

Utredning



Strategi for driftsform på ikke - elektrifiserte baner

10.11.2015

Prosjekteier: Strategi og samfunn nord og midt	Prosjektnr: 224426	Arkivref.: SR 201407528	Prosjektfase: Utredning
--	------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------

Utarbeidet av		Godkjent av prosjekteier	
Dato: 10.11.2015	Sign. LINY/HMM	Dato:	Sign

Dette dokumentet er basert på mal STY-601681, rev. 001

Malen er basert på følgende styringsdokument:

- STY-601741 "Håndbok for prosjektarbeid i Jernbaneverket"
- STY-601738 "Håndbok for Utrednings- plan- og byggeprosjekter i JBV"
- STY-600937 "Håndbok for planoppgaver i Utbygging tilrettelegging/plan"

Utarbeidet av		Sidemannskontroll	
Dato: 10.11.2015	Sign. LINY/HMM/Nictor/Morann	Dato: 10.11..2015	Sign LINY, HMM, NicTor, Morann

Forsidefoto:

Øverst: godstog på Rørosbanen, foto Arvid Bårdstu

Under til venstre: godstog på Solørbanen, foto Øystein Grue

Under til høyre, persontog på Bodø stasjon, Nordlandsbanen, foto Heidi Meyer Midtun

Innholdsfortegnelse

INNHALDSFORTEGNELSE	2
1. BAKGRUNN FOR STRATEGIARBEIDET	4
1.1 OPPDRAG	4
1.2 MÅL FOR STRATEGIUTFORMINGEN	4
1.3 RELEVANTE KRAV OG FØRINGER	5
1.4 GJENNOMFØRING AV OPPDRAGET	7
2. DAGENS SITUASJON: GAP, UTFORDRINGER OG BANENES ROLLE	8
3. KUNNSKAPSGRUNNLAGET - ALTERNATIVE ENERGIBÆRERE OG DRIFTSFORMER	12
3.1 BESKRIVELSE AV DE ULIKE ENERGIBÆRERNE	12
3.2 VIRKEMÅTE OG KONKLUSJONER I FASE I	13
3.3 VIDERE ARBEID: HVORDAN VIL ENERGIBÆRERNE FUNGERE I PRAKSIS?	16
3.4 KOSTNADSBILDE. SENSITIVITET MHT. TRAFIKKTETTHET	22
3.5 ULIKE KONSEPTERS AKTUALITET I 2021, 2027 OG 2050	24
3.6 SAMMENFATNING AV RESULTATER, KONKLUSJON FASE II	26
3.7 ENERGIANALYSENE – PRAKTISK ANVENDELSE AV ULIKE ENERGIBÆRERE	27
3.8 KUNNSKAPSGRUNNLAGET - KONKLUSJONER	27
3.9 BRATSBERGBANEN	28
4. MULIGHETER OG KONSEKVENSER	29
4.1 KUNNSKAPSGRUNNLAGET BESKRIVER FLERE MULIGHETER.....	29
4.2 SAMFUNNSØKONOMISK ANALYSE AV KONVENJONELL ELEKTRIFISERING	30
4.2.1 FORUTSETNINGER FOR SAMFUNNSØKONOMISK ANALYSE	30
4.2.2 SAMFUNNSØKONOMISKE VIRKNINGER OG FØLSOMHETER	33
4.2.3 KONKLUSJON BASERT PÅ SAMFUNNSØKONOMISK ANALYSE.....	36
4.3 ANDRE STRATEGISKE EGENSKAPER KNYTTET TIL DRIFTSFORM.....	36
5. ANBEFALING FOR STRATEGI FOR DRIFTSFORM PÅ BANENE MOT 2030	40

6. VEDLEGG 45

- 1: Fakta om banene
- 2: Gjennomgang av grovanalyse
- 3: Energianalyse: grunnlag og metode
- 4: Økonomi for de ulike driftsformene
- 5: Mulige konsekvenser av elektrifisering
- 6: Kart over jernbanenettet

LISTE OVER FIGURER OG TABELLER:

