøretøyet er gunstig i et sikkerhetsmessig perspektiv, men medfører imidlertid større utfordringer dersom det er avvik i strømforsyningen, enn om man har energi om bord.

6.7.3 Teknologisk modenhet og forventet utviklingsløp

Kontaktledningsanlegg brukes allerede på om lag 3/5 av det statlige jernbanenettet, og teknologien er derfor moden og kan planlegges og bygges så snart det besluttet og bevilges investeringsmidler. Det forventes ingen store sprang i teknologisk utvikling for kontaktledningsanlegg og omformerstasjoner, som følge av at dette er svært moden teknologi som har vært i bruk i over 100 år.

For elektriske kjøretøy forventes videre inkrementell utvikling mot mer energieffektive kjøretøy. Elektriske kjøretøy leveres i økende grad med et lite skiftebatteri om bord, men dette er ikke forutsatt i KVV-en.

6.7.4 Samfunnssikkerhet og tilfredsstillelse av lover og forskrifter

Elektrifisering av jernbanen er en velprøvd teknologi som benyttes på øvrige deler av jernbanenettet i Norge. Det er i tråd med gjeldende krav til samfunnssikkerhet, og tilfredsstiller relevante lover og forskrifter.

Med hensyn til robusthet, redundans og restitusjon, er vurderingene at elektrifisering kan gi noe redusert robusthet ved strømbrydd, men ingen økning i storulykkepotensiale eller -konsekvens. Redundansen på jernbanen forventes å øke, som følge av det hel-elektriske nettverket som dannes mellom Lillestrøm og Hamar opp mot Støren ved elektrifisering av Røros- og Solørbanen. Restitusjonstiden kan øke noe, ettersom det ved f.eks. et ras vil være noe mer infrastruktur som må reetableres.

6.7.5 Konsekvenser for togtrafikken

Elektrisk drift av togtrafikken gir en rekke muligheter for forbedringer i togtilbudet, sammenlignet med referansealternativet.

Kortere framføringstid og/eller bedre punktlighet. Elektriske kjøretøy har bedre akselerasjonsevne og mulighet til å bruke mer energi ved særskilt høy belastning. Dette gir redusert framføringstid og/eller bedre punktlighet, sammenlignet med dieseldrift. De fire ikke-elektrifiserte banene er enkeltsporede, og hvorvidt dette gir redusert framføringstid for reisende og godskundene, avhenger av kryssingsmønster. I de samfunnsøkonomiske analysene er det forutsatt en kjøretidsgevinst for godstog (kombitogene) på Nordlandsbanen og Raumabanen.

Økt kapasitet Hamar-Støren. Elektrifisering av Rørosbanen vil gjøre det rimeligere, og dermed mer attraktivt, å kjøre kombigodstog mellom Oslo og Trondheim over Rørosbanen. I dag kjører disse kun over Dovrebanen. Dersom kombitog også kan kjøre Rørosbanen mellom Oslo og Trondheim, ville det i praksis gi økt kapasitet for godstogene mellom Hamar og Støren. Ved å legge føringer om at godstog til Trondheim kjører én bane, og godstog til Oslo kjører den andre, reduseres antall kryssinger det vil være behov for mellom Hamar og Støren. På Rørosbanen går det heller ikke nattog, og det frigir også mer kapasitet og gir færre kryssinger for godstog på nattetid, særlig hvis de kan puljekjøres (med flere tog i samme retning etter hverandre). En slik tilgjengeliggjort kapasitet vil gi rom for vekstambisjoner innenfor de ulike togkategoriene som kombitog, tømmerog, fjernog og regionog i distriktene, som ellers må konkurrere om ruteleiene. Overføring av trafikk fra vei vil bidra positivt til reduserte klimagassutslipp fra transportsystemet som helhet.

Nettverksstruktur gir økt robusthet og fleksibilitet. Ved å elektrifisere Røros- og Solørbanen blir en større del av den norske jernbanen et elektrifisert nettverk. Rørosbanen går parallelt med Dovrebanen, og Kongsvinger-, Solør- og Rørosbanen utgjør en alternativ rute mellom Lillestrøm og Støren. Det aller meste av gods- og persontrafikk mellom Østlandet og Trøndelag benytter imidlertid den elektrifiserte Dovrebanen og elektriske kjøretøy, og nettverkspotensialet i disse banene kan i liten grad benyttes ved uforutsette hendelser eller planlagt vedlikehold/fornyelse. Bane NOR har noen diesellokomotiver som stilles til disposisjon for operatørene, men dette er eldre kjøretøy og ikke en tilstrekkelig løsning for antallet og typen avganger som trafikkerer strekningen i ordinære situasjoner.

Rimeligere vedlikehold og mer fleksibel kjøretøyflåte. Elektriske kjøretøy er rimeligere å vedlikeholde, og utskiftning av dagens bimodale (diesel-kontaktledning) og rene dieselskjøretøy med elektriske kjøretøy vil gi økt fleksibilitet i bruk av kjøretøyflåten.

6.7.6 Mulig tidsplan for innføring av alternativet

Utbygging av kontaktledningsanlegg, samt andre nødvendige tiltak på infrastrukturen i den forbindelse, er et omfattende prosjekt. Hvor lang tid det tar avhenger i stor grad av gjennomføringsstrategi, og om man forutsetter parallell gjennomføring på alle banene, eller om man forutsetter at strekningene elektrifiseres i tur og orden. En gjennomgang viser at fra en beslutning er tatt, vil det ta om lag 3-4 år å planlegge og 2-7 år å bygge om banene til elektrisk drift. Elektriske persontog tar ca. 2-3 år å anskaffe som del av eksisterende avtaler, om lag 5 år dersom ny avtale må inngås. Det forventes å ta om lag 0,5-1 år inngå avtale om og å få levert nye elektriske lokomotiver. Elektriske lokomotiver er også tilgjengelig for leasing.

Det har tidligere vært planlagt elektrifisering fra Trondheim til Steinkjer, og det antas at oppdatering av detaljplan, prosjektering og bygging til sammen vil ta ca. 4 år.

6.7.7 Oppnåelse av effektmål

1. Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)

Hvorvidt det er mulig å oppnå reduserte klimagassutslipp innen 2030 avhenger i stor grad av hvilke forutsetninger som blir satt for beslutning, planlegging og gjennomføring av konseptet. For elektrifisering forventes bygging av infrastruktur å ta lengst tid. Som følge av allerede gjennomført arbeid anslås det å ta ca. 4 år å elektrifisere Stjørdal-Steinkjer. Forutsatt en effektiv beslutningsprosess, kan dette realiseres innen 2030.

2. Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)

Alternativet reduserer klimagassutslippet ned mot null, sammenlignet med en videreføring av dagens dieseldrift. Alternativet er vurdert å kunne settes i drift i ca. 2035. Konseptet for batteri vil ha et totalt klimagassutslipp på 226 638 tonn CO₂ over en periode på 75 år, hvor størstedelen av utslippet er knyttet til indirekte utslipp i driftsfasen, som da omfatter utskiftning av teknisk utstyr, i hovedsak batterier. Klimagassutslipp i byggefasen er utlignet av reduserte utslipp i driftsfasen etter 2,8 år.

3. Energieffektivitet

Energieffektiviteten for Elektrisitet «tank-to-wheel» er beregnet til 84 %. Tank betyr i denne sammenheng berøringspunktet ved strømvatager/kontaktledning. Energieffektiviteten for elektrifisering i hele kjeden «well-to-wheel» er beregnet til omtrent 70 %. Det er betydelig høyere enn i referansealternativet.

Forbruk av knappe resurser

Dette konseptet benytter elektrisitet som energikilde. Det norske forbruket av strøm er på 133 TWh [17]. Energiforbruket i dette alternativet er beregnet til 131 GWh. Hensyntatt tap i transport av strøm gir dette et energibehov på omtrent 142 GWh. Dette strømforbruket utgjør en liten del av det totale strømforbruket i Norge (kun ca. 0,1 % av totalmarkedet). Konseptet anses derfor ikke å benytte en uforholdsmessig stor andel av en knapp energiressurs – som potensielt kan motvirke omstilling i andre sektorer, og vektes dermed likt som referansealternativet.

4. Togtilbudets attraktivitet

Akselerasjonsevne

Elektriske kjøretøy har rask tilgang på mye energi gjennom kontaktledningen, sammenlignet med dieselelektriske kjøretøy. Dette gjør det mulig for toget å komme raskere opp i høye hastigheter. Denne egenskapen kan medføre redusert framføringstid, bedre punktlighet og/eller bedre kapasitet, sammenlignet med dieseldrift, relativt til referanse.

Togenes trekkraft

Elektriske kjøretøy har anledning til å bruke mer kraft ved behov enn dieselskjøretøy. Denne egenskapen vil medføre redusert framføringstid, bedre punktlighet og/eller bedre kapasitet, punktlighet sammenlignet med dieseldrift, avhengig av hvordan togtilbudet utformes.

Ulemper for togtilbudet som følge av lade- og tankestopp

Det er ingen ulemper for driften av togtilbudet som følge av behov for lade- og tankestopp i referansealternativet, og det vil heller ikke være det med elektrifisering.

Konsekvenser for effektiv toglengde

I enkelte konsepter vil det være lengdemeter i toget som går bort til energilager og dermed ikke kan brukes til reisende eller gods. For elektrifisering vil det ikke være store endringer i effektiv toglengde, sammenlignet med referansealternativet. For persontog kan den effektive toglengden forventes å øke noe med elektrifisering, som følge av at det er behov for mindre teknisk utstyr om bord i et hel-elektrisk kjøretøy, enn i kjøretøy som kan kjøre både på diesel og kontaktledning.

Togets aksellast kan realisere hastigheter iht. Overbygningsklasse C

Rene elektriske kjøretøy vil sannsynligvis være noe lettere enn bimodale (diesel-kontaktledning) kjøretøy, som følge av mindre behov for teknisk utstyr om bord i kjøretøyet. Det antas imidlertid at vekten av

bimodale kjøretøy i referansealternativet ikke medfører begrensninger i hastighet iht. overbygningsklasse C, og overgangen til elektriske kjøretøy skårer dermed likt som referansealternativet.

Samlet oversikt over effektmåloppnåelse

Tabellen nedenfor oppsummerer effektmåloppnåelsen i konsept 4 - Elektrifisering, med relativ skår i forhold til 0-alternativet (fossil diesel).

Tabell 19 Effektmåloppnåelse for konsept 4 - Elektrifisering

	Effektmål	Vurderingsmetode	Måleenhet	Verdi (avrundet)	Relativ skår
1	Kortsiktige utslipp (innen ca. 2030)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt 2023-2029	<70 000	(+)
2	Langsiktige utslipp (innen ca. 2050)	Beregnet CO ₂ -utslipp	Tonn CO ₂ e årlig gjennomsnitt over levetiden	3 000	+++
3	Energieffektivitet	Energieffektivitet WTW	Prosentvurdering	70 %	+++
		Forbruk av knappe ressurser	Kvalitativ vurdering	0,1 % av brutto strømforbruk i Norge	0
4	Attraktivitet	Akselerasjonsevne	Kvalitativ vurdering		+++
		Trekraft	Kvalitativ vurdering		+++
		Lade-og-tankestopp	Kvalitativ vurdering		0
		Effektiv toglengde	Kvalitativ vurdering		+
		Aksellast	Kvalitativ vurdering		0

6.7.8 Tilfredsstillelse av rammebetingelser

Konseptet er vel kjent og tilfredsstiller alle rammebetingelser med god margin.

6.8 Kostnader

Følgende investeringskostnader er justert for usikkerhet (iht. usikkerhetsanalysen) og ligger til grunn for den samfunnsøkonomiske analysen.

Tabell 20: Investeringskostnader i infrastrukturen (mill. 2023-kr)

Investeringskostnader infrastruktur	2a Hydrogen	2b Hydrogen med del-el.	3 Batteri	4 Elektrifisering
Nordlandsbanen	2 299	4 615	6 471	21 295
Raumabanen	359	1 210	1 103	2 577
Røros-/Solørbanen	1 217	2 403	5 377	8 620
Sum	3 875	8 227	12 951	32 493

Tabell 21: Investeringskostnader i kjøretøy (mill. 2023-kr)

Investeringskostnader kjøretøy	2a Hydrogen	2b Hydrogen med del-el.	3 Batteri	4 Elektrifisering
Nordlandsbanen	70	66	15	17
Raumabanen	84	69	18	20
Røros-/Solørbanen	69	69	14	15
Sum	223	204	47	51

Følgende driftskostnader ligger til grunn for den samfunnsøkonomiske analysen. Vedlikeholdskostnader er justert for usikkerhet, energikostnader er kvalitetssikret av Institutt for energiteknikk (IFE).

Tabell 22: Vedlikeholdskostnader til infrastruktur og kjøretøy (mill. 2023-kr per år)

Vedlikeholdskostnader (infrastruktur og kjøretøy)	2a Hydrogen	2b Hydrogen med del-el.	3 Batteri	4 Elektrifisering
Nordlandsbanen	239	248	239	248
Raumabanen	11	15	15	20
Røros-/Solørbanen	87	91	96	103
Sum	337	353	350	371

Tabell 23: Energifkostnader til kjøretøy (mill. 2023-kr per år)

Energifkostnader	2a Hydrogen	2b Hydrogen med del-el.	3 Batteri	4 Elektrifisering
Nordlandsbanen	228	219	50	62
Raumabanen	9	8	2	2
Røros-/Solørbanen	91	90	19	20
Sum	328	317	71	84

6.9 Samfunnsøkonomisk analyse

Det vises til vedlegg 6.1 for nærmere beskrivelse av den samfunnsøkonomiske analysen. Det er gjennomført en samfunnsøkonomisk analyse av 4 konsepter i alternativanalysen. For Røros- og Solørbanen er disse banene så sterkt knyttet sammen for godstrafikken at vi velger å se disse banene sammen i den samfunnsøkonomiske analysen. Referansealternativet og de 4 konseptene på Nordlandsbanen, Raumabanen og Røros- og Solørbanen er:

- Konsept 0 – Referansealternativet (Diesel)
- Konsept 2a – Hydrogen
- Konsept 2b – Hydrogen med deelektrifisering
- Konsept 3 – Batteri
- Konsept 4 – Elektrifisering

Hvert alternativ/konsept skal ifølge vanlig praksis for samfunnsøkonomiske analyser sammenlignes med et referansealternativ som her er dagens dieseldrift. CO₂ utslipp og lokale utslipp er prissatt. Det betyr at om et konsept kommer ut i negativ nåverdi er dagens dieseldrift mer samfunnsøkonomisk lønnsom enn ny energibærer. Motsatt er det om nåverdien er positiv, da er ny energibærer samfunnsøkonomisk lønnsom. Dette forutsetter at inndataene til den samfunnsøkonomiske analysen er realistiske.

Det er gjort et omfattende arbeid i KVV-en med innsamling av data og energisimuleringer. Ved hjelp av dette er det beregnet de parametere som endrer seg ved å gå bort fra dieseldriften. De viktigste er:

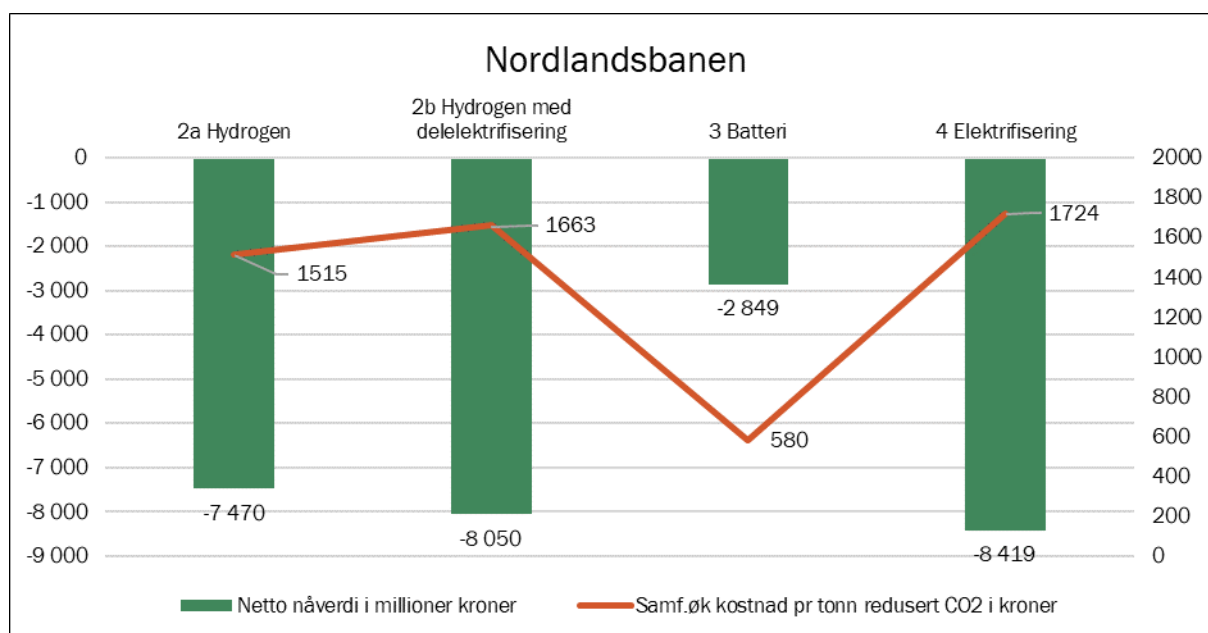
- Infrastrukturkostnad
- Kjøretøykostnad
- Energi- og vedlikeholdskostnader til kjøretøyene
- Vedlikeholdskostnader til infrastrukturen
- Kjøretidsreduksjoner godstog
- Prissatte lokale og globale utslipp

Det som kjennetegner konseptene med batteritog og elektriske tog er at de bruker ca. en tredjedel av energien som brukes av fossildrevne tog og koster derfor mindre å fremføre. Hydrogenkonseptene, spesielt 2a, gir ikke slike store reduksjoner i driftskostnadene for operatørene. Men i en samfunnsøkonomisk analyse har investeringskostnadene ofte vel så stor betydning, og her er det langt mindre investeringer ved konsept 2. Dette tilsier at hvis det er relativt mye togtrafikk, så vil det favorisere alternativene med elektriske tog og batteritog, mens hvis det er relativt lite togtrafikk, så vil det favorisere alternativene med hydrogen.

6.9.1 Nordlandsbanen

Figur 22 viser samfunnsøkonomiske netto kostnader pr tonn reduserte CO₂-utslipp for Nordlandsbanen. Den samfunnsøkonomiske netto kostnaden ved å redusere CO₂-utslipp er netto nåverdi dividert på CO₂-utslippet fra byggefasen og helt ut levetiden på jernbanen som er satt til 75 år. Når netto nåverdi er negativ betyr det at det er en netto samfunnsøkonomisk kostnad i forhold til dagens dieseldrift (referansealternativet) ved å redusere CO₂-utslippene med de tiltakene som er valgt, selv om CO₂-utslippene er prissatt. Netto nåverdi er summen av alle fremtidige fordeler og ulemper ved tiltaket for samfunnet som en nåverdi. Når netto nåverdien er negativ for alle tiltak betyr det pr definisjon at de er samfunnsøkonomisk ulønnsomme og at diesel kommer best ut som konsept etter de prissatte virkninger.

Beregningen viser at batterikonseptet kommer best ut av alternativene til fossil diesel på Nordlandsbanen med en netto nåverdi på - 2 849 millioner kroner. Netto samfunnsøkonomisk kostnad per tonn redusert CO₂ utslipp er netto nåverdi delt på klimagassutslippet på 4 910 671 tonn i hele beregningsperioden fra utslipp i byggefasen til og med utslipp hele analyseperioden på 75 år. Det vil si at det er en netto kostnad for samfunnet på 580 kroner pr tonn redusert CO₂ utslipp for batteridrift som kommer best ut på Nordlandsbanen. For de andre konseptene er det en netto kostnad på mellom 1 515 -1 724 kroner per tonn CO₂. Det som prissettes er kun utslipp direkte fra dieselforbruk på anleggsplassen og til massetransport. Disse utslippene er begrensede og utgjør mest for elektrifisering med 47 000 tonn CO₂ på Nordlandsbanen som prissettes etter karbonprisbanen i nyttekostnadsanalysen. Andre utslipp som er innenfor kvotesystemet for CO₂ utslipp antas fanget opp i investeringskostnadene.