Figur 1 Driftsform for jernbanenettet	8
Figur 2 Skisse over mulig drivstoffer og framdriftskonsepter	12
Figur 3 Økonomisk vurdering av forskjellige teknologier for Rørosbanen, 2015-kroner	21
Figur 4 Totale kostnader for de evaluerte konseptene på ulike banestrekninger i 2015	23
Figur 5 Årlige kostnader (annuitet) for ulike framdriftskonsepter som funksjon av trafikk tetthet uten hensyn til begrensninger i banens kapasitet	24
Tabell 2 Sammenfatning av resultater av evaluering	24
Tabell 3 Sentrale parameterverdier brukt i beregningene	31
Tabell 4 Investeringskostnader (P50) ved elektrifisering i mrd kr. 2015	32
Tabell 5 Investeringskostnader og netto nåverdi i mrd kr. 2015	33
Tabell 7 Redusert investeringskostnad og tilhørende netto nåverdi i mrd kr. 2015	34
Tabell 8 Røros- og Solørbanen, eksempel på nyttevirksomheter av redusert kjøretid og økt punktlighet, uttrykt som netto nåverdi i mrd kr. 2015	35
Tabell 9 Nytt på Røros/ Solørbanen av lengre tog og elektrifisering uttrykt som netto nåverdi i mrd kr. 2015	35

1. Bakgrunn for strategiarbeidet

I Stortingsmelding Meld. St. 26 (s. 64) står det at Jernbaneverket får i oppdrag å utrede konsekvensene av å elektrifisere gjenstående dieselstrekninger, det vil si Røros- og Solørbanen, Nordlandsbanen, Raumabanen og Bratsbergbanen. Denne utredning er et svar på dette oppdraget.

Som del av oppdraget og for å styrke anbefalinger er det hentet inn kunnskap om alternative driftsformer i rapporten Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner.

Dette kunnskapsgrunnlaget gjennomgås i kapittel 3¹.

1.1 Oppdrag

Strategi for ikke-elektrifiserte baner skal avklare muligheter for framtidig driftsform og energibærer for Røros- og Solørbanen, Nordlandsbanen, Raumabanen og Bratsbergbanen. Strategien skal gi grunnlag for anbefalinger og prioriteringer mellom strekningene.

Arbeidet med ny godsstrategi er nå i startfasen. Den vil hente problemforståelse/ kunnskap fra flere kilder, blant annet Strategier for ikke-elektrifiserte baner, Bred godsanalyse, utfordringene med oppetid og punktlighet på Dovrebanen, og behov for redundante løsninger og økt kapasitet. I tillegg vil mål om reduserte miljøutslipp være viktig.

1.2 Mål for strategiutformingen

Langsiktige mål og visjoner for utvikling av passasjer- og godstransporttilbudet med tog slik de er formulert i NTP² danner det viktigste grunnlaget for utvikling av jernbanens infrastruktur og dermed for en Strategi for ikke-elektrifiserte baner. Fra det overordnede samfunns målet er målsettingen brutt ned og konkretisert gjennom effektmål og resultatmål.

Samfunns mål

Samfunns målet i Nasjonal transportplan 2014 – 23 for utvikling av transportsystemet er: *Å tilby et effektivt, tilgjengelig, sikkert og miljøvennlig transportsystem som dekker samfunnets behov for transport og fremmer regional utvikling.*

Effektmål

Belyse tiltak som bidrar til å oppnå samfunns målet, herunder vise konsekvensene av konvensjonell elektrifisering av gjenstående baner, og se det opp mot alternative energibærere.

¹ Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner, SINTEF MK og SINTEF IKT Nye Energiløsninger og Anvendt Kybernetikk, 2015

² Se <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/meld-st-26-20122013>

Rapporten skal gi grunnlag for en vurdering av hvilken eller hvilke framdriftsteknologi(er) som er aktuell for de ikke-elektrifiserte banene.

De ulike banene skal omtales med hensyn til grensesnitt mot nabobaner og tilliggende banestrekninger, og lokale/ regionale forhold som må tas i betraktning ved vurdering av alternative framdriftsmåter.

Resultatmål

Utredningen skal belyse ulike alternative energibærere som kan brukes i togdrift. Energibærerne skal belyses med hensyn på:

- Systemets behov for nødvendig tilrettelegging/ investering i jernbanens infrastruktur
- Behovet for nødvendig bakenforliggende logistikk for energibærer (for å gjøre energien tilgjengelig for togdriften)
- Behovet for tilrettelegging i trekkraft (lokomotiver/ trekkvogner)
- Energisystemets totale miljøeffekter (livssyklus)
- Dimensjonerende trafikale krav
- RAMS på utredningsnivå
- Nødvendig sikkerhet i forhold til transport og bruk av energibærerne
- Gjennomføringsmulighet
- Driftssikkerhet

Den enkelte bane skal vurderes i forhold til nytten av å bruke alternative energibærere til togdrift, og nytten i forhold til grensesnitt mot andre baner eller grensekryssing. Utredningen skal gi en anbefaling av hvilke energibærere som kan være aktuelle å ta i bruk på de ulike banene, og tidshorizonten for dette.