Figur 22: Netto nåverdier og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂-utslipp for Nordlandsbanen

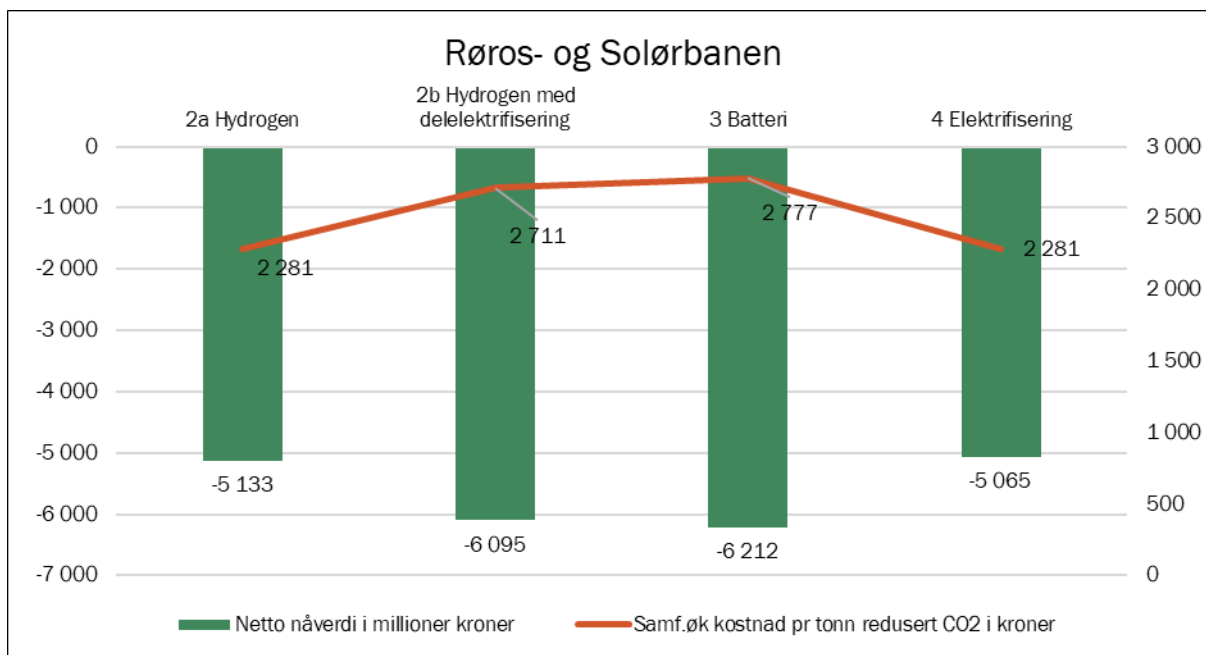
Det er forholdsvis store investeringer i infrastruktur som kontaktledninger, omformerstasjoner med mer på omtrent 6,4 milliarder kroner for batteri, men effekten via billigere og mer effektiv drift gjør at batterikonseptet kommer best ut på Nordlandsbanen, der det kjøres relativt mye tog sammenlignet med andre jernbanestrekninger det kjøres dieseltog. Infrastrukturen har en levetid på 75 år for kontaktledningsanlegg og det er derfor regnet slike positive virkninger så langt frem i tid fra antatt åpningsår for drift i 2033.

Til sammenligning har hydrogen 2a investeringer i infrastruktur som blant annet hydrogenfyllestasjoner og jernbanespor tilknyttet disse samt verksteder og beredskapstiltak på 2,8 milliarder kroner, altså godt under halvparten av batterikonseptet. Men hydrogen 2a kommer dårligere ut på grunn av høye driftskostnader for togene. Både batteri og hydrogen har dyrere kjøretøy enn diesel, men det er kostnaden ved å fremføre togene som blir avgjørende. Det er også regnet godsnytte av at togene kjører fortere på Nordlandsbanen med ca. 25 minutter mellom Bodø og Trondheim for batterikonseptet og hydrogen 2b samt 50 minutter for elektriske lokomotiv. Elektrisk er den mest effektive driftsformen, men høye investeringer på infrastrukturen på 21,3 milliarder kroner, gjør at de andre tre konseptene kommer bedre ut.

Hydrogenkonseptet med deelektrifisering er ikke så effektivt, og det er dyrere å fremføre togene enn for batterikonseptet. Det krever mer investeringer enn konsept 2a på grunn av deelektrifiseringen. Det er investeringer på jernbaneinfrastrukturen på 4,6 milliarder kroner for konsept 2b på Nordlandsbanen. Hydrogen med deelektrifisering gir cirka samme energi- og vedlikeholdskostnader for godstog som dagens dieseldrift og en forbedring for persontogene på Nordlandsbanen. For batteri er det store reduksjoner i fremføring av togene for godsoperatørene som en antar slår ut i nytte for godskundene gjennom at de betaler mindre for transporten. Det er også store reduksjoner for persontransportoperatørene.

6.9.2 Røros-/Solørbanen

Figur 23 viser samfunnsøkonomiske netto kostnader per tonn reduserte CO₂-utslipp for Røros- og Solørbanen.



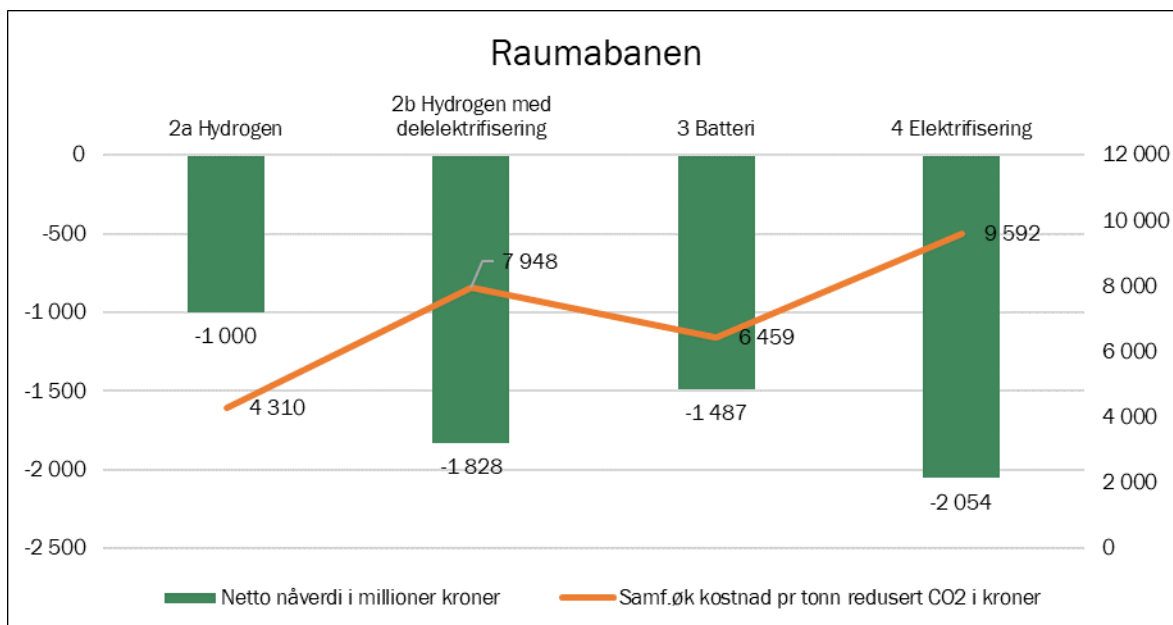
Figur 23: Netto nåverdier og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂-utslipp på Røros- og Solørbanen

For Røros- og Solørbanen kommer elektrifisering marginalt bedre ut enn neste beste konsept, Hydrogen 2a, selv om elektrifisering har en investeringskostnad på 8,6 milliard kroner. Det skyldes at hydrogenkonseptene har så mye større negative konsekvenser for driften gjennom dyrere kjøretøy og at det er dyrere å kjøre hydrogentog enn elektriske tog. Dessuten har hydrogenkonseptene betydelige investeringer på infrastrukturen, særlig konsept 2b med 2,4 milliarder kroner. Batterikonseptet kommer dårligst ut på grunn av relativt høye investeringer på infrastrukturen på 5,4 milliarder kroner og kostbart kjøretøy samt batterikostnader.

Det presiseres at ingen av konseptene er samfunnsøkonomisk lønnsomme på Røros- og Solørbanen, da netto nåverdien er klart negativ, det vil si at referansealternativet diesel kommer best ut.

6.9.3 Raumabanen

Figur 24 viser samfunnsøkonomiske netto kostnader per tonn reduserte CO₂-utslipp for Raumabanen. Heller ikke for Raumabanen kommer noen konsept ut i positiv samfunnsøkonomisk netto nåverdi. Hydrogenkonseptet kommer best ut med en netto nåverdi på fremtidige nytte- og kostnadsvirkninger i 75 år på – 1 milliard kroner. Samfunnsøkonomisk netto kostnad pr tonn redusert CO₂-utslipp er 4 310 kroner for hydrogen 2a på Raumabanen.



Figur 24: Netto nåverdier og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂-utslipp for Raumabanen

Raumabanen er korteste banestrekning og i forhold til Røros- og Solørbanen er det betydelig mindre investeringer. Batterikonseptet er beregnet å kreve 1,1 milliard kroner i investeringer på jernbaneinfrastrukturen. Det gir positive virkninger for godskundene med en nedgang på -21 millioner kroner i sparte transportkostnader i 2060. Da er også kjøretidsgevinsten på 19 minutter fra Åndalsnes og opp til Dombås tatt med.

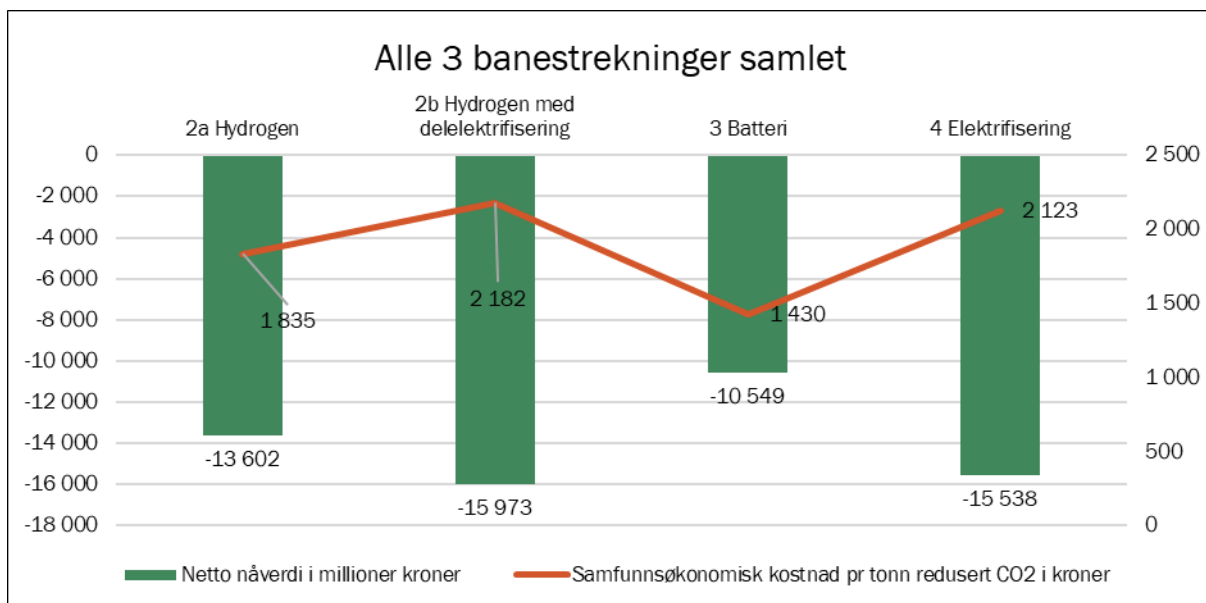
Hydrogenkonsept 2a krever mindre investeringer på infrastrukturen enn 2b, og kommer derfor best ut av hydrogenkonseptene.

6.9.4 Banestrekninger samlet

Figur 25 viser samlet netto nåverdier for hver ny energiform for de tre aktuelle jernbanene samlet.

Samlet sett kommer batteri best ut med minst negativ nåverdi på -10,5 milliarder kroner. Nest best kommer hydrogen 2a med ca. -13,6 milliarder kroner. Siden nåverdien av alle alternativ er negativ kommer referansealternativet best ut når en prissetter CO₂-utslipp etter hovedalternativet for karbonprisbane. Batterikonseptet kommer klart best ut der det kjøres mest tog (på Nordlandsbanen). Netto nåverdi for batteri er drøyt 3 milliarder kroner bedre enn hydrogen 2a, som kommer nest best ut. Hydrogenkonseptene kommer dårligere ut enn batteri som en følge av høye driftskostnader og kostbare kjøretøy, selv om investeringene på infrastrukturen er lavere enn for batteri.

Den samfunnsøkonomiske netto kostnaden pr tonn redusert CO₂-utslipp er best for batteri, med 1 430 kr pr tonn.

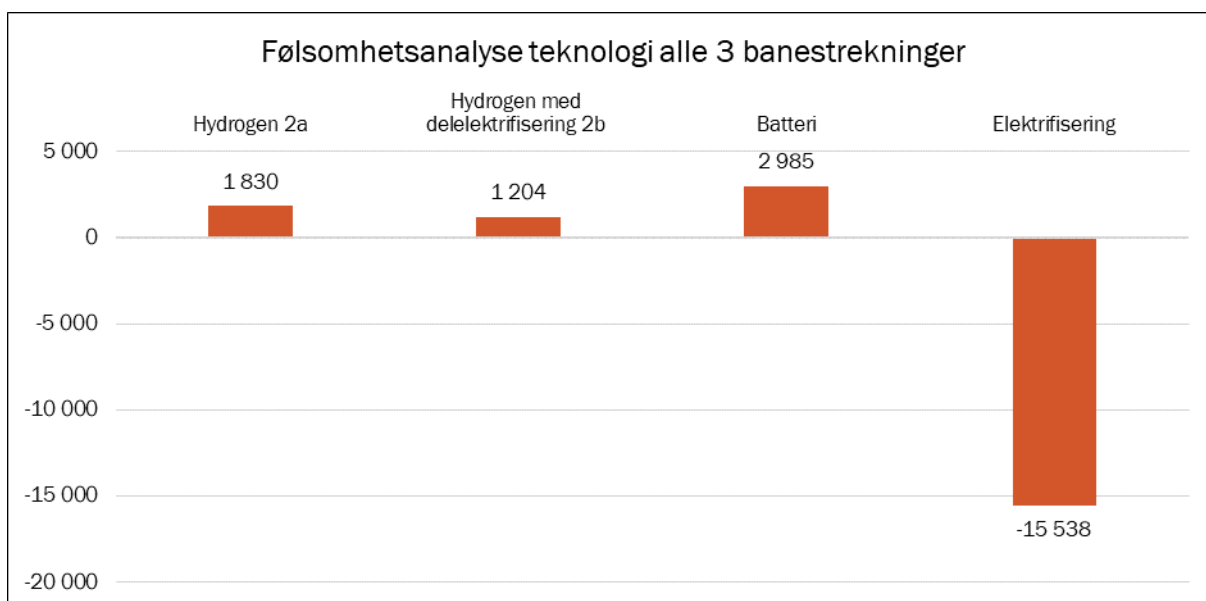


Figur 25: Netto nåverdier og samfunnsøkonomiske kostnader per tonn redusert CO₂-utslipp for alle 3 banestrekninger samlet

6.9.5 Følsomhetsanalyser

Det er også gjort følsomhetsanalyser med en mer optimistisk teknologiutvikling og endrede energipriser som endrer på rangeringen av konsepter i favør av hydrogen ved lave energipriser. Resultatene ovenfor er dermed beheftet med usikkerhet.

Spesielt er det sett på følsomhetsanalyser der umodne teknologier som hydrogen og batteri får en mer optimistisk teknologiutvikling. Figur 26 viser resultatet med en optimistisk teknologiutvikling for alle baner. Det er lagt til grunn rimeligere kjøretøy og rimeligere batterier i konsept 2 og 3, mer effektiv energiutvinning/forbruk og rimeligere fyllestasjoner i konsept 2 og behov for en lavere andel deelektrifisering i konsept 3. Det er ikke forutsatt tilsvarende endringer for referansealternativet diesel og elektrisk drift, som begge er modne teknologier.

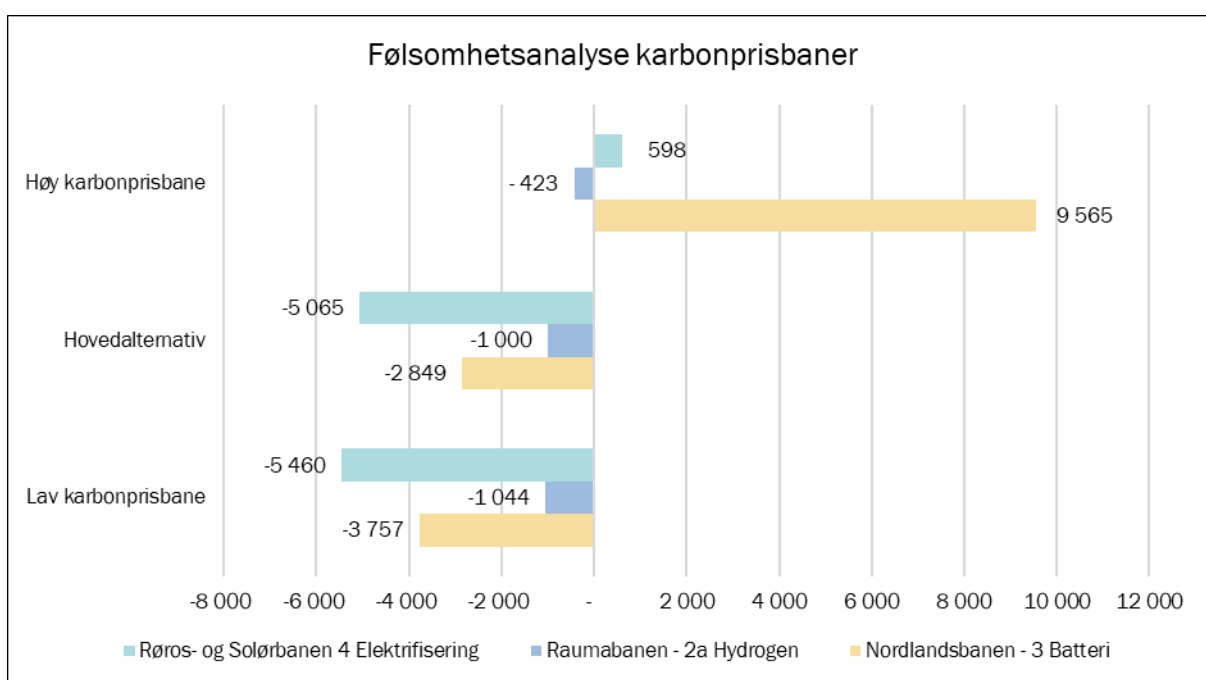


Figur 26: Følsomhetsanalyse teknologi for alle tre banestrekninger. Netto nåverdier i millioner kroner med optimistisk teknologisk utvikling

Med et slikt scenario blir både batteri- og hydrogenkonseptene klart samfunnsøkonomisk lønnsomme. Det er imidlertid hydrogenkonseptene som får mest fordeler av en slik optimistisk teknologisk utvikling som reduserer driftskostnadene, da det er her potensialet for effektivisering av driften er størst. Figuren viser at hydrogen 2a kommer adskillig nærmere batteri i netto nåverdi enn i basisalternativet ovenfor. Men batteri får likevel med et slikt scenario 1 milliard kroner bedre nåverdi enn hydrogen 2a.

Batteri kommer best for alle tre banestrekningene samlet sett i hovedberegningen, og i følsomhetsanalysene med økt trafikkvekst, høye energipriser og optimistisk teknologiutvikling. Hydrogen 2a kommer best ut kun i følsomheten med lave energipriser. Det synes rimelig da å konkludere med at batterikonseptet er beste konsept om det blir aktuelt å innføre samme energiform på alle tre banestrekningene.

I denne nyttekostnadsanalysen har karbonprisbaner stor betydning. Karbonprisen/CO₂-prisen avgjør nyttegevinsten av reduserte CO₂-utslipp. Det er lagt opp til følsomhetsanalyser med lav og høy karbonprisbane i retningslinjene for samfunnsøkonomiske analyser til Finansdepartementet. Det er sett på hvilke utslag dette gir for de beste konseptene målet etter nåverdi på hver banestrekning. Resultatet ble som i Figur 27.