1.3 Relevante krav og føringer

Gjennom overordnet teknologisk strategi for Jernbaneverket gis det føringer for strategiske valg:

- Levetidsperspektivet og kontinuerlig kvalitetsforbedring skal inngå i alle faser
- Det skal velges internasjonalt anerkjent og etablert teknologi
- Det skal velges blant forhåndsdefinerte teknologiske løsninger
- Ved vedlikehold og fornyelse skal det velges teknologiske løsninger som fører til standardisering.

Utviklingen i EU-området vil påvirke teknologivalg

Innenfor EU har det vært en prosess knyttet til forordninger som stiller krav til driftsform for

banestrekninger som er del av TEN-T nettverket (Trans-European Transport Network). Det dreier seg om krav til at:

- Alle linjer skal være elektrifisert
- Alle linjer skal være godkjent for minst 25 tonns aksellast
- Alle linjer skal ha en linjehastighet på minimum 100 kilometer i timen på alle strekningsavsnitt
- Stigninger og fall på mer enn 12,5 promille aksepteres ikke på nybygd infrastruktur
- Alle linjer skal kunne takle godstog på 750 meter

I forordningene heter det at tidsfristene (2030 for kjernenettverket, 2050 for det utvidede nettverket) ikke skal være absolutte, men at implementering skal sees i sammenheng med hvorvidt prosjektet vurderes som modent for gjennomføring, hvorvidt det er i tråd med lover og regler og hvorvidt prosjektet er finansiert.

I enkelte land kan det bli aktuelt heller å ta ut strekninger fra TEN-T og i verste fall legge ned strekninger. I forordningene er det lagt opp til at landene kan søke om fritak fra kravet om elektrifisering for isolerte banestrekninger, dersom en nasjonalt vurderer at disse går lenger enn hva TSI³-ene gir grunnlag for å kreve.

I Norge inngår både Meråkerbanen og Nordlandsbanen i det utvidete nettverket.

Egenskaper av stor betydning for strategiske valg

I tillegg til formelle krav og føringer vil det være flere egenskaper som er av stor betydning for strategiske valg. I arbeidet med de ikke-elektrifiserte banene er følgende lagt til grunn:

- Interoperabilitet mellom banestrekninger og for materiell.
Dette innebærer at den enkelte banestrekning inngår i et større nettverk med tilstrekkelig grad av ens standard, både med hensyn til infrastrukturen og krav til materiell. Dette bidrar til å harmonisere og redusere kostnader og tidsforbruk for togoperatører, økt mulighet for å trafikkere flere strekninger, samt å bidra til mulighet for nye driftsmønstre/ ruter for tog.
- Ivaretagelse av nødvendig grad av redundans.
Med redundans menes i denne sammenheng mulighet for bruk av alternative kjøreruter og materiell (trekkraft). Dette bidrar til fleksibilitet i avvikssituasjoner, for eksempel ved at varer kommer fram på tross av brudd på en strekning.
- Utvikling av konkurransedyktige baner.
Valg av driftsform bør bidra til økt konkurransedyktighet og bruk. Sentrale variable er kostnader og attraktivitet for togoperatører og transportbrukere. Her vil driftsformen også bidra til resulterende kapasitet på strekningen og i banenettet. Interoperabilitet og redundans vil også være viktige elementer for konkurransedyktige baner.

³ TSI= Tekniske spesifikasjoner for samtrafikkevne

- Tidshorizont for teknologiutvikling og tidspunkt for endring av driftsform. Teknologiutviklingen er i denne sammenheng i stor grad drevet fram av klimaendringene og fokuset på utvikling av tiltak for å redusere klimagassutslipp. Tidshorizontene for utredningsarbeidet er dels påvirket av sentrale årstall for NTP-periodene og dels av det langsiktige perspektivet for utvikling til lavutslippssamfunnet. De valgte milepælene er 2021 (kort sikt), 2027 (mellomlang sikt) og 2050 (lang sikt). Teknologi- og kostnadsutvikling er av vesentlig betydning for beslutning og implementering av ny driftsform. Her vil det blant annet være viktig å være oppmerksom på faren for «å låse seg» til en gitt driftsform på grunn av høye investeringskostnader og tilhørende lang økonomisk levetid. Kostnader og tap ved reversering av valg kan bidra til at driftsformer med lave investeringskostnader er interessante i en tidsperiode der teknologiutviklingen er omfattende.

1.4 Gjennomføring av oppdraget

De ikke-elektrifiserte banene er svært ulike når det gjelder egenskaper og utgangspunkt for å ta i bruk andre driftsformer enn dagens dieseldrift. Videre har den teknologiske utviklingen skapt grunnlag for at flere alternative løsninger kan være relevante å vurdere i tillegg til konvensjonell elektrifisering. Parallelt med dette, og nok også som en driver for den teknologiske utviklingen, har kravene og presset på reduksjon av (klimagass-)utslipp blitt vesentlig strengere. Dette er et utviklingstrekk som vil vedvare og være en permanent premis for samfunnsutviklingen generelt og tiltak innen transportsektoren spesielt.

Bratsbergbanen er ikke omfattet av analysene pga. den korte manglende lenken (850m) elektrifisert bane og en pågående prosess som vurderer elektrifisering. Se side 13 og side 30.

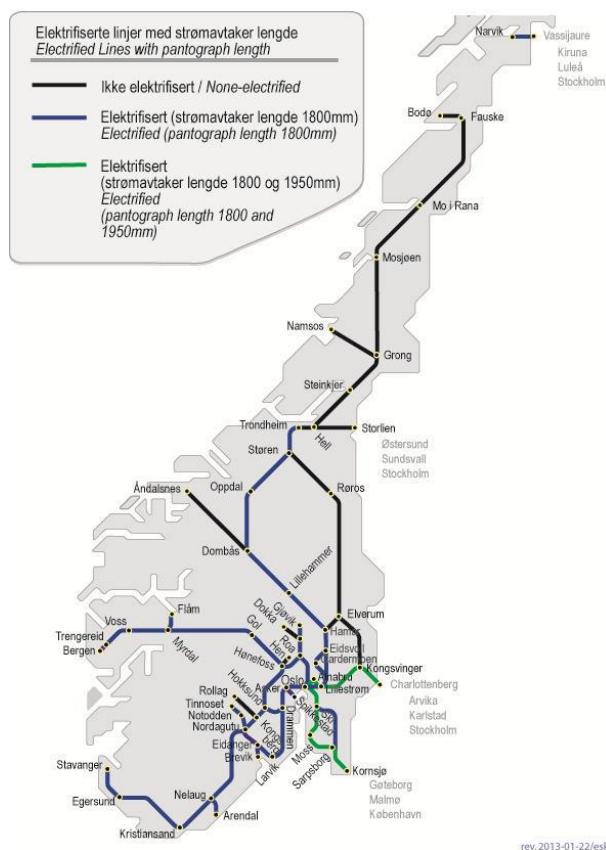
På dette grunnlaget ble det valgt å gjennomføre arbeidet med utvikling av en strategi for de ikke-elektrifiserte baner med følgende faser:

- I. Beskrivelse av sentrale egenskaper og rollen for den enkelte bane.
- II. Kunnskapsinnhenting om aktuelle driftsformer og deres egenskaper, uavhengig av type bane og banestrekning. Sannsynlig utvikling og modning av teknologiene over tid (milepælene 2021, 2027 og 2050).
- III. Evaluering av den enkelte relevante driftsform basert på et omfattende sett av kriterier. Viktige kriterier er: kostnader (investering og drift), miljø/ klima-virkninger, effektivitet og anvendbarhet (trekkraft og interoperabilitet), grensesnitt og redundans med andre baner.
- IV. Funn fra kunnskapsinnhenting og evalueringen av driftsformer av betydning for strategiutviklingen. Herunder nytte/ kostnadsanalyse av å elektrifisere banene (konvensjonell teknologi).
- V. Drøfting av mulige valg for den enkelte bane.
- VI. Anbefalt løsning for den enkelte bane (strategi).

2. Dagens situasjon: Gap, utfordringer og banenes rolle

Status framdriftsteknologi på banene i dag

Jernbanenettet i Norge utgjør vel 4200 km, hvorav ca. 80 % er elektrifisert. 245 km er dobbeltsporet bane. (Kilde: Network Statement 2015, Kilde: Slik fungerer jernbanen 2012).



Gap og utfordringer i dagens system

Dagens jernbane i Norge består av baner som er elektrifisert på konvensjonell måte, dvs. med KL (kontaktledningsanlegg) og omformerstasjoner langs linjen. Der det ikke er elektrifisert bane kjører togene med diesel.

Dette medfører en begrensning for hvor de elektriske togene kan kjøres. De kan ikke kjøres på ikke-elektrifiserte baner.

Det er 1395 km jernbane i Norge⁴ hvor dieseldrevne tog er eneste mulighet. Da er baner som ikke er i bruk og sidespor ikke medregnet. Banene er ulike med hensyn til hvilke tog som trafikkerer der i dag, noen med diesel-elektriske lokomotiver, andre med diesel-elektriske motorvognsett.