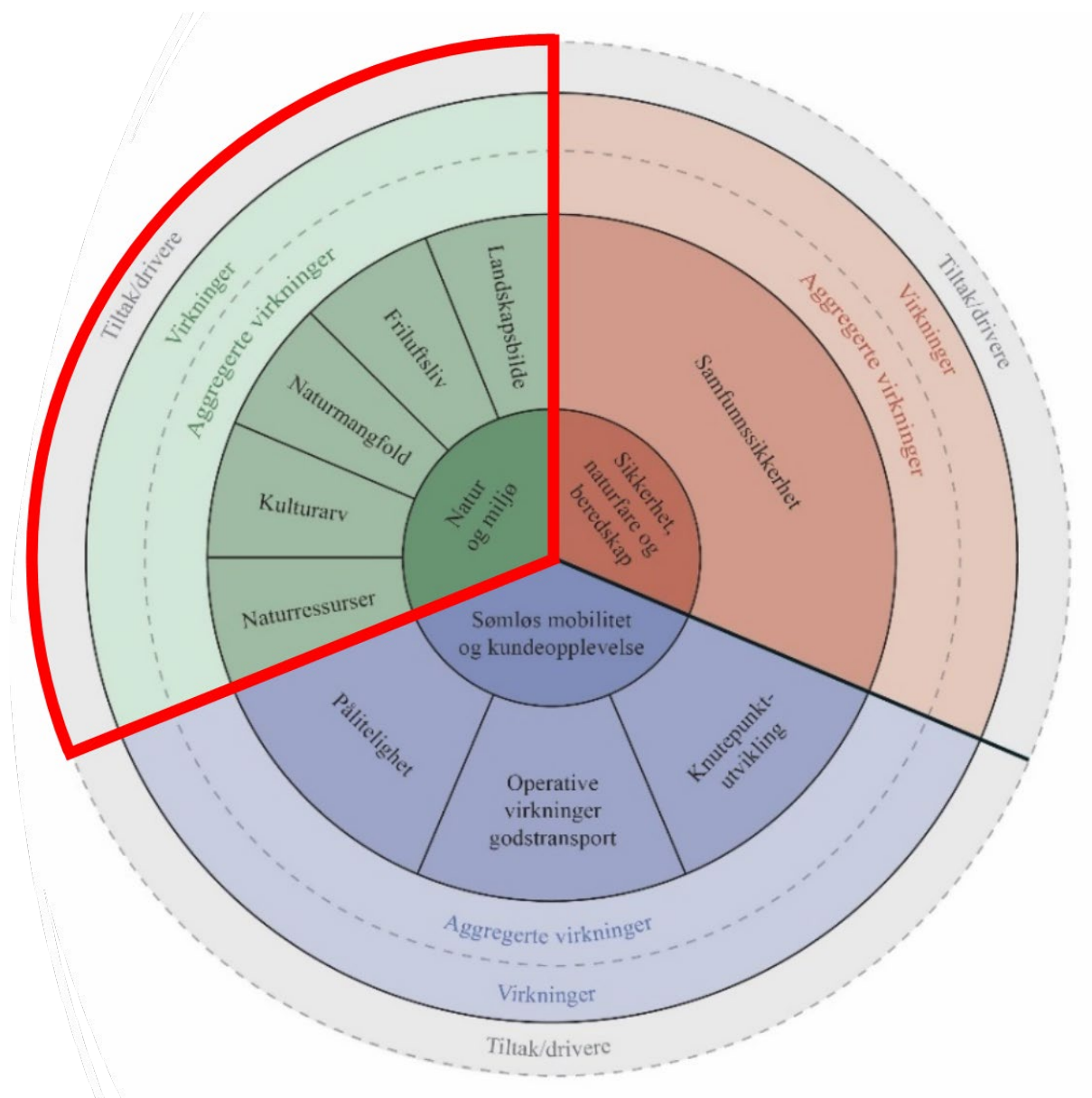


Figur 27: Følsomhetsanalyse karbonprisbaner. Netto nåverdi i millioner kroner

Prisene er usikre. Den høye prisbanen tar utgangspunkt i det FNs klimapanel (IPCC) mener er nødvendig for å begrense global oppvarming til 1,5 grader. Med en slik prissetting blir batterikonseptet på Nordlandsbanen svært lønnsomt med en netto nåverdi på 9,6 milliarder kroner. Elektrifisering av Røros- og Solørbanen kommer gunstig også ut i samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Dette illustrerer hva usikkerheten om anslag i karbonpris gir som utslag. En ny artikkel i tidsskriftet Samfunnsøkonomen nr. 3 i 2023 konkluderer med at hovedalternativet for karbonprisbane som Finansdepartementet legger til grunn er for lavt, og forfatterne anbefaler en karbonprisbane som ligger i nærheten av banen som FNs klimapanel anbefaler [18]. Det er lite sannsynlig at karbonprisene vil reduseres relativt til karbonprisene i hovedalternativet.

6.9.6 Ikke-prissatte virkninger (IPV)

Det er gjennomført en analyse av ikke prissatte virkninger. De ikke-prissatte virkningene vil være av mindre omfang sammenlignet med bygging av ny jernbane. De ikke-prissatte virkningen omfatter inngrep i natur og miljø, konsekvenser for samfunnssikkerhet og innvirkning på sømløs mobilitet og kundeopplevelsen. Som følge av at KVVU-en er en utredning i tidligfase, er det stor usikkerhet knyttet til inngrepene i natur som vil følge av de vurderte, og denne usikkerheten gjelder også IPV-analysen.



Figur 28 IPV-hjulet angir aktuelle ikke-prissatte virkninger. Det markerte feltet angir de virkningene som er vurdert som del av den samfunnsøkonomiske analysen.

Tabellene nedenfor sammenstiller rangeringen av konsept for den enkelte banestrekning etter både prissatte og ikke prissatte virkninger i basisalternativet. Konklusjonen er at de ikke prissatte virkninger ikke vil endre rangeringen etter prissatte virkninger for beste konsept på de 3 jernbanene, men det blir noen endringer i rekkefølgen under beste konsept.

6.9.7 Rangering av alternativene

Nordlandsbanen

Det er sammenfallende vurdering av batteri som beste konsept iht. både prissatte og ikke-prissatte virkninger. Hydrogen 2a har ca. 1 mrd. kr høyere netto nåverdi enn 4 elektrifisering og det vurderes at 2a samlet sett kommer bedre ut. For 2b og 4 er forspranget på 369 millioner kroner for 2b så vidt lite at vi rangerer 4 foran.

Tabell 24 Rangering av alternativer etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Nordlandsbanen

Samfunnsøkonomisk analyse				Ikke prissatte virkninger (IPV)	Samlet vurdering
Rangering	Rangering	Netto nåverdi (mill. nok)	Kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp	Rangering	Rangering totalt
1	3 Batteri	-2 849	580	3 Batteri	3 Batteri
2	2a Hydrogen	- 7 470	1 515	4 Elektrifisering	2a Hydrogen
3	2b Hydrogen med del-elektrifisering	-8 050	1 663	2a Hydrogen	4 Elektrifisering
4	4 Elektrifisering	-8 419	1 724	2b Hydrogen med del-elektrifisering	2b Hydrogen med del-elektrifisering

Røros- og Solørbanen

4 er marginalt bedre enn 2a vurdert etter de prissatte virkningene. Det samme er 2b sammenlignet med 3. Men 2a og 2b skårer dårligst på IPV, spesielt for naturmangfold. Fyllestasjonen på Støren er lagt til et svært viktig naturområde hvor flere utredninger konkluderer med at området bør spares for alle typer inngrep. Dette tilsier at 4 bør rangeres foran 2a, og 3 foran 2b.

Forskjellen mellom prissatte virkninger for konsept 3 og 4 er for stor til at IPV endrer rangeringen. Det samme gjelder for 3 og 2a. Usikkerheten knyttet til plassering av fyllestasjon for hydrogen og ulikheten i netto nytte gjør at 2a rangeres foran 3. Forskjellen mellom 3 og 2b er mindre, og de negative virkningene på naturmangfold gjør at 2b kommer dårligst ut i rangeringen etter IPV. Det understrekes at virkningen 2a og 2b har på naturmangfold, slik konseptene foreligger, gir arealbeslag av særlige viktige naturtyper av både lokal og nasjonal interesse.

Tabell 25 Rangering av alternativer etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Røros- og Solørbanen

Samfunnsøkonomisk analyse				Ikke prissatte virkninger (IPV)	Samlet vurdering
Rangering	Rangering	Netto nåverdi (mill. nok)	Kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp	Rangering	Rangering totalt
1	4 Elektrifisering	-5 065	2 216	3 Batteri	4 Elektrifisering
2	2a Hydrogen	-5 133	2 257	4 Elektrifisering	2a Hydrogen
3	2b Hydrogen med del-elektrifisering	-6 095	2 640	2a Hydrogen	3 Batteri
4	3 Batteri	-6 212	2 748	2b Hydrogen med del-elektrifisering	2b Hydrogen med del-elektrifisering

Raumabanen

IPV har samme rangering som de prissatte virkningene og endrer dermed ikke rangeringen.

Tabell 26 Rangering av alternativer etter både prissatte og ikke-prissatte virkninger på Raumabanen

Samfunnsøkonomisk analyse				Ikke prissatte virkninger (IPV)	Samlet vurdering
Rangering	Rangering	Netto nåverdi (mill. nok)	Kostnad per tonn redusert CO ₂ -utslipp	Rangering	Rangering totalt
1	2a Hydrogen	-1 000	4 310	2a Hydrogen	2a Hydrogen
2	3 Batteri	-1 487	6 459	3 Batteri	3 Batteri
3	2b Hydrogen med del-elektrifisering	-1 828	7 948	2b Hydrogen med del-elektrifisering	2b Hydrogen med del-elektrifisering
4	4 Elektrifisering	-2 054	8 894	4 Elektrifisering	4 Elektrifisering

6.10 Måloppnåelse

Effektmål 1 – Kortsiktige klimagassreduksjoner: Hvorvidt det er mulig å oppnå reduserte klimagassutslipp innen 2030 i de ulike konseptene avhenger i stor grad av tempo på beslutningene, prioritet, planlegging og gjennomføringen av konseptet. Nødvendig tid til planlegging, bygging og anskaffelse av kjøretøy gjør det urealistisk med en full innføring av noen av konseptene før 2030. Skal det realiseres effekt før 2030 er det helt avhengig av tidlige og tydelige beslutninger om nettopp dette. Ettersom den største usikkerhetsfaktoren er beslutningsprosessen, og denne er felles for konseptene, er alle konseptene gitt en svak positiv skår for dette effektmålet

Effektmål 2 – Langsiktige klimagassreduksjoner: Alle de nye energibærerne som vurderes vil ha null utslipp fra selve togtrafikken. All energi er forutsatt å ha sitt opphav i strøm fra fornybare kilder. Det er noe variasjon i klimagassutslipp som følge av realiseringen av konseptet, som utslipp fra tiltak i infrastruktur og produksjon av teknisk utstyr om bord i kjøretøyene. Konsept 3 batteri kommer best ut på hver bane og på totalen. Dette skyldes hovedsakelig at alternativ 3 har lavere utslipp fra drift per år enn alternativ 2a/b, og lavere utslipp fra anleggsfasen enn alternativ 4. Forskjellene er allikevel relativt små sammenlignet med forventede utslipp fra trafikk i referansealternativet.

Konseptene er vurdert å skåre likt på dette effektmålet. Alle konseptene som er utredet i alternativanalysen i KVV GREEN vil bidra til netto reduksjon av klimagassutslipp. Dette skyldes at utslipp fra diesel som energibærer for trafikken i referansealternativet er betydelig større enn utslippene fra utbygging og vedlikehold i driftsfasen. På de aller fleste baner vil overgangen til ny energibærer, og utslippene som følger av dette, være innspart innen 2-3 år eller mindre fra idriftsettelse (med unntak av Raumabanen).

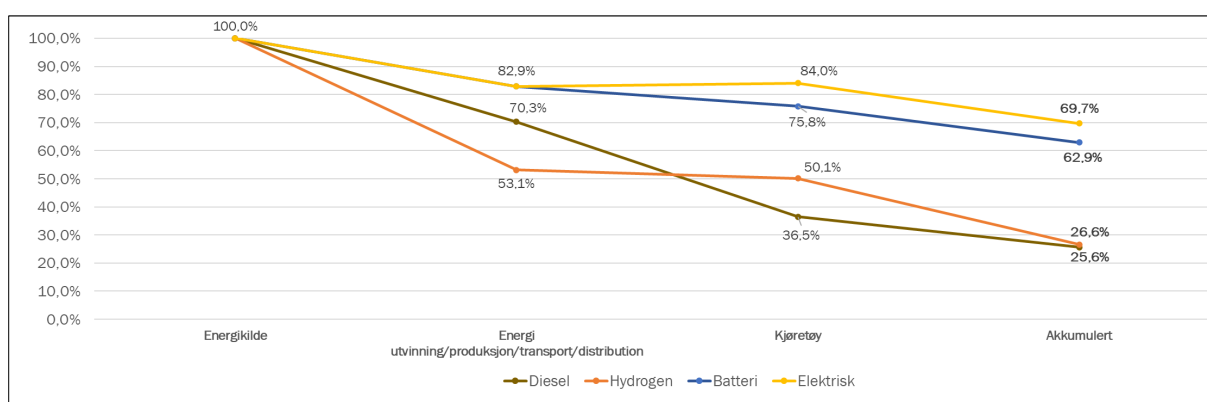
Tabell 27 Samlede klimagassutslipp for utbygging av hvert alternativ og bane

	Nordlandsbanen	Raumabanen	Røros- og Solørbanen	Summert
■ 2a Hydrogen	141 244	20 160	115 951	277 355
■ 2b Hydrogen med del-el	155 425	25 897	122 775	304 097
■ 3 Batteri	78 363	12 809	71 566	162 738
■ 4 Elektrifisering	125 555	20 801	80 282	226 638

Tabell 28 Tilbakebetalingstid av utbygging for klimagassutslipp på alle alternativ og baner

	Summert	Røros- og Solørbanen	Raumabanen	Nordlandsbanen
■ 4 Elektrifisering	2,8	3,5	8,6	2,2
■ 3 Batteri	1,4	2,2	3,8	1,0
■ 2b Hydrogen med del-el.	0,7	0,8	3,6	0,6
■ 2a Hydrogen	0,4	0,5	1,0	0,3

Effektmål 3 – Energieffektivitet: Alle alternativer skårer bedre enn referansealternativet på energieffektivitet. Hydrogenkonseptet er relativt likt dagens dieselkonsept på energieffektivitet om man måler direkte forbruk fra «well-to-wheel», men har vesentlig større potensiale for energioptimalisering i flere deler av kjeden, samt større muligheter for energibesparelser ved regenerativ bremsing enn dieselskjøretøyene. Batterikonseptet fremstår bedre enn diesel- og hydrogenkonseptene, og nesten like bra som det fullelektriske alternativet.



Figur 29 Konseptenes eksemplifiserte energieffektivitet "well-to-wheel". Hydrogenkonseptet har potensial for større energieffektivitet ved mer effektiv elektrolyse, samt gjenbruk av varme og oksygen. Batterikonseptet vil også ha potensial for bedre energieffektivitet ved mer effektiv regenerering, avhengig av topografi

Effektmål 4 – Togtilbudets attraktivitet: Flere av de egenskaper som følger av muligheten for å trekke energien direkte fra kontaktledningen (hel- og del-elektrifiseringsalternativene) gir fordeler for akselerasjonsevne og trekraft, og begrenser behov for energilagring om bord (effektiv tog lengde). Konseptenes skår for attraktiviteten i togtilbudet øker dermed i proporsjon med graden av elektrifisering som forutsettes i konseptet. For togtilbudets attraktivitet skårer alle konsepter likt for lade- og tankestopp, som har vist seg å ikke være nødvendig i noen konsepter. De skårer også likt for aksellast, da det forventes å være mulig å bygge lokomotiver med nye energibærere (inkludert batteri) uten å overskride 20,5 tonn aksellast.

Tabell 29 Oppsummering av måloppnåelse for effektmål spesifisert med verdier

Effektmål	Fossil diesel		Ikke fossil diesel		Hydrogen		Batteri		Elektrifisering	
	Verdi	Skår	Verdi	Skår	Verdi	Skår	Verdi	Skår	Verdi	Skår
1. Beregnet CO ₂ utslipp innen 2030	70 000	0	70 000	0	<70 000	(+)	<70 000	(+)	<70 000	(+)
2. Langsiktige CO ₂ utslipp (innen ca. 2050)	70 000	0	70 000	0	3 700 4 050	+++	2 200	+++	3 000	+++
3. Energi-effektivitet WTW	25,60 %	0	Varierer		24-35 %	+ *	63 %	++(+)	70 %	+++
3. Forbruk av knappe ressurser	0,2 %	0	4 %	- -	0,2 %	0	0,1 %	0	0,1 %	0
4. Akselerasjons- evne	Referanse	0	Som 0-alt.	0		+		++		+++
4. Trekkraft	Referanse	0	Som 0-alt.	0		+		++		+++
4. Lade-og- tankestopp	Referanse	0	Som 0-alt.	0		0		0		0
4. Effektiv toglengde	Referanse	0	Som 0-alt.	0		-		(-)		+

* For Hydrogen med deelektrifisering er skåren +(+)

6.11 Oppsummering av teknologisk modenhet

De vurderte alternativene har ulike teknologisk modenhet, TRL-nivå. Følgende tabell oppsummerer den forventede teknologiske modenheten for ulike teknologier som inngår i konseptene.

De primære kildene for TRL-vurderingene er RFlen som er gjennomført, samt kontakt med kjøretøyprodusenter underveis i gjennomføringen av prosjektet. Et TRL-nivå på 9 tilsier at teknologien er kommersielt tilgjengelig og har vært i bruk over tid under kommersielle rammer. Et TRL-nivå på 7 tilsier at det finnes fullskala prototype i markedsrelevant skala, mens for TRL 6 er det kun pilotskala som er vurdert under relevante driftsbetingelser. For TRL 5 er teknologien bare testet i laboratorieskala.

Tabell 30 Oppsummering av teknologisk modenhet (TRL-nivå) for ulike kjøretøytyper i hvert av konseptene

	0 Fossil diesel	2 Hydrogen	3 Batteri	4 Elektrifisering
TRL for regiontog i distrikt (55 m)	9	8/9*	8/9*	9
TRL for regiontog (110 m)	9	8/9*	8/9*	9
TRL for fjerntog (220 m)	9	6	6	9
TRL for godslokomotiv	9	5	7	9
TRL for energivogn	Ikke tillatt	6	6	Ikke relevant

* Teknologien er å anse som moden, men er ikke prøvd ut eller tatt i bruk under norske forhold.

Som tabellen over viser, er teknologien å anse som moden for de kortere kjøretøyene til persontrafikken også for de nye energibærerne hydrogen og batteri. Det er imidlertid en forskjell knyttet til erfaring med ulike driftssituasjoner, ettersom det ikke foreligger erfaring med bruk over tid av hydrogen- og batterikjøretøy under norske forhold. Driftssituasjonen i Norge, med hensyn til bl.a. vintertemperaturer og

snømengder er annerledes enn andre deler av Europa. Til sammenligning har man flere tiår med erfaring med drift av diesel og elektriske kjøretøy i Norge.

For de lange fjerntogene, samt for godslok og energivogner er teknologien mindre moden for de nye energibærerne. Piloter er gjennomført under relevante nok driftsbetingelser for både fjerntog og energivogner. For godslokomotiver er det en forskjell mellom hydrogen- og batterilokomotiver, der hydrogenlokomotiver framstår som en mindre moden teknologi enn batterilokomotiver.

Vurderingen av TRL-nivå over tar hensyn til modenheten på selve kjøretøyene og relevante erfaring med drift generelt, inkludert operasjonsmanualer og driftsprosedyrer. Status på regelverksutviklingen inngår imidlertid ikke i vurderingen. Regelverket for bruk av hydrogen og batteri på jernbanen er ikke ferdig utviklet, og det kan forventes utvikling i dette i årene som kommer.

Modenheten for kjøretøy med hydrogen og batteri vurderes som lik for alle kjøretøykategorier, unntatt godslokomotiv, der batteri har et TRL-nivå på 7, og hydrogen på 5. Risikobildet framstår allikevel som noe annerledes som følge av at man er avhengig av stor markedsinteresse for å sikre fortsatt modning av teknologiene og for å redusere kostnadene. Driftskostnadene er høyere for hydrogenkjøretøy enn for batterikjøretøy, samtidig som den tekniske kompleksiteten er høyere (hydrogenkjøretøy har hydrogentank og brenselceller i tillegg til batterier). Det anses dermed at det er høyere risiko for at utviklingen av hydrogenkjøretøy for jernbanen ikke vil bli som forventet, enn det er for batterikjøretøy.

6.12 Arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver

Skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver i Norge er kun dieseldrevne og har andre behov og krav enn kjøretøy for person- og godstransport når det gjelder bruksmønster og arbeidsoppgaver, variasjon innen type maskiner, nødvendig fleksibilitet, tidsperspektiv og eier-/brukerstruktur. Dieseldrevne arbeidsmaskiner opererer både på elektrifiserte og ikke-elektrifiserte banestrekninger, de har et variert kjøremønster med behov for å kunne ta seg frem på alle jernbanestrekninger i avvikssituasjoner, samt at de må ha tilstrekkelig energikapasitet om bord til å utføre nødvendige arbeidsoperasjoner. Av disse årsakene er det ikke funnet hensiktsmessig å la arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver være førende for valg av konsept for person- og godstogene. I utredningen er arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver derfor ikke inkludert i alternativene som er utarbeidet for person- og godstransport, men håndtert ved hjelp av supplerende vurderinger til alternativene for person- og godstransport.

6.12.1 Arbeidsmaskiner

Skinnegående arbeidsmaskiner som benyttes i Norge eies både av norske og utenlandske selskap, og brukes av ulike aktører som utfører drift og vedlikehold av jernbanens infrastruktur, på oppdrag for Bane NOR. Maskinene omfatter flere typer, og benyttes til ulike formål med tilhørende muligheter og begrensninger knyttet til energibærere. Det er viktig å vurdere driftsmodellen, med hensyn til stasjoneringssted, operasjonsradius eller andre tiltak, ved overgang fra fossil diesel til drift med utslippsfri teknologi. Muligheter og begrensninger omfatter blant annet energi- og effektbehov, sikkerhet, teknisk modenhet, tilgjengelighet av tekniske løsninger og tilgjengelighet av energiforsyning. Dette tilsier at mulige tiltak for å redusere klimagassutslippene kan variere fra maskintype til maskintype, og innføring av tiltak angår mange aktører. Det er verdt å merke seg endringene i anskaffelsesforskriftens § 7-9 (2) som trer i kraft fra nyttår 2024. Her gjøres det tydelig at klima- og miljøhensyn skal vektes med minimum tretti prosent i offentlige anskaffelser. Dette vil antagelig bidra til utslippsfrie løsninger når disse kjøretøyene skal skiftes ut. Forskriften vil også kunne fremskynde utviklingen, som følge av at markedsaktørene ser muligheten for å skaffe seg fortrinn i fremtidige konkurranser.

Tabell 31 Stasjoneringssteder for Bane NORs arbeidsmaskiner på de ikke-elektrifiserte banene

Bane	Stasjoneringssteder
Nordlandsbanen	Trondheim, Hell, Grong, Mosjøen, Mo I Rana og Fauske.
Rørosbanen	Hamar, Elverum, Røros, Haltdalen, Trondheim.
Solørbanen	Kongsvinger, Braskereidfoss, Hamar, Elverum.

Mulighetene i dag for å redusere klimagassutslippene kan variere innen de fire ulike maskinkategoriene (beskrevet i alternativanalysen). Ønsket om å ta i bruk utslippsfri teknologi er også betinget av krav i konkurranser ved utsetting av oppdrag i markedet. Disse kravene blir stadig strengere, med hensyn til pålegg om å vekte klimagassreduksjoner høyt i konkurransene. Utlysning av oppdrag i infrastruktur følger europeiske krav, som fører til at det både er norske og utenlandske aktører med egne maskiner som utfører oppdrag.

De elektrifiserte banestrekningene har størst trafikk. På disse utføres også størst andel arbeid på jernbanen, og det er funnet at 80 % av utslippene fra skinnegående arbeidsmaskiner kommer fra dieseldrevne maskiner på allerede elektrifiserte banestrekninger [7]. Utskifting av disse maskinene til maskiner med teknologi for lavere CO₂-utslipp er derfor identifisert som en «lavthengende frukt» for å oppnå utslippsreduksjoner. Avhengig av den teknologiske utvikling og tilgjengeligheten av utslippsfri teknologi for skinnegående arbeidsmaskiner kan følgende tre trinn være aktuelle:

1. Kategori A (lastetraktorer) og kategori B (revisjonsvogner og ledningsvogner) antas å kunne bli utslippsfrie på dagens elektrifiserte baner. For disse maskinene finnes hybride batteri-kontaktledning-kjøretøy med høy teknologisk modenhet tilgjengelig i markedet, som kan utnytte eksisterende kontaktledning som energibærer. Lastetraktorer er arbeidsmaskiner som brukes både på baner med og uten elektrifisering, hvor oppgaven kan være transport av personell og materiell, bruk av løfteinnretninger, snørydding, feilretting, visitasjon osv. og følgelig finnes det flest av denne typen kjøretøy. En annen type kjøretøy som det finnes flere av er ledningsvogner-/revisjonsvogner som kun benyttes på elektrifiserte baner. Til sammen utgjør lastetraktorer og ledningsvogner hovedandelen av de skinnegående arbeidsmaskinene på elektrifiserte baner. Det er mulig å erstatte fossil dieseldrift med hybrid batteri-kontaktledning eller kun batteridrift, og antas kun å kreve enkel DC-lading hvor maskinene er stasjonert. DC-ladingen er tilsvarende de ladestasjoner som planlegges for lastebil på veinettet. Under transport vil arbeidsmaskinene kunne benytte kontaktledning til lading og kjøring, men ved utfall av strømforsyning eller der det ikke er kontaktledning benyttes batteridrift. Sammenlignet med kjøretøy for vei vil derfor stasjonærlading i mindre grad være nødvendig.

Det er også vurdert å være høy teknologisk modenhet for rene batterimaskiner, hydrogenmaskiner og hybride maskiner hydrogen-kontaktledning, men maskiner med disse teknologiene har lavere tilgjengelighet i markedet.

2. I et tilfelle der de ikke-elektrifiserte banene bygges ut med del- eller hel-elektrifisering, kan kjøretøysanskaffelsene i trinn-1 gjentas med hensyn på teknologivalg. Med dette kan det legges til rette for en ensartet flåte innen arbeidsmaskiner kategori A og B. kontaktledning vil da være tilgjengelig for transportmodus og lading ved kjøring.
3. I perioden frem til 2050 er det sannsynlig at den teknologiske utviklingen for maskiner i kategori C og D gjør det mulig med anskaffelse av nullutslippsteknologi. Nevnte maskintyper har ofte et felles europeisk arbeidsmarked og anskaffes når kundene etterspør utslippsfrie løsninger. I begynnelsen av perioden frem til 2050 vil denne typen maskiner i økende grad bli levert som hybrid diesel-kontaktledning eller tribride kontaktledning-diesel-batteri, noe som vil redusere dieselforbruket på de elektrifiserte banestrekningene. Hydrogen kan være aktuell som energibærer for de maskintypene hvor kravet til energilager er høyt, som for eksempel høyfjellsfreser eller andre spesialmaskiner hvor kontaktledningen ikke kan benyttes eller batterikapasiteten blir for lav.

Hydrogendrift for hovedtyngden av arbeidsmaskiner vurderes å være lite hensiktsmessig der det finnes elektrifisering eller delelektrifisering. Følgelig kan det være hensiktsmessig at kategori A og B arbeidsmaskiner følger energivalg for konsept som velges for person og godstrafikken.

Svakheten med energibærere som batteri og hydrogen er at de krever større andel av kjøretøyetets nyttelast eller volum for å utføre samme arbeid sammenlignet med fossil diesel. For hybride batteri-kontaktledning arbeidsmaskiner vil også komponenter være plass- og vektrevende, men i adskillig mindre grad enn helbatteri og hydrogen. Fordelen med batteriteknologi i kombinasjon med delelektrifisering eller elektrifisering er at lading kan skje i fart og at det av denne grunn ikke kreves så mye energi/rekkevidde

direkte fra batteripakken. Batteripakken i kategori A og B kan ligge i et område på 500-700 kWh, dvs. en størrelsesorden 7 ganger et personbilbatteri.

Situasjonen for noen av spesialmaskinene i kategori C og D vil være at batteridrift uten tilgang på lading fra kontaktledning eller en hydrogenløsning vil være krevende med hensyn på vekt og/eller volum.

Generelt er det ikke funnet at valg av konsept for person- og godstog medfører teknologiske begrensninger for valg av energibærer for arbeidsmaskiner.

Som følge av eier og brukerstrukturen for arbeidsmaskiner vil det være opp til den enkelte eier/ bruker å beslutte valg av energibærer. Det teknologiske modenhetsnivået og markedstilgangen for lavutslipp-/nullutslippsmaskiner er i støpeskjeen, og etter hvert som dette utvikles, og krav til utslippsreduksjoner forsterkes, forventes det at den enkelte aktør tar egne beslutninger for egne maskininvesteringer, som kan bidra til ytterligere utslippsreduksjoner. Mest sannsynlig vil ombygging eller skifte av arbeidsmaskiner gjennomføres gradvis etter hvert som det blir behov for utskiftninger av maskinene. Spesielt vil maskiner med kort restlevetid, og som ikke får installert utstyr for ERTMS, anskaffes frem mot 2034. Innføring av incentivordninger kan bidra til å stimulere overgang til teknologi for reduserte klimagassutslipp.

6.12.2 Skiftelokomotiver

Skiftelokomotivene opererer inne på godsterminalene, og det finnes om lag 17 dedikerte skiftelokomotiver. Lokomotivene er 40-50 år gamle, og anses å være utskiftningsklare. I dag benyttes også dieseldrevne linjelokomotiver som skiftelokomotiver. Skiftelokomotivene eies hovedsakelig av godsoperatøren CargoNet AS (eid av Vy-konsernet). Skiftelokomotiver er teknologisk modne både for lokomotiver drevet av batteri, hybrid batteri-kontaktledning og hydrogen. I prinsippet er valget av energibærer for skiftelokomotivene uavhengig av energibærer på banestrekningene med person- og godstrafikk, men det vil være mulig å utnytte synergieffekter ved eksisterende energiforsyning slik som lading via kontaktledning dersom det finnes kontaktledning tilknyttet godsområdet, bruk av hydrogen dersom det er tilgjengelig fyllestasjon for hydrogen tilknyttet godsterminalen etc. Det anses som rimelig å forvente at skiftelokomotivene byttes ut med hybrid (kontaktledning/50Hz – Batteri) eller (batteri / hydrogen), slik at utslippsreduksjoner kan oppnås frem mot 2030. Innføring av incentivordninger kan bidra til å stimulere overgang til teknologi for reduserte klimagassutslipp, dette kan gjelde statlige godsoperatøren CargoNet eller private godsoperatøren Onrail AS.

6.12.3 Tiltak som kan bidra til utslippsreduksjoner uten skifte av energibærer

Det er identifisert tiltak som kan bidra til å redusere CO₂-utslipp fra arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver uten skifte av energibærer. Tiltakene vil virke indirekte eller direkte. De mest sentrale er:

- System for innsamling av data knyttet til forbruk av diesel fra arbeidsmaskiner og skiftelok. Etablering av en sentral datafangst, som kan skille på ulike maskintyper og hva de blir benyttet til, vil gi verdifull informasjon om kilder til utslipp, og vil kunne bidra til målrettede og utvalgte tiltak for reduksjon av utslipp.
- Optimalisering av vedlikehold, alternative måter å utføre den samme oppgaven på, optimalisering av kjøring og mindre tomgangskjøring, design av maskiner for å kunne gjøre flere jobber samtidig slik at operasjonstiden på den samme mengde arbeid blir redusert, omlegging av driftsmodell for beredskap for å optimalisere bruken av og nødvendig utstyr på maskinene, smarte energistyringssystem og smarte maskinløsninger for energioptimalisering, modulbasert fremdriftssystem osv. er tiltak som kan bearbeides og bidra til utslippsreduksjoner uavhengig av energibærer.
- Kravstilling og incentivordninger i form av å stille krav om klimagassutslipp i konkurransegrunnlag, og legge til rette for god vurdering for lave klimagassutslipp i infrastrukturavtaler, samt at Bane NOR som infrastruktureier stiller krav til leverandører av drift- og vedlikeholdstjenester med henblikk på klimagassutslipp. Incentivordninger til eksempelvis nyanskaffelser eller ombygging av maskiner kan være et alternativ, men dette vil kreve at Bane NOR utreder og forvalter en slik ordning, og at det settes av midler til dette.

6.12.4 Påvirkning på oppnåelse av effektmål

Utslippsreduksjoner fra skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver vil bidra til måloppnåelse for effektmålene 1 (jernbanen skal bidra til at transportsektorens utslipp reduseres med minst 55 % innen 2030), 2 (jernbanen skal bidra til at transportsektorens utslipp reduseres med minst 90-95 % innen 2050) og eventuelt 3 (mer effektiv bruk av samfunnets samlede energiresurser). For effektmålene 1 og 2 vil utslippsreduksjonene trolig være aktuelle frem mot 2034 ved erstatning av maskiner som ikke får installert ERTMS, og videre frem mot 2050 for øvrige maskiner. For skiftelokomotivene kan utslippsreduksjoner komme allerede frem mot 2030. De totale årlige CO₂-utlippene fra Bane NOR sine skinnegående arbeidsmaskiner er i størrelsesorden 3600 tonn CO₂-ekv per år [19]. En utskiftning av til nullutslippsløsninger for maskiner i kategori A og B, dvs. lastetraktorer og ledningsvogner, vil kunne gi et bidrag til utslippsreduksjoner i størrelsesorden 2600 tonn CO₂-ekv per år dersom alle maskiner i denne kategorien skiftes ut, ref. Tabell . Merk at dette kun er anslag basert på Bane NOR sine tall, og at utslippsreduksjoner fra maskiner fra andre eiere tilkommer utover dette. Etter hvert som det teknologiske modenhetsnivået øker, markedstilgangen for lavutslipp-/nullutslippsmaskiner blir høyere, og krav til utslippsreduksjoner forsterkes, vil den enkelte aktør ta egne beslutninger for egne maskininvesteringer, som kan bidra til ytterligere utslippsreduksjoner. For effektmål 4 (ivareta togtilbudets attraktivitet) tolkes arbeidsmaskinenes og skiftelokomotivenes betydning å være i hvilken grad de er i stand til å opprettholde forutsetningene for fremføring av person- og godstransport som kreves for at person- og godstransport skal ivareta sin attraktivitet. Det legges til grunn at tiltak for utslippsreduksjoner fra arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver som iverksettes vil oppfylle dette i tilstrekkelig grad, slik at måloppnåelse for togtilbudets attraktivitet forblir uendret.

7 Konklusjoner og anbefalinger

7.1 Metode og forutsetninger som ligger til grunn for anbefalingen

Forutsetninger og begrensninger

I utredningen er det lagt til grunn rendyrkede konsepter, men de samfunnsøkonomiske effektene er dekomponert til strekninger. I arbeidet med anbefalinger er det derfor gjennomført strekningsvise vurderinger og konklusjoner. Det er likevel viktig å være klar over at utredningen har lagt til grunn standardiserte kjøretøykonfigurasjoner og et generelt oppsett for infrastruktur, egnet for å velge mellom konsept. Det vil derfor kunne være stort potensiale for å optimalisere videre innenfor valgt konsept i neste fase, både med hensyn til kjøretøykonfigurasjoner og infrastruktur knyttet til den enkelte strekning og transportsegment.

Metode for rangering og anbefaling

Netto nåverdi og brutto nåverdi er to forskjellige måter å beregne verdien av en investering på. Netto nåverdi er verdien av en investering uttrykt i nåverdi. Dette får man ved å summere investeringsbeløp og nåverdien av de framtidige kontantstrømmene tilknyttet investeringen. Brutto nåverdi er summen av alle kontantstrømmene som genereres av en investering.

I henhold til KVV-veileder nummer 9 er det resultatene fra den samfunnsøkonomiske analysen som er lagt til grunn for å utarbeide en rangering mellom alternativene, både totalt og per ikke-elektrifisert strekning. Som beskrevet i mandatet er samfunnsøkonomisk effekt også synliggjort i netto nåverdikostnad per tonn redusert utslipp av CO₂-ekvivalenter. Rangeringen justert for ikke-prissatte virkninger gir lite utslag, da disse er svært usikre størrelser. Effektmåloppnåelse er imidlertid gitt en viss vekt. Spesielt er det effektmålet knyttet til energieffektivitet som gir utslag.

I henhold til rundskriv 108/19 fra Regjeringen er det også vektlagt realopsjoner knyttet til teknologisk utvikling og mer informasjon som kan tilsi utsettelse. Usikkerhet knyttet til ny teknologi opp mot kjent teknologi har også medvirket i anbefaling mellom alternativer som vurderes relativt likt i samfunnsøkonomisk lønnsomhet.

Tilfredsstillelse av rammebetingelser for konseptvalg og samfunnsøkonomisk lønnsomhet

Referansealternativet er vurdert å ikke tilfredsstille rammebetingelsene, og anses som utgående teknologi. På kort, og eventuelt mellomlang, sikt vil dagens løsning imidlertid kunne videreføres, i påvente av at teknologiske løsninger med akseptabel lønnsomhet utvikles. Spesielt gjelder dette strekninger og/eller segmenter med lave utslipp og høy investeringskostnad.

Ingen av alternativene er samfunnsøkonomisk lønnsomme, og selv om det er forskjell mellom batteri og hydrogen som konsepter, er disse teknologiene ikke fullt ut modne, spesielt ikke for godstrafikk. Teknologien er i sterk utvikling også for mer modne segmenter (slik som korte persontog). I andre sammenhenger ville det dermed vært naturlig å anbefale en ventestrategi, der problemstillingen vurderes på nytt etter at teknologien har blitt mer moden og det er tydeligere hvilken/hvilke nye energibærere resten av Europa satser på. Imidlertid er bakgrunnen for at utredningen gjennomføres, den globale klimakrisen og Norges forpliktelser til å redusere utslipp i henhold til Parisavtalen, av en art som tilsier at venting på ubestemt tid ikke er en akseptabel strategi.

I lys av dette, og i tråd med føringene i oppdragsbrevet, har utreder valgt å legge stor vekt også på den samfunnsøkonomiske kostnaden per tonn CO₂-ekvivalenter som reduseres (vist som NNV/tonn CO₂ i tabellene som følger). Klimakur 2030 deler tiltak inn i tre kostnadskategorier, kostnadskategori 1 har en tiltakskostnad under 500 kroner per tonn, kostnadskategori 2 mellom 500-1500, og kostnadskategori 3 over 1500. Identifiserte tiltak som når opp i kategori 1 eller 2 er vurdert som aktuelle for gjennomføring for å kutte nasjonale utslipp. Som følge av muligheter for optimalisering og teknologiutvikling vil også tiltak med tiltakskostnad like over kategori 2 være av interesse å se videre på, med mål om å redusere kostnad i neste fase.

I tillegg er effektmåloppnåelse knyttet til fremtidig situasjon (herunder fremtidige beregnede klimagassutslipp, som er en del høyere enn historiske utslipp dersom man fortsetter med dieseldrevne kjøretøyer) og risiko knyttet til det enkelte konsept inkludert i drøftingen og vurderingen av de ulike

konseptene, spesielt i tilfeller der den samfunnsøkonomiske analysen og de gjennomførte følsomhetsanalysene ikke angir en tydelig anbefaling.

7.2 Nordlandsbanen

Den samfunnsøkonomiske analysen viser at ingen av de utredede konseptene er samfunnsøkonomisk lønnsomme på Nordlandsbanen. Batterikonseptet er det alternativet som kommer nærmest referansealternativet i den samfunnsøkonomiske lønnsomhetsvurderingen. Det som gjør at batterikonseptet kommer best ut er at den har høy energieffektivitet og lavere driftskostnader enn hydrogen, men betydelig mindre behov for investering i infrastruktur enn elektrifisering av hele banen.