Figur 1 Driftsform for jernbanenettet

gjelder både persontog og godstog.

Dovrebanen på strekningen Støren – Hamar eller Støren - Oslo og Rørosbanen på strekningen Støren – Hamar eller Røros/ Solørbanen på strekningen Støren – Kongsvinger – Oslo kan fungere som reservebane for hverandre.

Driftsproblemer og problemer for godstransporten på bane

I mars 2012 gikk det et stort jordras på Dovrebanen ved Soknedal (65 km sør for Trondheim). Banen var stengt i 8 uker, den lengste stengningen i Dovrebanens historie. Deler av godstrafikken ble overført til Rørosbanen. Det ble i perioden kjørt opp mot 5 av de totalt 8 godstogene mellom Alnabru og Trondheim, der begge selskapene (Cargolink og CargoNet) var involvert.

⁴ Trønder- og Meråkerbanen (totalt 206 km) er under utbygging for elektrifisering. Dette vil redusere dieselstrekningene tilsvarende.

Det var altså 3-4 godstogpar pr. dag som ikke gikk i 2012. Persontogene gikk ihht rute på Rørosbanen. På Dovrebanen ble det kjørt buss for tog på strekningen Berkåk – Trondheim (85 km). Punktligheten falt til 50-70 % på begge banestrekninger. Direkte kostnader knyttet til raset ble beregnet til størrelsesorden 110 MNOK. Dette inkluderer reparasjonskostnadene og togselskapenes direkte tap. Etterarbeidet medfører at samlet kostnad er økt ytterligere.

Rørosbanen har også senere blitt benyttet som omkjøringsbane for godstrafikk Alnabru – Trondheim, blant annet da Dovrebanen var stengt i 30 dager på grunn av flom i mai-juli 2013, og i forbindelse med IC-utbyggingen langs Mjøsa. Ved den videre utbyggingen av IC mot Lillehammer er det stor grunn til å tro at det vil bli planlagt stenging av Dovrebanen, og at det vil være behov for en alternativ rute.

4-5 flere godstog øker kapasitetsutnyttelsen til over 100 % på Rørosbanen mellom Hamar og Røros. Selv om det skulle være flere diesellokomotiver tilgjengelig, vil det ikke være mulig å framføre flere godstog over Rørosbanen enn det som ble kjørt under stengingen. Dette dekker ikke behovet. For korridoren Oslo – Trondheim er det altså alternative traséer for framføring av godstog, men Rørosbanen har ikke kapasitet for å tilby optimal redundans for togframføring når behovet oppstår.

Det er også en begrensning at det ikke er fjernstyring på strekningen Røros – Støren. Siden det er bestemt at ERTMS skal være i drift fra 2023, er dette ikke tema videre i denne utredningen.

Den siste viktige faktoren er at Rørosbanen ikke er elektrifisert slik som Dovrebanen. Dermed kan togene ikke omdirigeres raskt ved driftsbrudd på Dovrebanen.

På Nordlandsbanen har det vært tilsvarende situasjoner med stengt bane ved vårløsning, flom eller mye nedbør. Banen har måttet stenge i de samme periodene som Dovrebanen. Det har oppstått betydelige utglidninger/jordskred hvor det eneste som ble igjen av banen var selve skinnestrengen som hang i luften mens underbygningen ble vasket bort.

Raumabanen rammes sterkt av stenginger på Dovrebanen. Raumabanen mangler både fjernstyring og elektrifisering.

På kort sikt har Jernbaneverket iverksatt tiltak for å bøte på situasjonen med driftsforstyrrelser. Tiltakene er utviklet og vurdert i samarbeid med godstogselskapene og deres kunder, og består av:

Beredskapsterminaler - For å unngå at godset må kjøres på biler hele veien mellom landsdelene ved brudd på en delstrekning så skal det etableres beredskapsterminaler på hovedstrekningene. Disse skal raskt kunne settes i drift og kostnadene til flytting av utstyr til disse skal dekkes av Jernbaneverket. På Dovrebanen er det foreslått slike beredskapsterminaler på Kvam og Støren, og på Nordlandsbanen i Mosjøen og Mo i Rana.

Beredskapsruter - Det lages egne ferdige ruteopplegg for bruk ved brudd på Dovrebanen. Det etableres «aksjonskort» (handlings- og styringsrutiner) som raskt kan settes i verk med ferdige alternative ruter for godstogene over Rørosbanen.

Beredskapslokomotiver - Jernbaneverket vil anskaffe (lease) fire diesel-lokomotiver som skal stilles til rådighet for togselskapenes tog når brudd på Dovrebanen gjør at togene må kjøres via Røros i stedet

for over Dovre. Diesellokene vil også kunne brukes til å trekke godstog forbi eventuelle strekninger med langvarige strømbrydd på de andre hovedlinjene. Disse er anslått å kunne frakte 50-75 % av godset som ellers ville blitt stående dersom banen er stengt. De har til sammen en leasingkostnad på 13-15 mill. kr.⁵

Aktørenes situasjon

Primærinteressentene for endret driftsform på banene består av:

Togselskaper/ operatører, dvs. alle jernbaneforetak med sportilgangsavtale i Norge (selv om de ikke trafikkerer strekningen nå har de i prinsippet mulighet til det):

CargoNet AS	NSB AS
Green Cargo AS	Flytoget AS
LKAB Malmtrafik AB	NSB Gjøvikbanen AS
Hector Rail AB	SJ AB
Cargolink AS	Tågakeriet i Bergslangen AB (Tågab)
Grenland Rail AS	TX Logistik AB

Samlastere/speditører:

DSV Road	DB Schenker	DHL Express
----------	-------------	-------------

Post Nord	Posten	Bring
-----------	--------	-------

Vareiere (blant annet):

Rema 1000	Coop	Norsk Stål
-----------	------	------------

Felleskjøpet	Aker Verdal	Norske Skog
--------------	-------------	-------------

I tillegg kommer næringslivet generelt og personreisekundene. Primærinteressentene vil i første rekke være brukere eller de som blir direkte berørt av aktuelle tiltak.

Sekundære interessenter er Stortinget/ regjeringen, Samferdselsdepartementet/ Finansdepartementet/Miljøverndepartementet og Jernbaneverket, samt aktører som formelt vil være direkte involvert i spørsmålet om endret driftsform. Dvs. vedtaksmyndigheter, rådgivere for bevilgende myndigheter og eiere av infrastruktur (tiltakshavere). Andre interessenter som mer indirekte berøres er Fylkesmenn, NVE, grunneiere, miljøvernorganisasjoner etc..

Den økonomiske situasjonen for flere av næringsaktørene har vært vanskelig over flere år. Jernbanetransport er den transportnæringen som har lavest driftsmargin, og den har vært negativ siden 2009. Antallet aktører er lite og stabilt, mens sysselsettingen er redusert. Det bemannes ned, og flere tjenester kjøpes eksternt. Betydelige utfordringer med infrastrukturen har medført redusert punktlighet og økte avvikskostnader, med 2011 som et bunnår for den vurderte tidsserien.

Driftsunderskuddet var fortsatt negativt i 2012 og 2013, men med en bedring sammenliknet med 2011. I tillegg økte punktligheten i 2012, noe som har gitt en mer stabil driftssituasjon⁶.

⁵ Anslag om andeler av gods diesellokomotivene kan frakte og hva kostnaden knyttet til dem er kommer fra seksjon for terminaler (Kjell Ivar Maudal).

Dette bildet tilsier at det en endring av driftsform på banene ikke må gi økte kostnader for aktørene. Dette vil forverre en allerede anstrengt driftsøkonomi.

Banenes roller

Strekningene har ulike egenskaper og roller i transportsystemet.

Røros-/ Solørbanen er en viktig del av et helhetlig banenett fordi den er et supplement til Dovrebanen. Sammen kan banene utgjøre et redundant system mellom Oslo/ Østlandet og midt- og nord-Norge. Banen har stor strategisk betydning som avlastningsrute for å få fram gods mellom landsdelene, og med kobling nord-sør og øst-vest mellom dalførene med tanke på transport av tømmer. Solørbanen har økende betydning for transport av tømmer til Sverige. Tømmertransport fra Dovrebanen dras ned til Alnabru og ut Kongsvingerbanen via Hovedbanen. Strekningene Lillestrøm – Eidsvoll, Lillestrøm – Alnabru og Lillestrøm- Kongsvinger har veldig sterkt trafikkbelastning. Utbyggingen av Intercity/IC vil ytterlig forsterke kapasitetsmangelen for godstransporten inn og ut av Oslo-området. Persontogene gir kollektivtilbud mellom Røros og Hamar med forbindelser til Oslo, Røros og Trondheim.

Nordlandsbanen er en nasjonal transportkorridor. For gods mellom endepunktene Oslo - Bodø/ Fauske har jernbanen en markedsandel på 83 %. Punktlighet og vekstmuligheten er pr. dags dato avhengig av forbindelsen Alnabru - Trondheim. Det er også betydelig malmtransport på strekningen Mo - Ørtfjell i regi av Rana Gruber.