Tabell 32: Nøkkeltall for Nordlandsbanen i de ulike konseptene i mill. kr (unntatt NNV/tonn CO₂ som er per kr)

Mill kr.	2a Hydrogen	2b Hydrogen med del-elektrifisering	3 Batteri	4 Elektrifisering
Inv. infrastruktur	2 299	4 615	6 471	21 295
Inv. kjøretøy	11 806	11 806	10 092	5 849
Energikostnader pr år	228	219	50	62
Brutto nåverdi	-4 277	-3 229	3 208	10 912
Netto nåverdi	-7 470	-8 050	-2 849	-8 419
NNV/tonn CO ₂ , kr	1 515	1 663	580	1 724

Samfunnsøkonomi og følsomhetsanalyser

Følsomhetsanalysene viser at batterikonseptet har en netto nåverdi på 9,6 mrd. når høy karbonprisbane legges til grunn i den samfunnsøkonomiske analysen. Denne karbonprisbanen er konsistent med en karbonpris som bidrar til at globale klimagassutslipp ikke medfører en økning i temperaturer over 1,5 C. Ingen av de gjennomførte følsomhetsvurderingene endrer på konklusjonen om at konsept 3 Batteri er den mest samfunnsøkonomisk lønnsomme alternativet, og det anbefalte alternativet har god størrelsesmargin til de øvrige alternativene, med om lag 4,6 mrd. høyere samfunnsøkonomisk lønnsomhet enn det nest-mest lønnsomme alternativet.

Tiltakskostnad for klimagassreduksjon

Tiltakskostnaden for klimagassreduksjon for batterikonseptet (netto nåverdi per tonn CO₂e som reduseres) viser at batterikjøretøy i kombinasjon med del-elektrifisering av togtrafikken på Nordlandsbanen ligger i grensen mellom mest lønnsomme og nest mest lønnsomme kategori i henhold til Klimakur 2030 sin kategorisering, med 580 kr per tonn utslippsreduksjon [20]. Det betyr at dette tiltaket er blant de mer effektive måtene for samfunnet å redusere klimagassutslipp på.

Effektmåloppnåelse

Med hensyn til effektmåloppnåelse skårer elektrifisering best, og batteri nest best. De skilles ved at det i batterikonseptet vil være litt lavere attraktivitet i togtilbudet sammenlignet med elektrifisering.

Risiko og usikkerheter

Noe av det viktigste som skiller konsept 3 Batteri fra konsept 4 Elektrifisering er mengden kontaktledningsanlegg som må etableres, ettersom det i batterikonseptet kun elektrifiseres om lag 35 % av banen. Det andre viktige skillet er antallet tunneler, overgangsbruer og fagverksbruer som må bygges om for å få plass til kontaktledningsanlegg. Det er svært tett med tunneler på Nordlandsbanen, noe som øker den totale kostnaden av å elektrifisere. Det er mulig å føre strømmen gjennom tunneler og under lave overgangsbruer ved å legge den som en isolert kabel i bakken eller føre den ved siden av sporet (på tunnelveggen), for så å henge opp kontaktledningen igjen på andre siden av det lave objektet. Dette gir betydelig økt fleksibilitet for valg av løsning i batterikonseptet, og reduserer risiko for uforutsette kostnader til strossing/utbedring av infrastruktur over sporet, sammenlignet med konsept 4. I konsept 3 er det forutsatt behov for ombygging av én tunnel og tre overgangsbruer på Nordlandsbanen.

Den teknologiske modenheten for konseptet er vurdert å være høy for persontog. For godslokomotiver vil det være mulig å finne teknologiske løsninger, men disse vil ha noe høyere utviklingskostnader enn det som forventes for persontogskategoriene.

Det er identifisert risiko knyttet til framdrift og kostnader for utviklingen av nye kjøretøytyper, spesielt energivogn til godslokomotiver, for både batteri- og hydrogenkonseptet. Det forventes at risikoen er noe lavere for godstrafikk med batteri, sammenlignet med godstrafikk med hydrogen, som følge av utviklingen av godslokomotiver med batteri har kommet lengre enn for hydrogen. TRL-nivået for hydrogen- og batterivogner er vurdert som likt, men risiko knyttet til videre utvikling av teknologien vurderes allikevel å være noe ulik, som følge av at en batterivogn er mindre kompleks enn en hydrogenvogn, som har hydrogentanker og brenselceller i tillegg til batterier. Svar fra kjøretøysprodusenter i den gjennomførte RFI-en bekrefter dette bildet.

Selv om det påpekes at det er en viss risiko knyttet til anskaffelse og ibruktagelse av nye teknologier, ønsker KVVU-en å være tydelig på at det ikke anses å være en risiko for at batteridrift på Nordlandsbanen ikke er gjennomførbart også for godstogene. Det finnes batterilokomotiver i som er å få kjøpt i det Europeiske jernbanemarkedet, og det er per i dag mulig å bestille energivogner med batteri. Disse kjøretøyene er imidlertid ikke like det som er forutsatt i konseptet, og risikoen består i at det kan vise seg å være noe dyrere eller ta lengre tid enn antatt å anskaffe akkurat de løsningene som det vil være behov for på Nordlandsbanen, og at mer kunnskap om ytelsen til kjøretøyene vil være nødvendig for å sikre riktig mengde og plassering av del-elektrifiseringen.

Anbefaling

Alternativ 3 Batteri (med delelektrifisering) anbefales for Nordlandsbanen. Anbefalingen vurderes å være robust for endrede forutsetninger i den samfunnsøkonomiske analysen, og anbefalingen har god størrelsesmargin mot de øvrige konseptene. Batterikonseptet har nest best effektmåloppnåelse og anses som robust, da alternativet gjør det klart best i den samfunnsøkonomiske analysen og følsomhetsanalysen. Det er vurdert at den teknologiske modenheten vil være høy for persontogkjøretøy og godslokomotiver med batterier i år 2030, men at det er noe større risiko og usikkerhet knyttet til godslokomotiver, som følge av at utviklingen har kommet kortere der.

Ettersom batterikonseptet på Nordlandsbanen har den laveste tiltakskostnaden for reduksjon av klimagassutslipp på jernbanen, anbefales det at den prioriteres først av de tre aktuelle banestrekningene. Tiltaket ligger blant de rimeligste tiltakene i Klimakur 2030 tiltakskategori 2, og det anbefales dermed at tiltaket prioriteres høyt sammenlignet med andre mindre effektive klimatiltak og andre tiltak i samferdselssektoren. Det bør også prioriteres for tidlig gjennomføring.

Den største usikkerheten i batterikonseptet er teknolog utviklingen og kostnaden ved løsningen for integrering av batteriene i godslokomotivene og/eller tilhørende energivogn. Usikkerheten er ikke primært teknologisk; på grunnlag teknologisk utvikling både i USA/Canada og i Europa, forventes det at teknologiske løsninger som er aktuelle for bruk i Norge vil være tilgjengelige. Det kreves imidlertid et visst volum av bestillinger for å få kostnadseffektive leveranser av den nye teknologien, og usikkerheten består først og fremst i hvor fort dette vil skje.

Det er i KVVU-en forutsatt elektriske lokomotiver med en separat batterivogn, Uavhengig av endelig løsning, forventes det at godslokomotiver med batteridrift (innebygget eller i en energivogn) vil koste mer, potensielt betydelig mer, enn diesel eller bimodale (diesel-kontaktledning) lokomotiver. For å sikre at togoperatørene faktisk vil benytte seg av muligheten for batteri-elektrisk drift, må det vurderes å innføre incentivordninger for overgang til utslippsfri teknologi.

Optimalisering og videre arbeid

Utredningen av konsept 3 batteri har analysert en plassering av elektrifiserte strekninger som tar utgangspunkt i den kunnskap som foreligger per i dag vedrørende energikapasitet i batterier, tilknytningspunkter til det overliggende nettet, høyder i tunneler, mv. Det er ikke ment som en anbefaling om akkurat denne plasseringen. Det vil være behov for ytterligere utredning av dette. Konseptet slik det er analysert inkluderer ikke elektrifisering mellom Stjørdal og Steinkjer. Selv om dette potensielt kan gi økte kostnader til kontaktledningsanlegg i konseptet, vil det kunne redusere kostnader til kjøretøy på Trønderbanen og gjøre prosessen med å skifte ut eksisterende dieseldrevne persontog (type 93) både raskere og rimeligere. Tidligere utarbeidet detaljplan gir også mulighet for rask gjennomføring av elektrifisering av denne strekningen. Slike momenter bør inngå i videre optimalisering av konseptet, der

behovet for bygging av ny infrastruktur, ombygging av eksisterende infrastruktur, utskiftning og omdisponering av kjøretøyflåten ses i sammenheng.

7.3 Raumabanen

Den samfunnsøkonomiske analysen viser at ingen av de utredede konseptene er samfunnsøkonomisk lønnsomme på Raumabanen. Hydrogenkonseptet er det alternativet som kommer nærmest referansealternativet i lønnsomhet. Det skyldes at konseptet har lave kostnader for investering i infrastruktur, og at de relativt høye driftskostnadene slår lite ut som følge av lite trafikk. Imidlertid er det verdt å påpeke at i tillegg til negativ netto nåverdi, er også brutto nåverdi negativ. Det betyr at selv om nødvendige investeringer i infrastruktur for fylling av hydrogen gjennomføres, vil det ikke være lønnsomt for samfunnet å benytte seg av infrastrukturen. Det forklares av de høye driftskostnadene.

Tabell 33: Nøkkeltall for Raumabanen i de ulike konseptene i mill. kr (unntatt NNV/tonn CO₂ som er per kr)

Mill kr.	2a Hydrogen	2b Hydrogen med del-elektrifisering	3 Batteri	4 Elektrifisering
Inv. infrastruktur	359	1 210	1 103	2 577
Inv. kjøretøy	1 341	1 341	1 231	679
Energikostnader per år	9	8	2	2
Brutto nåverdi	-550	-641	-455	298
Netto nåverdi	-1 000	-1 828	-1 487	-2 054
NNV/tonn CO ₂ , kr	4 310	7 948	6 459	9 592

Samfunnsøkonomi og følsomhetsanalyser

Følsomhetsanalysene viser at rangeringen av hydrogen som det mest lønnsomme konseptet er robust for de følsomhetsanalysene som er gjennomført. Ingen av følsomhetene som er vurdert, inkludert høy karbonprisbane eller optimistisk teknologiutvikling, medfører at dette konseptet kan vurderes som samfunnsøkonomisk lønnsomt. Raumabanen er mye kortere enn de andre to banestrekningene som vurderes, kun 114 km lang, og infrastrukturkostnadene er mye lavere enn på de øvrige banene. Det er imidlertid også svært lite trafikk på banen – kun fire persontogavganger og én godstogavgang per retning per dag. Konsekvensen er at det også er lite nytte som realiseres ved å bytte energibærer.

Tiltakskostnad for klimagassreduksjon

Den samfunnsøkonomiske kostnaden per tonn CO₂ som reduseres er betydelig høyere på Raumabanen enn på Nordlandsbanen og Røros-/Solørbanen. Dette skyldes at det kun går fem avganger om dagen på Raumabanen, og at utslippene av klimagasser i referansealternativet dermed er mye lavere enn på de øvrige banestrekningene. Kostnaden på 4 300 NNV/tonn CO₂ er over syv ganger høyere enn for batterikonseptet på Nordlandsbanen. Det betyr at det er stor avstand til tiltakskategori 2, og det i et samfunns-perspektiv er andre klimatiltak som bør prioriteres før endring av energibærer på Raumabanen. Ingen av følsomhetsanalysene endrer på det at denne kostnaden er veldig høy på Raumabanen.

Effekt mål oppnåelse

Hydrogenkonseptet har lavest oppnåelse av effektmålene av de vurderte konseptene.

Risiko og usikkerheter

Hydrogen som energibærer på jernbane er relativt nytt, og det er usikkerhet knyttet til innføringen av dette konseptet. Det finnes noen eksempler på bruk av hydrogen til relativt korte lokal- og regiontog i Europa, og kjøretøyteknologien er dermed mest moden for den persontogkategorien som betjener persontogtilbudet på Raumabanen (regiontog i distrikt). Teknologien er mye mindre moden for godstransport. Elektriske lokomotiver med energivogn (med hydrogentank, brenselceller og batterier) er ikke testet i kommersiell drift. TRL-nivået for energivogner vurderes å være like umodent for batterivogner, men for godslokomotiver (som er et alternativ til energivogn) er modenheten for batterilokomotiver noe større enn for hydrogenlokomotiver. For hydrogenvogner vurderes det at et umodent regelverk og risiko rundt hvilken

teknologi som vil utvikles for fremtidige markeder trekker i retning av å se an utviklingen. De siste månedene har da også aktuelle aktører valgt bort hydrogendrevne tog som løsning for sine behov, herunder LNVG som velger bort iLint som konsept og går for batteridrevne tog isteden.

Anbefaling

Som følge av høy tiltakskostnad for å redusere klimagassutslipp anbefales det at samfunnet prioriterer andre tiltak før bytte av energibærer på Raumabanen, herunder omlegging av energibærer på Nordlandsbanen og Røros-/Solørbanen. Tiltakshaver ser stor risiko ved innføring av hydrogen som energibærer på jernbanen. Usikkerheten i teknologi- og regelverksutviklingen er stor, og å avvende denne beslutningen har derfor også fordeler med hensyn til risikostyring.

Anbefalingen innebærer en videreføring av referansealternativet i en begrenset periode, selv om denne ikke gir måloppnåelse, mens det utredes videre løsninger med vesentlig lavere tiltakskostnad. Raumabanen står for en veldig liten andel av utslippene fra jernbanen (om lag 2 100 tonn per år, dvs. ca. 3 % av utslippene fra togtrafikken), og videreføring av 0-alternativet vurderes dermed å være akseptabelt på kort/mellomlang sikt.

Raumabanen, med sin korte lengde og lave trafikkmengde, er veldig annerledes enn de to andre bane-strekningene som er vurdert i KVVU GREEN, og videre utredning kan med fordel frigjøre seg fra de felles premissene som ble lagt til grunn for konseptene i utredningen. Både hydrogen- og batteriteknologi er i sterk utvikling for bruk på jernbanen, og det vurderes at denne teknologiutviklingen kan tilføre ny informasjon. Det forventes å være både ønskelig og mulig å finne løsninger på Raumabanen som kan ha vesentlig lavere tiltakskostnad for klimagassreduksjoner enn det som ble identifisert i KVVU GREEN, spesielt når det foreligger mer kunnskap om teknologier og regelverk som i dag er under utvikling. Gitt den lave trafikkmengden på banen, bør det ses videre på løsninger som innebærer vesentlig lavere infrastruktur-investeringer, eventuelt på bekostning av noe høyere investeringer i kjøretøy. Den videre prosessen bør også omfatte dialog med operatørene på banen, som kan bidra med mer kostnadseffektive løsninger for strekningen. Det bør utredes videre om gods og persontog på Raumabanen eksempelvis kan gjennomføres med batteridrevne tog uten bruk av fordyrende elektrifiserte strekninger. Det kan være mulig å finne løsninger i samarbeid med industrien, og ved bruk av andre batterikjemier og konsepter enn konseptvalgutredningen har fått tid til å undersøke.

Det anbefales at en slik ny/oppdatert vurdering av konsept for klimagassreduksjoner på Raumabanen gjennomføres med tanke på vurdering i neste NTP-periode, dvs. til Jernbanedirektoratets grunnlag for NTP 2029-2041 som anslagsvis skal leveres våren 2027. I en ny vurdering vil det være naturlig at standardisering av kjøretøyparken blir hensyntatt for Raumabanen.

7.4 Røros- og Solørbanen

Den samfunnsøkonomiske analysen viser at ingen av de utredede konseptene er samfunnsøkonomisk lønnsomme på Røros- og Solørbanen. For disse banene er elektrifisering det alternativet som har høyest samfunnsøkonomisk lønnsomhet, rett over hydrogen. Selv om Røros- og Solørbanen til sammen ikke er så mye kortere enn Nordlandsbanen (480 km vs. 730 km), så har disse banene mye lavere andel tunneler og det er mulig å bruke strømforsyningskapasitet i eksisterende omformerstasjoner på tilstøtende banestrekninger. Dermed blir elektrifisering mye mindre kostbart enn på Nordlandsbanen. Lave kostnader til kjøretøy og energi, sammenlignet med hydrogenkonseptet.

Tabell 34: Nøkkeltall for Røros- og Solørbanen i mill. kr (unntatt NNV/tonn CO₂ som er per kr)

Mill kr.	2a Hydrogen	2b Hydrogen med del-elektrifisering	3 Batteri	4 Elektrifisering
Inv. infrastruktur	1 217	2 403	5 377	8 620
Inv. kjøretøy	5 640	5 640	4 986	2 388
Energikostnader per år	91	90	19	20
Brutto nåverdi	-3 341	-3 432	-1 311	2 825
Netto nåverdi	-5 133	-6 095	-6 212	-5 065
NNV/tonn CO ₂ , kr	2 308	2 711	2 803	2 281

Samfunnsøkonomi og følsomhetsanalyser

Følsomhetsanalysene viser at med en forutsetning om høy karbonprisbane, vil elektrifisering av Røros- og Solørbanen være samfunnsøkonomisk lønnsomt, med en netto nåverdi på ca. 600 mill. kr. Hydrogenkonseptet blir lønnsomt under forutsetning av en veldig optimistisk teknologiutvikling.

Selv om hydrogen og elektrifiseringskonseptet har relativt lik netto nåverdi, er det store forskjeller i hvordan kostnadene er fordelt. Elektrifisering har høye kostnader til infrastruktur (faste kostnader), men lave kostnader til kjøretøy og energiforsyning (som øker med trafikkmengden). Hydrogen har derimot lave kostnader til infrastruktur og høye kostnader til kjøretøy og energiforsyning. Det betyr at dersom man forventer en økning i trafikk, vil det lønne seg å velge elektrifisering, ettersom de faste kostnadene er høye og de skalerbare kostnadene er lave i dette alternativet.

Følsomhetsanalysene viser også at lønnsomheten for dette konseptet blir bedre med en økning i trafikk. Det foreligger ikke prognoser som tilsier stor økning i trafikk på disse banene, men elektrifisering forventes å kunne medføre overføring av kombigodstrafikk fra Dovrebanen til Rørosbanen.

Tiltakskostnad for klimagassreduksjon

Tiltakskostnaden for klimagassreduksjon er en del høyere på denne strekningen enn for Nordlandsbanen. Med en tiltakskostnad på i underkant av 2800 kr per tonn utslippsreduksjon, ligger elektrifisering av Røros- og Solørbanen i kategori 3 (over 1500 kr per tonn utslippsreduksjon).

Et viktig tilleggsmoment, som vil kunne bidra til å redusere tiltakskostnaden, er at ved å elektrifisere Røros- og Solørbanen vil disse banene bidra til å danne et nettverk av baner mellom Lillestrøm og Støren, inkludert to spor mellom Hamar og Støren. Når begge banene mellom Østlandet og Trøndelag er elektrifiserte, vil dette gi økt redundans og fleksibilitet i bruken av nettverket. Videre vil det være mulig å innføre retningsdrift for kombigodstrafikken mellom Hamar og Støren (dvs. at nordgående godstog kjører én bane og sørgående godstog kjører den andre). Et slikt grep kan gi økt kapasitet på jernbanen, som sammen med de reduserte transportkostnadene som elektrifisering innebærer, kan gi overføring av godstransport fra vei til jernbane. Dette forventes å gi ytterligere reduksjoner i klimagassutslipp fra transportsystemet som helhet. Denne effekten er ikke beregnet i den samfunnsøkonomiske analysen, og dermed heller ikke inkludert i beregning av tiltakskostnaden. Det kan likevel antas at effekten kan være betydelig.

Effektmåloppnåelse

Alternativene ligger svært jevnt i den samfunnsøkonomiske analysen, og de ulike følsomhetsanalysene gir ulike utslag på hvilket konsept som rangeres som best. Det er dermed naturlig også å ta konseptenes effektmåloppnåelse og risikoprofiler inn i vurderingen. Alle alternativene skårer likt med hensyn til klimagassutslipp (effektmål 1 og 2). Men med hensyn til energieffektivitet og togtilbudets attraktivitet skårer elektrifisering bedre enn hydrogen på begge målområder, som følge av at overføring av strøm via kontaktledning gir høyere energieffektivitet, mulighet for raskere akselerasjon, mer trekkraft enn hydrogen, og heller ikke gir behov for å bruke plass i toget til oppbevaring av energi.

Risiko og usikkerheter

Konseptene som baserer seg på ny teknologi, spesielt hydrogen, har større risiko knyttet til tilfredsstillelse av rammebetingelser knyttet til teknologisk utviklingsløp og sikkerhet, enn det elektrifisering har. I en slik helhetsbetraktning vil alternativ 4 Elektrifisering være et kjent og trygt valg, som infrastruktureier og togoperatører har utstrakt erfaring med å bygge og drifte.

Omfanget av infrastruktur over jernbanen som må bygges om, dvs. tunneler, overgangsbruer og lukkede fagverksbruer, er mindre på Rørosbanen enn på Nordlandsbanen. Spesielt tunnelandelen er betydelig lavere, med kun 1,5 km tunneler (6 stk.). Det er forutsatt behov for å utvide alle tunnelene. Det er noen flere overgangsbruer som må bygges om på Røros- og Solørbanen (22 stk.) enn på Nordlandsbanen, og to fagverksbruer som må erstattes på Solørbanen. Det har vært begrenset informasjon tilgjengelig om disse objektene i denne utredningsfasen, og de utgjør den mest usikre delen av kostnadsestimatet for elektrifisering. Risikoen ved å elektrifisere Røros- og Solørbanen vurderes allikevel å være lavere enn ved å skulle innføre en ny driftsform med ny teknologi.

Anbefaling

Alternativ 4 Elektrifisering anbefales for Røros- og Solørbanen. Elektrifisering er det konseptet som kommer best ut i den samfunnsøkonomiske analysen, men dette resultatet er ikke robust for endringer i forutsetninger, og avstanden til spesielt hydrogenkonseptet er liten. Det er dermed også lagt vekt på at elektrifisering har den beste effektmåloppnåelsen og vurderes å være det konseptet som har minst risiko på Røros- og Solørbanen. Videre er det relevant at elektrifisering vil få økt samfunnsøkonomisk lønnsomhet ved en økning i trafikk. Elektrifisering utløser videre potensial for økt kapasitet og et mer robust nettverk av baner mellom Østlandet og Trøndelag. Potensialet for overføring av tungtrafikk fra vei til bane innebærer at konseptets innvirkning på utslipp av klimagasser fra transportsystemet som helhet kan forventes å være større enn kun utslippsreduksjoner fra selve jernbanen.

Ettersom elektrifiseringskonseptet på Røros- og Solørbanen har høyere tiltakskostnad for reduksjon av klimagassutslipp på jernbanen enn batterikonseptet på Nordlandsbanen, anbefales det at Røros-/Solørbanen prioriteres lavere. Tiltakskostnaden som er identifisert i KVVU GREEN ligger i kategori 3, det vil si den dyreste kategorien med tiltak i Klimakur 2030, men likevel innen rekkevidde av kategori 2. Ettersom tiltaket forventes å kunne bidra til å redusere klimagassutslippene fra både jernbane- og veisektoren, anbefales det at en videre optimalisering av konseptet gjennomføres. Hensikten er å se om det er mulig å redusere kostnader og øke klimagevinsten ytterligere (fortrinnsvis opp til kategori 2), og deretter vurdere nærmere hvordan tiltaket bør prioriteres opp mot andre klimatiltak.

7.5 Arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver

Skinnegående arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver har varierte bruksmønster og arbeidsoppgaver, variasjon innen type maskiner, behov for fleksibilitet, tidsperspektiv og eier-/brukerstruktur. Av disse grunnene vil det være opp til den enkelte godsoperatør og eiere/brukere av arbeidsmaskiner å vurdere hvilken teknologi som foretrekkes. CargoNet er største eieren av skiftelokomotiv og Bane NOR er største eier av skinnegående arbeidsmaskiner. Begge er statlig eide selskap.

For skiftelokomotiver anses det som rimelig å forvente at disse byttes ut med hybride batterikjøretøy, eventuelt hydrogenkjøretøy om operatøren lokalt anser det mer hensiktsmessig, slik at utslippsreduksjoner kan oppnås frem mot 2030. Når det gjelder etablering av nødvendig infrastruktur for energiforsyning til skiftelokomotivene så anbefales dialog mellom Bane NOR og operatørene. Det bør vurderes om Bane NOR skal få et ansvar for etablering av felles infrastrukturløsninger. Det bør også vurderes etablering av eventuelle støtteordning for skifte til klimavennlige energibærere på godsterminaler.

For skinnegående arbeidsmaskiner er det teknologiske modenhetsnivået og markedstilgangen for lavutslipp-/nullutslippsmaskiner i støpeskjeen, men det kan forventes at den enkelte aktør tar egne beslutninger for egne maskininvesteringer, som kan bidra til utslippsreduksjoner. Det anbefales spesielt at lastetraktorer og ledningsvogner-/revisjonsvogner som skal benyttes på elektrifisert bane erstattes med teknologi for utslippsreduksjoner. Endringene i anskaffelsesforskriftens § 7-9 (2) om at klima- og miljøhensyn skal vektes med minimum tretti prosent, som trer i kraft fra nyttår 2024, vil nok også bidra til utslippsfrie løsninger når disse kjøretøyene skal skiftes ut. Det antas at hybrid batteri-kontaktledning eller kun batteri vil være foretrukket som løsning for disse maskinene. Mest sannsynlig vil ombygging eller skifte av arbeidsmaskiner gjennomføres gradvis etter hvert som det blir behov for utskiftninger av maskinene. Mange maskiner vil kunne skiftes til utslippsfrie alternativer innen 2034, grunnet kort restlevetid, kostnader knyttet til installasjon av ERTMS ombordutrustning og/eller store oppgraderingsbehov.

Når det gjelder etablering av nødvendig infrastruktur for energiforsyning anbefales det at Bane NOR bes om å ta rollen som pådriver for overgangen til klimavennlige energibærere for arbeidsmaskiner på jernbanen, og at dette reflekteres i avtaler mellom Jernbanedirektoratet og Bane NOR og bevilgninger til Bane NOR for drift og vedlikehold.

Generelt anbefales også følgende tiltak for utslippsreduksjoner fra arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver:

- Bane NOR får ansvaret for å etablere et sentralt system for innsamling av data knyttet til forbruk av diesel fra arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver. Systemet skal også samle data fra private entreprenører og operatører.
- Bane NOR får ansvaret for å følge opp aktuelle optimaliseringsløsninger slik som optimalisering av vedlikehold, alternative måter å utføre den samme oppgaven på, optimalisering av kjøring og

mindre tomgangskjøring, design av maskiner for å kunne gjøre flere jobber samtidig slik at operasjonstiden på den samme mengde arbeid blir redusert, omlegging av driftsmodell for beredskap for å optimalisere bruken av og nødvendig utstyr på maskinene, smarte energistyringssystem og smarte maskinløsninger for energioptimalisering, modulbasert fremdriftssystem osv.

- Bane NOR som infrastruktureier stiller krav til leverandører av drift- og vedlikeholdstjenester med henblikk på klimagassutslipp, og benytter krav om klimagassutslipp i konkurransegrunnlag for infrastrukturavtaler.
- Vurdere innføring av incentivordninger som kan bidra til å stimulere overgang til teknologi for reduserte klimagassutslipp. Dette vil kreve at Bane NOR utreder og forvalter en slik ordning, og at det settes av midler til dette.

7.6 Optimaliseringstiltak

Mulighetsstudien avdekket en rekke optimaliserende tiltak som kan gjennomføres uavhengig av utskifting av dieselskjøretøyene på de ikke-elektrifiserte banene. Det pågår arbeid med mange av disse allerede, og for de fleste av disse anbefales det at den ansvarlige aktøren viderefører og eventuelt intensiverer sin innsats.

Det ble identifisert flere tiltak knyttet til automatisering, og som ble vurdert i en egen KVV for bedre utnyttelse av ERTMS gjennom automatisering av togtrafikken (KVV ATO). Videre arbeid med dette bør ses i sammenheng med videre arbeid for oppfølging av KVV ATO.

- Optimalisering av kjøremønster/-adferd per linje
- Driver Advisory System (DAS/C-DAS)
- Økt automatisering av togtrafikken (ATO – automatic train operations)

Tiltak for energireduksjon som anbefales fulgt opp videre av den enkelte berørte virksomhet presenteres i det følgende, inndelt etter relevant aktør. For kjøretøyeiere og operatører er følgende aktuelle tiltak identifisert:

- Effektivisering av vekt og aerodynamikk
- Redusere tomgangskjøring
- Forbedre traksjonssystem og energieffektivitet
- Redusere vekten på kjøretøy

For eiere og brukere av arbeidsmaskiner er de samme tiltakene som for kjøretøy relevante. I tillegg bør følgende vurderes:

- Overgang til mer energieffektive metoder og maskiner for vedlikehold
- Strategisk utvikling av arbeidsmaskinflåten med hensyn til energibruk

For infrastruktureier er følgende tiltak identifisert som muligheter:

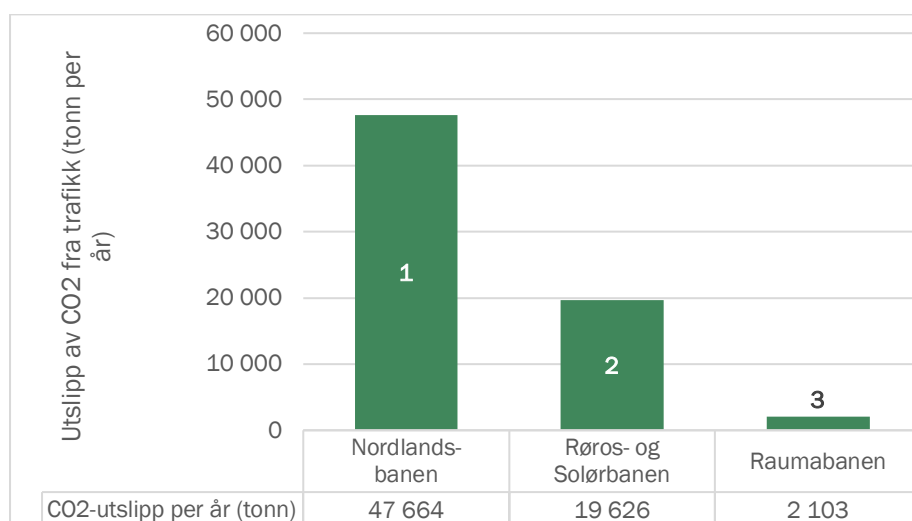
- Smart vedlikehold av infrastrukturen
- Plassering av hensettingsanlegg slik at tomtogkjøring reduseres

Det henvises til underlagsrapport om mulighetsstudien for nærmere omtale av disse. Alle de identifiserte optimaliseringstiltakene følges allerede opp av de berørte aktørene i større eller mindre grad, og det anbefales at dette arbeidet fortsettes, og eventuelt intensiveres der det er hensiktsmessig.

7.7 Prioritering av rekkefølge

Som følge av de strekningsvise konklusjonene ovenfor, anbefales at valgte alternativer per strekning prioriteres i følgende rekkefølge (CO₂-utslippsreduksjoner per bane, målt opp mot fremtidige beregnede utslipp i 0-alternativet):

1. Innføring av alternativ 3 Batteri på Nordlandsbanen (CO₂-reduksjon: 47 700 tonn, herav 13 600 tonn CO₂e på strekningen Steinkjer-Stjørdal og 2 600 tonn CO₂e for Rana Gruber).
2. Innføring av alternativ 4 elektrifisering på Røros- og Solørbanen (CO₂-reduksjon: 19 600 tonn)
3. Avvente konseptvalg, og utrede muligheter for innføring av klimavennlig energibærer på Raumabanen med vesentlig lavere tiltakskostnad (CO₂-reduksjon: 2 100 tonn).



Figur 30 Prioritering av strekninger i KVVU GREEN, samt CO₂-utslippsreduksjoner per bane, målt opp mot fremtidige beregnede utslipp i 0-alternativet.

Figuren over viser den prioriterte rekkefølgen for overgang til nullutslippsløsninger på de ikke-elektrifiserte banene. Figuren viser også totalt utslipp av CO₂ per år (tonn).

7.8 Realopsjoner

Prioriteringen ovenfor innebærer at jernbanesektoren tar større risiko knyttet til teknologiutvikling enn ved valg av eksisterende teknologi (spesielt knyttet til batteridrevne godslokomotiver på Nordlandsbanen og teknologien knyttet til deelektrifiserte strekninger). Klassisk vurdering av realopsjoner kan tilsi at innføring av anbefalt konsept på Nordlandsbanen dermed burde vurderes utsatt i tid for å vente på at teknologien modnes. Det er likevel valgt å prioritere deelektrifisering av Nordlandsbanen høyest, som følge av det prekære behovet for klimagassreduksjoner. Batterikjøretøy på jernbane er i ferd med å bli kjent teknologi, selv om de spesifikke konfigurasjonene Nordlandsbanen har behov for ikke er produsert ennå.

Dersom denne risikoen likevel anses som for høy vil prioritering av Røros- og Solørbanen for elektrifisering redusere risiko, men utsette en del av klimagassreduksjonene. Eventuelt kan deler av Nordlandsbanen elektrifiseres før Røros-/Solørbanen (eksempelvis strekningen Stjørdal- Steinkjer).

Om man ser for seg seks års faseforskyvning mellom prioritert tiltak 1 og 2, vil endret rekkefølge gi omtrent 170 000 tonn mer akkumulert CO₂-utslipp, mens det må settes av omtrent to milliarder mer i investeringsramme en periode tidligere enn ved anbefalt rekkefølge.

8 Føringer for neste fase

Den siste delen av en konseptvalgutredning er å beskrive føringer for forprosjektfasen på grunnlag av forhold som er avdekket underveis i KVVU-arbeidet. «I KVVU-arbeidet skal det utarbeides en gjennomføringsstrategi for den etterfølgende forprosjektfasen slik at sentral informasjon overleveres fra konseptfasen til forprosjektfasen, og beslutningstaker kan legge nødvendige føringer for det videre arbeidet med prosjektet» [21]. Fasen skal bl.a. dekke premisser for styring av neste fase og plan med arbeid med å optimalisere samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Som kapitlet viser, er det identifisert rom for, og behov for, videre modning og optimalisering av de anbefalte konseptene. Dette forventes å være viktig for optimalisering av den samfunnsøkonomiske lønnsomheten, ved å øke nyttegevinster og redusere kostnader ved overgang til klimavennlige løsninger på jernbanen, sammenlignet med det som er identifisert i KVVU-fasen.

8.1 Nordlandsbanen

8.1.1 Oppdatert kunnskapsgrunnlag om infrastrukturen

I utarbeidelsen av KVVU Green har det vært lagt til grunn kunnskap om infrastrukturen på relativt overordnet nivå. Som omtalt i alternativanalysen, er det en god del usikkerhet knyttet til forventet behov for ombygging av overgangsbruer, tunneler og lukkede fagverksbruer, i forbindelse med elektrifisering og del-elektrifisering. Plasseringen av del-elektrifiserte strekninger i de utredede konseptene tar hensyn til tilgjengelig informasjon om dette, men for videre optimalisering og arbeid med konsept 3 batteri med del-elektrifisering er det nødvendig å heve kvaliteten og øke detaljeringsgraden i forutsetningene om infrastrukturkostnader.

Det er et tilsvarende behov for å gjøre nærmere vurderinger av mulige plasseringer av omformerstasjoner og kostnader knyttet til plassering og kobling av disse til det overliggende strømmettet.

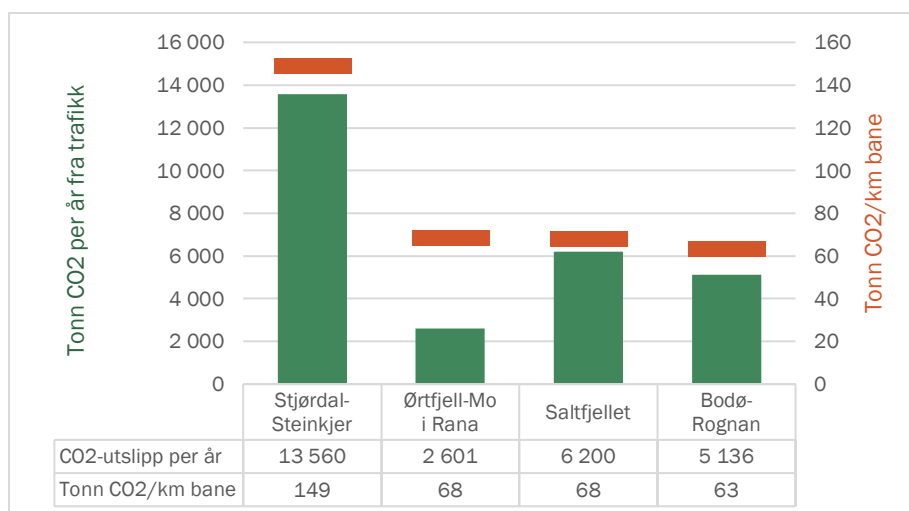
Det anbefales at Bane NOR får ansvar for denne utredningen.

8.1.2 Optimalisering av infrastrukturen

Konseptet som er utformet i KVVU GREEN bør anses som første iterasjon av en slik optimaliseringsprosess. Investeringsomfang og antallet momenter som skal ivaretas i optimaliseringen, tilsier at dette arbeidet bør videreføres i forprosjektfasen. Som den videre drøftingen viser, er det flere momenter som taler for å prioritere elektrifisering av Stjørdal-Steinkjer, men ut over det er det prematurlig å gjøre ytterligere prioriteringer mellom ulike deler av Nordlandsbanen.

For det anbefalte konsept 3 Batteri for Nordlandsbanen er det identifisert mulige optimaliseringer av alternativet som det anbefales å undersøke i det videre arbeidet. Det anbefales at optimaliseringen tar utgangspunkt i informasjon om klimagassutslipp på ulike delstrekninger på Nordlandsbanen, mulige tilkoblingspunkter til overliggende strømmett og oppdaterte anslag for kostnader til elektrifisering av de ulike strekningene (se kapittel 8.1.1). I tillegg til momenter knyttet til den enkelte strekning, må dette ses opp mot forventet/hensiktsmessig kapasitet i batteriene som skal benyttes, og plasseringen av ladestrekninger må sikre tilstrekkelig strømforsyning hele veien for alle aktuelle linjer. Videre bør optimaliseringen hensynta muligheten for å redusere behovet for batterikjøretøy og i stedet anskaffe rene elektriske kjøretøy for noen linjer, ettersom elektriske kjøretøy er rimeligere å anskaffe og vedlikeholde.

Det anbefales at optimaliseringsprosjektet gjennomføres av Bane NOR i samarbeid med Jernbanedirektoratet. Utredning/delutredning av batteridrift for malmtogene til Rana Gruber anbefales gjennomført relativt raskt. Det anbefales at Bane NOR og Jernbanedirektoratet bistår Rana Gruber med dette. Resultatene må hensyntas i den helhetlige optimaliseringen av banen.



Figur 31 CO2-utslipp fra trafikk per år på ulike deler av Nordlandsbanen, samt tonn CO2 som reduseres per banekilometer

Som figuren over viser, er det Stjørdal-Steinkjer som har de største utslippene av de vurderte parsellene. Det er også denne som har størst utslippsreduksjoner per kilometer bane, et mål som er mest relevant dersom delelektrifisering er det primære virkemidlet som vurderes. For Ørtfjell-Mo i Rana vises kun utslipp fra selve malmtogene, ikke fra øvrige toglinjer som går forbi – se nærmere beskrivelse av hvorfor i det følgende. Ettersom utslippene per kilometer bane for de tre resterende strekningene er relativt lik, bør prioritering av disse parsellene gjøres med utgangspunkt i kostnad per tonn CO₂ redusert. De mest aktuelle optimaliseringene er drøftet nærmere under.

Elektrifisering av strekningen Stjørdal-Steinkjer

I forslaget til del-elektrifisering som ligger til grunn for analysen av batteridrift på Nordlandsbanen i KVVU GREEN er ikke strekningen Stjørdal-Steinkjer på Trønderbanen elektrifisert. Elektrifisering av denne strekningen vil muliggjøre bruk av rene elektriske tog på Trønderbanen. Strekningen har stor trafikk fra både godstrafikk og regiontog for persontrafikk, og elektrifisering har vært utredet og planlagt tidligere. Den har dermed et betydelig potensial for utslippsreduksjoner forholdsvis raskt, anslått til om lag 13 600 tonn CO₂ per år. Elektrifisering av strekningen vil også være gunstig med hensyn til utnyttelse av eksisterende kjøretøyflåte og realisering av effekter av investeringer i infrastrukturen og kan forhindre behovet for innkjøp av nye dieselhybrider. Det er funnet at elektrifisering av strekningen vil kunne realiseres på anslagsvis fire år. Elektrifisering av strekningen Stjørdal-Steinkjer medfører behov for optimalisering av del-elektrifiseringen på resten av Nordlandsbanen; endring av hvilken parsell som elektrifiseres i sørenden av banen kan gi følger for plassering av del-elektrifiserte strekninger på hele resten av banen.