Persontrafikken er sammensatt. Tog er eneste kollektivtilbud på deler av strekningen Steinkjer - Bodø. Reiseformål er opplevelse og turisme Trondheim - Bodø, i tillegg til pendlere og jobbreiser, med mange interne reiser. Saltenpendelen (Rognan – Fauske – Bodø) er et viktig pendlertilbud mot Bodø, som er vesentlig raskere enn transport på veg. Banen gir et viktig lokalt og regionalt kollektivtilbud på Helgeland (særlig mellom Mosjøen og Mo i Rana og mot Trondheim).

Raumabanen har en sentral rolle i turistnæringen i regionen. Banen brukes som turistbane med egne turisttog fra cruisebåter som kommer til Åndalsnes. Banen er et framkomstmiddel og en opplevelse i seg selv. Den sørger for transport av ca. 20 % av godsmarkedet mellom Alnabru og Åndalsnes. Forbindelsen er svært avhengig av oppetid og punktlighet på Dovrebanen. Toget gir et lokalt, regionalt og nasjonalt kollektivtilbud.

Bratsbergbanen er siden 2008 navnet på jernbanestrekningen mellom Eidanger og Nordagutu. Banen knytter seg til Brevikbanen i sør og Tinnosbanen i Nord, og trafikkeres av NSB på strekningen mellom Porsgrunn og Notodden. Strekningen er 64 km lang og elektrifisert fram til Notodden stasjon.

Telemark fylkeskommune åpnet i 2002 Notodden kollektivterminal en knapp kilometer vest for Notodden stasjon. I 2004 forlenget JBV jernbanesporet meter fra stasjonen fram til kollektivterminalen for å legge bedre til rette for samordning mellom tog og buss. Sporforlengelsen mellom Notodden stasjon og Notodden kollektivterminal er ikke elektrifisert. Det pågår en prosess for å vurdere eventuell elektrifisering av strekningen.

⁶ Kilde: Bred samfunnsanalyse av godstransport, 2015

3. Kunnskapsgrunnlaget - alternative energibærere og driftsformer

Det er stort fokus i samfunnet på bruk av CO₂-frie energibærere. Det finnes alternativer til konvensjonell elektrifisering, og det er viktig at alternative energibærere også blir vurdert for jernbane.

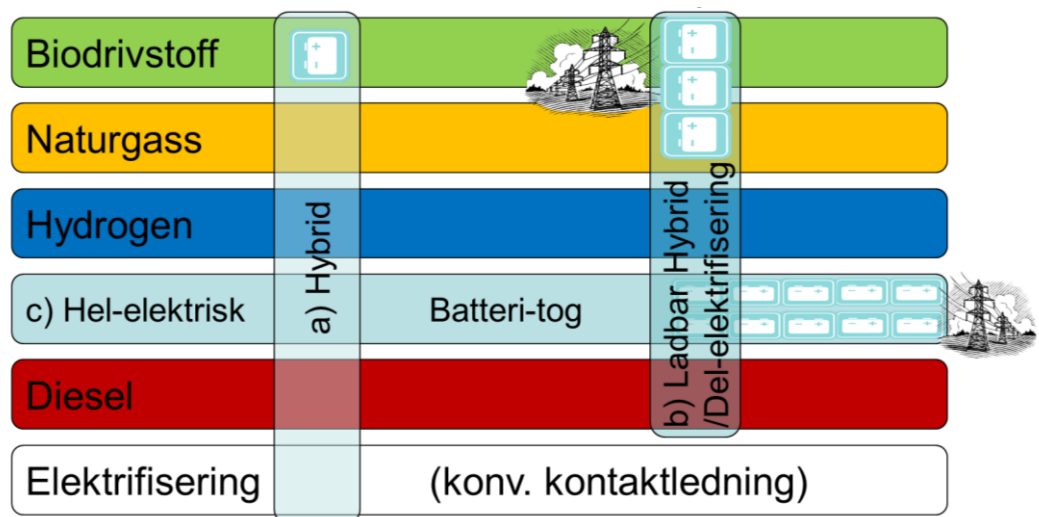
For å få et faglig grunnlag for å vurdere ulike energibærere har SINTEF Materialer og Kjemi vært engasjert for å foreta kunnskapsinnhenting og gjøre avveininger av dette temaet. Dette er gjort for de tre milepælsårene som er plukket ut i analysen (2021, 2027 og 2050). SINTEF har også vist mulig bruk av ulike energibærere for den enkelte bane, med beregninger av mengdebehov i forhold til ulike energibærere for et standard godstog.