Batteridrift for malmtog på strekningen Ørtfjell-Mo i Rana

Muligheten for innføring av batteridrift for trafikk med malmtogene på strekningen Ørtfjell-Mo i Rana bør vurderes. Det er identifisert en mulighet for at malmtog kan utnytte topografien på strekningen og kjøre last med batteridrift nedover på strekningen, og returnere uten last oppover uten vesentlige investeringer i infrastruktur. Analyser antyder på at en slik løsning er gjennomførbart kun med etablering av ladestasjon i Mo i Rana eller i Ørtfjell og investering i batterivogner for malmtogene, men dette må verifiseres gjennom videre analyser som også konkretiserer hvordan løsningen ser ut. Rana Gruber har tydelige og ambisiøse målsetninger om rask reduksjon av sine klimagassutslipp. Dersom stasjonær lading (eller andre optimaliserte løsninger) viser seg å være en kostnadseffektiv metode for rask reduksjon i klimagassutslipp, i tråd med vareeiers strategier, så vil dette innvirke på om det vil være behov for å delelektrifisere denne delen av Nordlandsbanen eller ikke.

Elektrifisering av Saltenpendelen (Bodø-Rognan)

Ved å elektrifisere strekningen Bodø-Rognan, som er strekningen som trafikkeres av persontogene på Salten, vil det være mulig å erstatte dagens kjøretøy på strekningen (type 93) med rene elektriske kjøretøy. En slik elektrifisering vil også komme godstrafikken til gode. Strekningen har høyere trafikk enn Saltfjellet, men mye lavere stigningsforhold, og dermed lavere klimagassutslipp. For delelektrifisering av

Nordlandsbanen er det ønskelig med elektrifisering inn mot Bodø, men ikke behov for elektrifisering helt til Rognan. Disse momentene bør hensyntas i videre arbeid med Nordlandsbanen.

Elektrifisering av Saltfjellet (Dunderland-Røkland)

Saltfjellet er den delen av Nordlandsbanen med størst stigningsforhold, noe som bidrar økte klimagassutslipp på denne strekningen. I tillegg til å redusere utslipp knyttet til å trekke togene opp Saltfjellet, vil elektrifisering også gjøre det mulig å gjenvinne bremseenergi for tog som kjører ned Saltfjellet på den andre siden. Dette bidrar til økt energieffektivitet og lavere energikostnader. I eksemplet som trekkes fram her, er det regnet på elektrifisering av hele Saltfjellet, inkludert den flate delen på toppen, som er noe annerledes enn det som er forutsatt i konsept 3 Batteri med lokasjonene av de del-elektrifiserte strekningene i KVVU GREEN.

8.1.3 Optimalisering av tidsplanen

I tillegg til infrastruktur- og kjøretøydimensjonen, må tidsperspektivet for ombygging av de ulike parsellene optimaliseres med hensyn til rask reduksjon i klimagassutslipp, samtidig som man begrenser behovet for å erstatte utgående dieselkjøretøy med nye kjøretøy som også benytter diesel som energibærer, ettersom dette er en utgående teknologi. Optimaliseringen av tidsperspektivet må gjøres i forbindelse med at det utvikles en gjennomføringsplan som ser overgangen til nye energibærere på alle de ikke-elektrifiserte strekningene i sammenheng. Se nærmere omtale av dette under kapittel 8.5 om gjennomføringsstrategi.

8.1.4 Kritiske suksessfaktorer

Kjøretøyanskaffelser

Kostnaden ved batterivogn anses å være vesentlig, og støtteordninger for å lykkes med en overgang til ny utslippsfri teknologi må utredes nærmere i neste fase. Dette gjelder særlig for godsnæringen som kan benytte bimodale kjøretøy (diesel-kontaktledning) i en mellomperiode helt frem til del-elektrifiserte strekninger er på plass. Alternativt vil de kunne benytte diesel som før, men da oppnås ikke utslippskutt fra gods i mellomperioden. I dag bruker godsoperatørene en blanding av bimodale lokomotiver (diesel-kontaktledning) og rene diesellokomotiver. Når utbyggingen av én eller flere delstrekninger er gjennomført, vil avganger med bimodale kjøretøy få reduserte energikostnader. Det må imidlertid vurderes nærmere om reduserte driftskostnader kan kompensere for betydelig økte kostnader til batterivogner eller batterilokomotiver. Det antas at dette ikke vil være tilfellet tidlig i utviklingen av disse nye kjøretøytypene, og dersom det er tilfellet bør det utredes om kompensasjons- eller støtteordninger vil være nødvendig for å realisere de ønskede klimagassutslippene som batterikjøretøy kan gi på strekningen. Det anbefales at Jernbanedirektoratet får ansvar for gjennomføring denne vurderingen.

Trafikkavvikling i anleggsfasen

Ulempe for trafikken under utbygging må håndteres, spesielt for godstrafikken, som ikke på enkelt vis kan flyttes til vei. For tømmer og malm er vekten en utfordring, men for kombitransporten kan lastebil være en mulighet. Erfaring viser imidlertid at transporten gjerne forblir på vei etter omfattende driftsbrudd på jernbanen, noe som motvirker det overordnede målet for KVVU-en (reduserte klimagassutslipp). Det vil være svært viktig med langsiktighet og god kommunikasjon med operatørene i utforming av ruteplaner som skaper tilstrekkelige hvite tider til å få gjennomført del-elektrifisering av Nordlandsbanen. Denne forutsigbarheten gjør det lettere for godsoperatørene å gå i dialog med sine kunder om hvordan transporttidspunktene kan endres samtidig som kundene kan ivareta sine behov. Det er Bane NOR som har ansvaret for dette.

8.2 Røros- og Solørbanen

8.2.1 Optimalisering av infrastruktur og kjøretøy

Det er behov for videre optimalisering og nærmere planlegging av elektrifisering av Røros- og Solørbanen, bl.a. for å se om det er mulig å redusere kostnadene og for å etablere et sikrere kostnadsestimat. Følgende temaer inngår i vurderingen.

1. Som for Nordlandsbanen er det behov for mer detaljert kunnskap om behovet for å bygge om tunneler, overgangsbruer og jernbane fagverksbruer, og kostnader for dette.
2. Løsningen for strømforsyning bør utredes nærmere og ulike løsninger vurderes opp mot hverandre. Det er skissert mulighet for gjenbruk av gamle omformere, som kan redusere kostnadene til omformerstasjoner noe (om lag 60 mill. per omformerstasjon) men som også vil redusere ytelsen. Dette må ses opp mot potensialet for overført trafikk (neste delkapittel) som kan øke kraftbehovet på strekningen sammenlignet med dagens trafikkmengder. Det bør også vurderes om det er kostnadsbesparende å heller trekke strøm fra omformerstasjoner på Dovrebanen, enn å bygge nye omformerstasjoner langs Røros- og Solørbanen. Denne listen bør ikke anses som uttømmende for økt kunnskapsbehov for strømforsyning på Røros- og Solørbanen.
3. Det må gjennomføres en nærmere vurdering av elektrifisering/grensesnitt mot sidespor, terminaler, hensettingsområder osv. som ikke inngikk i KVVU-en. Konseptet i KVVU-en forutsatte rene elektriske kjøretøy, men i forbindelse med vurdering av disse områdene er det naturlig å se på mulighetene for at nye kjøretøy som anskaffes bør ha et skifte- eller «last mile» batteri. Det antas at behovene for persontrafikken, tømmerogtrafikken og eventuell framtidig kombitogtrafikk vil være ulike, og kan ha ulike foretrukne løsninger på denne problemstillingen.

Det anbefales at Bane NOR får ansvaret for videre optimalisering av infrastruktur og kjøretøy inkludert utredning av problemstillingene nevnt over. Dette bør gjøres i dialog med de berørte operatørene og kjøretøyeiere, inkludert Norske tog.

8.2.2 Vurdering av potensialet for økt kapasitet på jernbanen mellom Østlandet og Trøndelag

Det bør vurderes hvordan nytten av elektrifisering kan økes gjennom å tilrettelegge for overført trafikk fra vei til jernbane, som kan redusere klimagassutslipp fra transportsystemet ytterligere. Det henvises til nærmere omtale av dette potensialet i Alternativanalysen i KVVU GREEN (kapittel 9.7.2 og 9.7.3.).

Det bør i den sammenheng gjennomføres en vurdering av potensialet for å øke kapasiteten ved å f.eks. ved å innføre retningsdrift for kombigodstog mellom Hamar og Støren.

En viktig del av utredningen bør være å vurdere om overføringen kan økes ytterligere dersom det gjennomføres investeringer i jernbaneinfrastrukturen mellom Alnabru og Brattøra, slik som tilsving på Hamar, økt kryssingskapasitet, e.l. Det antas at en slik utredning vil være rutemodellavhengig, og involvere hele infrastrukturen mellom Alnabru og Trondheim, inkludert Hovedbanen nord, Dovrebanen, og Kongsvingerbanen, i tillegg til selve Røros- og Solørbanen.

Utredningen bør inkludere en vurdering av klimakonsekvensene av overføringen av tungtrafikk fra vei til jernbane som elektrifisering og eventuell retningsdrift kan medføre, samt ulemper som må håndteres ved en slik løsning. Det bør i denne sammenheng også vurderes om man kan redusere planlagte utvidelser av kryssingsspor på Dovrebanen hvis Rørosbanen blir elektrifisert. I tillegg bør beredskap inngå som et moment i utredningen, bl.a. en vurdering av om behovet og konsekvensene av redundans mellom Dovre- og Rørosbanen som dette grepet kan gi, inngå i utredningen, inkludert om ulike måter å utvikle infrastrukturen på kan bidra til å gi bedre uttelling på jernbanens pålitelighet.

Det anbefales at Jernbanedirektoratet, i samarbeid med Bane NOR, gjennomfører denne utredningen.

8.2.3 Optimalisering av tidsplanen

Som for Nordlandsbanen, vil det være behov for en optimalisering av tidsplanen for elektrifisering av Røros- og Solørbanen. Det er ikke de samme toglinjene som kjører i den nordlige delen av Rørosbanen vs. den sørlige delen av Rørosbanen og over på Solørbanen. Det er ønskelig å prioritere strekninger som kan forventes å gi de største klimagassreduksjonene før strekninger med lavere klimagassutslipp. Hva man kan forvente av utslippsreduksjoner er imidlertid helt avhengig av om man forutsetter bimodale kjøretøy (diesel-kontaktledning) eller rene dieselskjøretøy for den aktuelle linjen, og om parsellen som elektrifiseres gir mulighet til overgangen til elektriske kjøretøy for de aktuelle linjene.

Utarbeidelsen av en prioritert rekkefølge og en helhetlig gjennomføringsstrategi må ses i sammenheng med gjennomføringsstrategien for de øvrige ikke-elektrifiserte banene. Dette skyldes bl.a. at persontrafikken betjenes av den samme kjøretøyflåten, og hvordan denne disponeres innvirker på om tilbudet vil betjenes

med diesel- eller bimodale (diesel-kontaktledning) kjøretøy. Se nærmere omtale av dette i kapittel 8.5 om gjennomføringsstrategi.

8.2.4 Kritiske suksessfaktorer

Kjøretøyanskaffelser

Elektriske lokomotiv er under like forutsetninger stort sett rimeligere enn diesellokomotiver. Tømmertogene på Røros- og Solørbanen benytter til dels svært gamle kjøretøy, og overgangen til f.eks. nyere elektriske lokomotiver med «last mile» batteri kan dermed innebære en økning i kjøretøykostnader. Det antas at reduserte driftskostnader vil kompensere for eventuelle økninger i kjøretøykostnader i et slikt tilfelle, men dette bør verifiseres for å sikre at elektrifiseringen vil gi overgang til ny energibærer for alle togkategorier på Røros- og Solørbanen. Dersom tømmernæringen ikke kan bære de økte kostnadene selv, bør støtteordninger vurderes nærmere.

Trafikkavvikling i anleggsfasen

Ulempe for trafikken, spesielt godstrafikken, under utbygging må håndteres. Det er forutsatt at arbeidet vil gjennomføres som skiftarbeid i hvite tider. Utformingen av ruteplaner for ombyggingsperioden og plassering av de hvite tidene må gjøres i dialog med aktuelle operatører. Det er Bane NOR som har ansvaret for dette.

8.3 Raumabanen

8.3.1 Videre utredning av beste løsning på Raumabanen

Det anbefales videre optimalisering og utredning av overgangen til klimavennlige energibærere på Raumabanen. Formålet er å finne løsninger på Raumabanen som kan ha vesentlig lavere tiltakskostnad for klimagassreduksjoner enn det som ble identifisert i KVVU GREEN. Utredningen bør ta utgangspunkt i Raumabanens egenart, med hensyn til kort lengde og lav trafikkmengde, og ikke være bundet av felles premisser som ble lagt til grunn for utredningen av de ikke-elektrifiserte banene i KVVU GREEN.

Følgende temaer bør inngå i den videre utredningen:

- Videre utvikling av teknologi for nye energibærere og erfaringer med bruk av denne på jernbanen. Dette gjelder spesielt hydrogen og batterier som energibærere, der det stadig tilkommer ny kunnskap om mulighetene i selve teknologien og ikke minst erverves erfaringer med bruk av teknologien på jernbanen. Herunder vil videre utvikling i regelverk vil også være viktig å ta hensyn til.
- Gitt den lave trafikkmengden på Raumabanen, bør det ses videre på løsninger som innebærer vesentlig lavere infrastrukturinvesteringer, eventuelt på bekostning av noe høyere investeringer i kjøretøy. Dette innebærer bl.a. at flere typer ladeløsninger bør vurderes nærmere, slik som f.eks.
 - Batteritog med lading i stillstand kombinert med større energimengde i batteriet/batteriene om bord i kjøretøyene.
 - Om gods og persontog på Raumabanen kan gjennomføres med batteridrevne tog uten bruk av fordyrende elektrifiserte strekninger. Herunder bør andre batterikjemier vurderes, gjerne i samarbeid med industrien.
- Den videre prosessen bør også omfatte dialog med operatørene på banen, som kan bidra med mer kostnadseffektive løsninger for strekningen.

Det anbefales at en slik ny/oppdattert vurdering av konsept for klimagassreduksjoner på Raumabanen gjennomføres med tanke på vurdering i neste NTP-periode, dvs. til Jernbanedirektoratets grunnlag for NTP 2029-2041 som anslagsvis skal leveres våren 2027. Det anbefales at Jernbanedirektoratet får ansvaret for gjennomføringen av denne utredningen. I en ny vurdering vil det være naturlig at standardisering av kjøretøyparken blir hensyntatt for Raumabanen.

8.3.2 Kritiske suksessfaktorer

Kritiske suksessfaktorer vil være å følge opp teknologiutviklingen, og involvering av operatørene som frakter gods eller passasjerer på Raumabanen.

8.4 Arbeidsmaskiner og skiftelokomotiver

For skiftelokomotiver og arbeidsmaskiner bør følgende utredes nærmere:

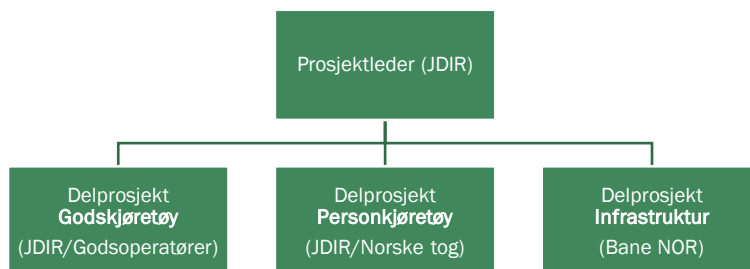
- Hvordan Bane NOR kan få et ansvar for etablering av utslippsfri skifting på godsterminaler, enten det er med utslippsfrie skiftelok, last- mile batterier på kjøretøyene eller ved andre løsninger.
- Hvordan Bane NOR kan ivareta og styrke sin rolle som pådriver for overgang til klimavennlige energibærere for alle skinnegående arbeidsmaskiner, uavhengig av eier.
 - Som innkjøper av vedlikeholds- og fornyelsestjenester er Bane NOR i posisjon til å utforme krav og evalueringskriterier i sine kontrakter (og blir også forpliktet til å vekte dette tungt gjennom forskriftskrav fra 2024).
 - Som infrastrukturforvalter vil Bane NOR få ansvar for en eventuell innføring av felles nødvendig infrastruktur for energiforsyning.
 - Som eier og innkjøper av arbeidsmaskiner må Bane NOR vekte utslippsfrie løsninger med minimum 30 prosent i fremtidige anskaffelser. Det bør i tillegg vurderes om utskifting av lastetraktorer og ledningsvogner-/revisjonsvogner til utslippsfri teknologi skal fremskyndes, slik at hele maskinparken i disse maskinkategoriene kan bli utslippsfrie snarest mulig.
- Eventuelt behov for incentivordninger som kan bidra til å stimulere overgang til teknologi for reduserte klimagassutslipp for private aktører på jernbanen.

Det anbefales at Bane NOR får ansvaret for dette, med bistand fra Jernbanedirektoratet.

8.5 Anbefalinger knyttet til gjennomføringsstrategi

For Nordlandsbanen og Røros-/Solørbanen bør det utarbeides en felles overordnet gjennomføringsstrategi. Avhengig av løsning og tidshorisont som anbefales for Raumabanen, bør gjennomføringsstrategien også tilpasses slik at denne banen omfattes av strategien.

Det anbefales at Jernbanedirektoratet koordinerer og leder arbeidet med å utarbeide gjennomføringsstrategien for å sikre at utviklingen av infrastruktur og kjøretøyflåten ses i sammenheng. Samtidig forventes det at Bane NOR vil ha ansvar for utformingen av store deler av gjennomføringsstrategien, og Norske tog forventes å måtte delta innenfor sine ansvars- og kompetanseområder.



Figur 32 Forslag til overordnet organisering av arbeidet med gjennomføringsstrategi

Det er stor sammenheng mellom overgangen fra dieseldrift til ny energibærer på dagens ikke-elektrifiserte baner, som følge av bl.a.:

- Banene deler samme kjøretøyflåte for persontog, og utbyggingsrekkefølgen bør ses i sammenheng med behovet for utskiftning, ombygging, anskaffelse og omdisponering av kjøretøyene over tid, for å sikre et velfungerende togtilbud gjennom perioden.
- Tilgjengelig nøkkelkompetanse innenfor spesifikke fagområder i Bane NOR kan være begrenset, og det kan være behov for å planlegge hvordan denne skal brukes mest mulig effektivt over tid.
- Tilgjengelig kapasitet i leverandørmarkedet (for elektrifisering og tilhørende aktiviteter) kan være begrenset, og stort press på områder med begrenset kapasitet i markedet kan resultere i at utbyggingsprosjektene presser opp prisene ved å konkurrere om den samme kompetansen.
- Ved å se det totale behovet for elektrifisering samlet sett kan det bli aktuelt å velge løsninger som ikke ville vært aktuelle i det enkelte prosjekt. Et spesifikt eksempel på dette er muligheten for å anskaffe arbeidsmaskiner som er spesialtilpasset for elektrifisering, slik som f.eks. et eget «elektrifiseringstog», «tunnelstrossetog» eller enda et boretog. Anskaffelse eller bygging av slike arbeidsmaskiner kan redusere kostnader og gi raskere gjennomføringstid, men gir kun mening for et større utbyggingsomfang.
- Behovet for justeringer i rutemodeller for å sikre tilstrekkelig med hvite tider til gjennomføring av utbyggingen, samtidig som togtrafikken forstyrres minst mulig, kan få konsekvenser som innvirker på togtilbudet også på andre banestrekninger. Det gjelder spesielt kombigodstog og fjerntog som går over lange enkeltsporede strekninger på Røros-, Nordlands- og Dovrebanen.

Økt kunnskap om infrastrukturen, samt videre arbeid med å optimalisere konseptene på både Nordlandsbanen og Røros- og Solørbanen, evt. den videre utredningen av Raumabanen, bør legges til grunn for en helhetlig gjennomføringsstrategi. I tillegg vil politiske føringer for ønsket gjennomføringstid for overgang til nye energibærere på jernbane være et svært viktig premiss.

Gjennomføringsstrategien bør bl.a. svare ut følgende:

1. Strategi for utvikling og disponering av kjøretøyflåten for persontog. Regiontogene på Røros- og Solørbanen og Saltendelen (type 93) er cirka 22 år gamle og må byttes ut, helst innen 2030. Det må avklares hvilke kjøretøy som skal anskaffes for å erstatte disse, enten direkte eller ved at eksisterende kjøretøytyper omdisponeres til Rørosbanen fra andre baner og nye kjøretøy anskaffes på disse banene. Det er spesielt viktig å få avklart hvilken energibærer de nye kjøretøyene som anskaffes skal ha (i tillegg til ombordkapasitet/lengde). Spesielt bør disponering av kjøretøyflåten ses i sammenheng med strategi for utbygging av batterikonseptet på Nordlandsbanen, bl.a. om strekningen Stjørdal-Steinkjer skal elektrifiseres eller ikke. Ved elektrifisering Stjørdal-Steinkjer kan de bimodale regiontogene (diesel-kontaktledning) som brukes på strekningen (type 76) vurderes brukt på Rørosbanen. Spesielt i byggeperioden kan type 76 være hensiktsmessig å bruke, da det vil gjøre det mulig å ta ut effekten av elektrifiseringen underveis.
2. Gjennomføringsstrategien vil være viktig for tømmerogoperatørene, som trenger en forutsigbar plan å forholde seg til når deres kjøretøyflåte skal legges om.
3. Gjennomføringsplan for infrastrukturen som viser hvilke deler av strekningen som skal bygges om, og når. Denne må være samkjørt med plan for disponering av kjøretøyflåten, men også sikre effektiv bruk av kompetanse i Bane NOR og kapasitet i leverandørmarkedet. Vurderingene av hvilke strekninger som prioriteres først bør bl.a. ta utgangspunkt i hvor store og hvor tidlige reduksjoner i klimagassutslipp elektrifisering av de ulike delstrekningene gir, inkludert reduksjoner som følge av overføring av transport fra vei til jernbane.
4. Eventuelle behov for anskaffelse/utvikling/bygging av arbeidsmaskiner som kan gjøre elektrifiseringen mer tids- og/eller kostnadseffektiv.
5. Annet som er viktig for å sikre at overgangen til nye energibærere på jernbane skjer på en hensiktsmessig måte med hensyn til tilgjengelig tid og ressurser, bl.a. hvilke/hvor mange kontrakter ombyggingen av infrastrukturen bør deles opp i (se kapittel 8.7 Kontraktstrategi, for mer om dette).

8.6 Prioritering og anbefalt tidfesting av tiltak

Som beskrevet i kapittel 7, anbefales det å prioritere gjennomføring av de anbefalte konseptene for Nordlandsbanen og Røros- og Solørbanen, samt framtidig utredet konsept for Raumabanen, i henhold til den samfunnsøkonomiske tiltakskostnaden for å redusere klimagassutslipp. Denne rangeringen sammenfaller med størrelsesorden på utslipp på hver av de tre strekningene, og innebærer at Nordlandsbanen prioriteres først, deretter Røros- og Solørbanen, og til slutt Raumabanen. Dette med forbehold om at videre optimalisering og utredning ikke endrer på dette bildet.

Som følge av behov for ytterligere optimalisering og utredning av de anbefalte konseptene, er det prematurt å anbefale en prioritering mellom parseller/delstrekninger. Det er imidlertid identifisert at Stjørdal-Steinkjer er en «lavthengende frukt» på flere måter: den har høyere utslipp per banekilometer enn øvrige deler av de ikke-elektrifiserte banene, den gjør det mulig å unngå å anskaffe dieselskjøretøy (rene eller bimodale) som erstatning for type 93², og eksisterende plangrunnlag gjør det mulig å planlegge og bygge den på ca. 4 år. Malmtoogene Ørtfjell-Mo i Rana anses også som en potensiell «lavthengende frukt» som kan være mer kostnadseffektiv og raskere å realisere enn øvrige deler av Nordlandsbanen. Spesielt Stjørdal-Steinkjer, kan gi ca. 20 % utslippsreduksjoner ved tidlig gjennomføring.

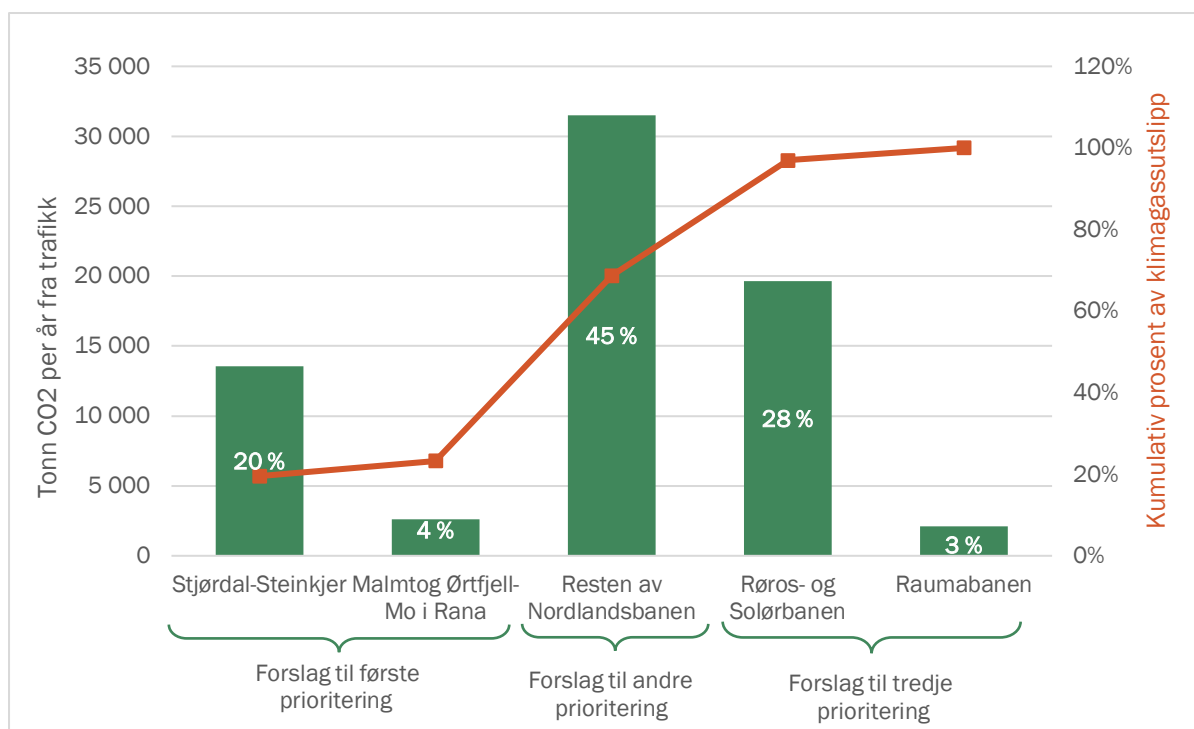
Som andre prioritet anbefales det gjennomføring av batteridrift med deelektrifisering på resterende deler av Nordlandsbanen. Foreliggende resultater for Røros- og Solørbanen tilsier en tentativ tredje prioritering. For Raumabanen vil det være behov for ytterligere arbeid på konseptnivå, og dersom KVVU-ens hypotese om at det finnes mer kostnadseffektive måter å redusere utslippene på Raumabanen stemmer, bør den også prioriteres for gjennomføring på 2030-tallet.

Muligheten for å ta ut effekt underveis avhenger av kjøretøytypen. Der det benyttes bimodale kjøretøy (diesel-kontaktledning), noe det i stor grad gjøres på Nordlandsbanen, vil deelektrifisering gi reduksjoner i klimagassutslipp og driftsutgifter etter hvert som deler av banen elektrifiseres. Overgangen til hybride kjøretøy batteri-kontaktledning vil først være mulig når hele strekningen for den aktuelle toglinjen er ferdig deelektrifisert. På Røros- og Solørbanen forventes det at hele strekningen som trafikkeres av en linje må elektrifiseres før klimagassutslippene reduseres, som følge av at det stort sett benyttes rene dieselskjøretøy i dag og vil benyttes rene dieselskjøretøy ved full elektrifisering. Dersom det kan benyttes bimodale (diesel-kontaktledning) kjøretøy underveis i ombyggingsprosessen, vil delvis elektrifisering også kunne gi effekter underveis (f.eks. ved omdisponering av bimodale type 76 til persontrafikken på Røros- og Solørbanen).

Figuren under viser utreders anbefalte prioritering av tiltak, med tilhørende klimagassreduksjoner. Forslaget gir følgende klimagassreduksjoner:

- Første prioritering: 16 000 tonn CO₂/år
- Andre prioritering: 32 000 tonn CO₂/år
- Tredje prioritering: 20 000 tonn CO₂/år

² Som beskrevet andre steder vil type 93 måtte byttes ut innen ca. 2030. Det er imidlertid ikke realistisk å elektrifisere andre strekninger enn Stjørdal-Steinkjer innen 2030. Dersom denne strekningen ikke elektrifiseres vil en sannsynlig løsning for fornyelsen av type 93 være å anskaffe kjøretøy med diesel som primære energibærer (rene dieselskjøretøy eller bimodale kjøretøy som kan kjøre med både diesel og kontaktledning).



Figur 33 Forslag til prioritering av tiltak, med tilhørende klimagassreduksjoner. Prosentene henviser til strekningens andel av de totale klimagassutslippene fra jernbanetrafikk.

8.7 Kontraktstrategi

Den utarbeidede gjennomføringsplanen anbefales lagt til grunn for videre arbeid med kontraktstrategier for det videre arbeidet med overgangen til nye energibærere. Det er for tidlig å si noe konkret om aktuelle kontraktstrategier for de ulike anskaffelsesprosessene. Det anbefales at den ansvarlige aktør får ansvaret for å utforme dette i etterkant av/parallelt med utformingen av en gjennomføringsstrategi. Det betyr at Bane NOR utformer kontraktstrategi for anskaffelse av infrastruktur og arbeidsmaskiner, Norske tog for persontoganskaffelser, og godsoperatørene for sine kjøretøysanskaffelser.

8.8 Optimaliseringstiltak

De fleste optimaliseringstiltakene faller allerede entydig under en av sektorens aktører. Videre oppfølging av igangsatt arbeid anbefales.

For muligheten for effektivisering av vekt og aerodynamikk er det identifisert at godsoperatørene kan ha behov for bistand fra Jernbanedirektoratet for å identifisere hvordan dette kan gjøres på en god måte. Det er identifisert mulighet for å optimalisere plasseringen av fulle og tomme vogner på godstogene (reduserer luftmotstand), å kun kjøre nødvendig antall vogner, og undersøke om det er potensial for å øke fraktvolumer i underdimensjonerte retninger (utjevne retningsubalanse). Se også vedlegg 5.1 Mulighetsrommet, s. 16.

8.9 Grensesnitt til andre prosjekter og programperspektiv

Andre viktige prosesser og prosjekter som har et grensesnitt mot gjennomføringen av de anbefalte konseptene omfatter bl.a.:

- Godsstrategi NTP 2022-2033
- Planlagt utvikling av togtilbudet, bl.a. innføring av to tog i timen på Trønderbanen
- Erstatningen av regiontog på de ikke-elektrifiserte strekningene (type 93)
- Ombygging til ERTMS

- Eventuell implementering av driver advisory system (DAS/C-DAS) eller automatisk togframføring (ATO)
- Bane NOR og andre eiere av arbeidsmaskiner sine kjøretøystategier for arbeidsmaskiner
- KVV Nord-Norgebanen
- Tilsving på Hamar, Kongsvinger og Elverum

8.10 Risikoreduserende tiltak

Prosessleder for usikkerhetsanalysen anbefaler følgende risikoreduserende tiltak for den videre prosjektutviklingen:

- Prosjektet kan påvirke prosjektorganisasjonen ved for eksempel å etablere et godt styringssystem for sikre effektive prosesser, riktig kompetanse til rett tid og fornuftig bruk av tildelte ressurser.
- Prosjekteierstyring kan påvirkes ved å sikre en helhetlig plan, også i forhold til tilstøtende prosjekter, som tydelig definerer prosjektets rammebetingelser og prioriteringer.
- Prosjektet kan i liten grad påvirke markedsusikkerheten, men det kan sonde markedet løpende for tekniske løsninger, og holde mulighetsrommet åpent, for å sikre løsningsvalg basert på så moden teknologi som mulig, fortrinnsvis med en etablert verdikjede.
- Prosjektet kan påvirke usikkerhet knyttet til lokale forhold ved å detaljere omfanget av infrastrukturtiltak, samt kartlegge tilstand og forhold rundt aktuelle eksisterende objekter.
- Prosjektet kan påvirke prosjektmodenheten ved å sikre at det er tilstrekkelig definert i forprosjektet for å kunne gjennomføres. Gjennomføringsrisikoen kan reduseres ved å unngå fordyrende utviklingsløp, implementere løsninger basert på moden teknologi og velge solide leverandører med etablerte produksjonslinjer.
- Prosjektet bør undersøke mulighetssiden med sikte på å redusere omfang og tidsbruk, dette gjelder spesielt for nye energibærere, hvor usikkerheten er størst. Eksempelvis kan det være et potensiale for å samordne tiltak med øvrig transportsektor og lokal industri.

8.11 Styringsmessig fleksibilitet

Anbefalt konsept på Nordlandsbanen og Røros- og Solørbanen bør anses som overordnede anbefalinger av konsept, og ikke forslag til nøyaktig hvordan infrastruktur, kjøretøy og drift med den nye energibæreren bør løses. Dette må modnes gjennom videre optimalisering, utredning og planlegging. De bimodale togene (diesel-kontaktledning), og når eventuelt batteritog anskaffes, gir fleksibilitet til å ta ut gevinster i form av driftsøkonomi, togtelse og klimagassreduksjoner for hver ny parsell som settes i drift. Dette skaper styringsmessig fleksibilitet til å sette i gang med de tiltakene som gir størst effekt først, men også til å endre prioriteringer underveis, samtidig som gevinstene kan tas ut fortløpende.

Det anbefales å utrede og optimalisering konsept for Raumabanen videre, for å hensynta at de teknologiske premissene er i stadig utvikling og forventes å kunne gi mulighet for bedre løsninger enn de som er identifisert i denne fasen av arbeidet.

For skiftelokomotiver og arbeidsmaskiner kan det være behov for incentivordninger for å realisere utskifting av kjøretøy til utslippsfrie alternativer. Aktuelle tiltak kan være tilskudd til merkostnad for utslippsfri teknologi, krav i konkurranseutlysninger, forskriftskrav avgifter eller alternativ teknologi. Her ligger det mye styringsmessig fleksibilitet i valg av tiltak, som kan innrettes der det gir lavest tiltakskostnad for å oppnå klimagassreduksjonene.

Delrapporter og vedlegg

Vedlegg 1 – Grunnleggende informasjon om jernbanen og de ikke-elektrifiserte strekningene

Vedlegg 2 – Problembeskrivelse

Vedlegg 3 – Behovsanalyse

Vedlegg 3.1 – Interessentanalyse

Vedlegg 3.2 – Arbeidsverksted 1

Vedlegg 3.3 – Underlagsinformasjon om arbeidsmaskiner

Vedlegg 4 – Strategiske mål og rammebetingelser

Vedlegg 5 – Mulighetsstudie

Vedlegg 5.1 – Mulighetsrommet

Vedlegg 5.2 – Arbeidsverksted 2

Vedlegg 5.3 – Arbeidsverksted om arbeidsmaskiner

Vedlegg 6 – Alternativanalyse

Vedlegg 6.1 – Samfunnsøkonomisk analyse

Vedlegg 6.2 – Energisimulering

Vedlegg 6.3 – Usikkerhetsanalyse investeringer (UNNTATT OFFENTLIGHET)

Vedlegg 6.4 – Usikkerhetsvurdering vedlikeholdskostnader (UNNTATT OFFENTLIGHET)

Vedlegg 6.5 – Grunnkalkyle (UNNTATT OFFENTLIGHET)

Vedlegg 6.6 – Infrastrukturforutsetninger

Vedlegg 6.7 – Arealbeslag og kostnader for hydrogendepoter

Vedlegg 6.8 – Klimagassberegninger

Vedlegg 7 – Begreper og forkortelser

9 Kilder og referanser

- [1] Finansdepartementet, «Statens prosjektmodell – Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten, Nr. R-108/19,» 08.03.2019.
- [2] Opplysningsrådet for veitrafikken, juli 2023. [Internett]. Available: www.ofvstatistikk.no.
- [3] J. SSB, Statistisk sentralbyrå for veitrafikk og Jernbanedirektoratet for jernbanetrafikk, 2019-tall.
- [4] Jernbanedirektoratet, *CO2 utslippsreduksjoner fra skinnegående arbeidsmaskiner, Dok.nr. 202000267-13, versjon 01*, Jernbanedirektoratet, 23.06.2022.
- [5] S. v. klimastiftelse.
- [6] regjeringen.no, https://www.regjeringen.no/no/tema/transport-og-kommunikasjon/jernbane_og_jernbanetransport/et-godt-togtilbud/id2350718/, 2023-08-10 kl. 13.30.
- [7] Oljedirektoratet, «Ressursrapport 2022,» 2022.
- [8] Statistisk Sentralbyrå, «Salg av petroleumsprodukter, tabell 4,» 2022.
- [9] CircleK Norge, «milesBIO HVO100 - fornybar diesel med miles additiv,» 2023. [Internett]. Available: <https://www.circlek.no/bedrift/drivstoff/milesbio%C2%AE-hvo100>. [Funnet August 2023].
- [10] Miljødirektoratet, «Biodrivstoff,» 2023. [Internett]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/transport/biodrivstoff/>. [Funnet August 2023].
- [11] Miljødirektoratet, «Klimatiltak i Norge mot 2030: Oppdatert kunnskapsgrunnlag om utslippsreduksjonspotensial, barrierer og mulige virkemidler,» Miljødirektoratet, 2023.
- [12] Miljødirektoratet, «System for flytende biodrivstoff utover omsetningskrav,» 2023.
- [13] Transportvirksomhetene, «NTP 2025-2036 Utredningsoppdrag svar fra transportvirksomhetene til hovedleveranse med frist 22. januar 2023, klimavedlegg,» 2023.
- [14] Miljødirektoratet, «Salg av avansert biodrivstoff til veitrafikk,» 2022.
- [15] Mo industripark as, «Hydrogenproduksjon og grønd stål i Mo industripark,» 2020. [Internett]. Available: <https://www.mip.no/hydrogenproduksjon-og-gront-stal-i-mo-industripark/>. [Funnet 2023].
- [16] International Railway Journal, «Vivarail forms hydrogen fule-cell partnership,» 2019. [Internett]. Available: <https://www.railjournal.com/fleet/vivarail-forms-hydrogen-fuel-cell-partnership/>. [Funnet 2023].
- [17] Statistisk sentralbyrå, Bruttoforbruk av elektrisk kraft 12824-04, 2022.
- [18] P. B. W. Rosendal K. E., «Karbonprisbaner til bruk i nyttekostnadsanalyser i Norge,» Fagforeningen Samfunnsøkonomene, Oslo, 2023.
- [19] Bane NOR, «Mulighetsstudie for å oppnå utslippsreduksjon fra arbeidsmaskiner i periodene frem til 2030 og 2050,» 25.03.2022.

- [20] Miljødirektoratet, *Klimakur 2030: Tiltak og virkemidler mot 2030.*, 2020.
- [21] Finansdepartementet, «Rundskriv R-108/23 Statens prosjektmodell - Krav til utredning, planlegging og kvalitetssikring av store investeringsprosjekter i staten,» 2023.
- [22] Statistisk sentralbyrå (SSB), «Direkte klimagassutslipp fra transportsektoren,» 2019.
- [23] www.regjeringen.no.
- [24] M. m.fl., Se Miljødirektoratet m.fl., 2020, s.xix-xxii for nærmere detaljer om tiltakene som er vurdert og hvordan de er rangert..
- [25] Jernbanedirektoratet, «CO2 utslippreduksjoner fra skinnegående arbeidsmaskiner,» 23.06.2022.