Dette kapittelet inneholder i sin helhet en gjennomgang av kunnskapsgrunnlaget utarbeidet av SINTEF. For mer detaljert informasjon henvises til SINTEFs hovedrapport.⁷

Arbeidet er utført i to faser. I fase I er det gjort en grovanalyse som en første sondering av ulike konsepters egnethet for framdrift av tog i Norge. Etter dette ble fase II gjennomført, der det er sett på hvordan de foreslåtte energibærerne blir anvendt i dag og hvilken utvikling man forventer/ kan se for seg på kort og lengre sikt. Det er også sett på rent praktisk anvendelse av ulike energibærere på de forskjellige banene, vurdert opp mot topografi/ stigningsforhold, togmateriellets effektbehov og virkemåte etc.

3.1 Beskrivelse av de ulike energibærerne

Konvensjonell elektrisk framdrift (med kontaktledningsanlegg, KL) og dieseldrift representerer referanser (sammenligningsgrunnlag) for de alternative konseptene som inngår i denne utredningen. Under følger en skisse over mulige konsept, med en kort beskrivelse av hybrid-alternativene.



Figur 2 Skisse over mulig drivstoffer og framdriftskonsepter

⁷ Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner, SINTEF MK og SINTEF IKT Nye Energiløsninger og Anvendt Kybernetikk, 2015

Begrepet Hybrid er brukt slik i rapporten:

- a) **Hybridisering** i konvensjonell forstand, slik vi kjenner teknologien fra hybridbiler (f.eks. Toyota Prius), der man benytter en mindre batteripakke for å ivareta energien under oppbremsing for så å benytte denne energien til å øke motorkraften under påfølgende akselerasjon.
- b) **Ladbar Hybrid** er en løsning der batterikapasiteten er større enn for løsning a) over, og batteriene kan lades fra elektrisitetsnettet (eller via strømtaker). Dette muliggjør at toget kan kjøre deler av banestrekningen med elektrisk drift, mens det så kjører videre på respektive alternative drivstoff når batteriet er tomt (Del-elektrifisering)
- c) **Helelektrisk batteri-tog** har store batterisystemer som muliggjør at hele banestrekningen kan tilbakelegges med elektrisk drift basert på den elektriske energien som er lagret i batteriene.

3.2 Virkemåte og konklusjoner i Fase I

I påfølgende avsnitt er de ulike konseptene kort beskrevet, og deres respektive fordeler og ulemper diskutert.

Konvensjonell elektrisk framdrift (med KL, referanse)

Konvensjonell elektrisk framdrift med kontaktledning er dominerende i Norge i dag. Omlag 80 % av jernbanetrafikken i Norge skjer med elektriske tog. Energiforbruket tilsvarer 500 GWh per år (omlag ½ % av Norges elforbruk). Elektriske tog har en rekke fordeler, derunder større trekk-kraft enn diesel-lokomotiver samt lavere drifts- og vedlikeholdsutgifter. De er også langt mer energieffektive og gir ingen utslipp av miljøfiendtlige gasser. Den elektriske energien tilføres lokomotivet gjennom kontaktledningen (KL). Motoren i de elektriske lokomotivene fungerer som generator under oppbremsing, og typisk 10-20 % av den elektriske energien som toget mottar mates tilbake gjennom KL.

Diesel-elektrisk tog (referanse)

Diesel-elektriske lokomotiver fungerer slik at dieselmotoren driver en generator som produserer elektrisitet, og framdriften ivaretas av elektriske motorer. Denne studien fokuserer på godstrafikk, og dieselelektriske lokomotiver blir benyttet som referanseteknologi.

Fordelene med diesel er at drivstoffet er lett tilgjengelig og at rekkevidden er lang. Ulempene er knyttet til lavere trekkraft (og dermed lavere akselerasjon) enn elektriske tog, utslipp av partikler og NOx, og høyere drivstoff- og vedlikeholdskostnader enn elektriske lokomotiver.

Batteri-elektriske tog

Batteriteknologi har de siste 20 årene vært inne i en rivende utvikling. Litium-ion batterier er nå ansett som den mest lovende batteriteknologien for bruk i transportsektoren, særlig for helelektrisk transport. Li-batterier er relativt robuste med lang levetid, så lenge de ikke blir utsatt for høye temperaturer eller overlading.

I denne analysen er det valgt å se på i) hel-elektrisk tog (der all framdrift er basert på elektrisitet lagret i batterier) og ii) en variant av del-elektrifisering der lokomotivet i utgangspunktet henter elektrisk energi fra et kontaktledningsnett (ladestrekning 80 km), men i tillegg kan kjøre en lengre distanse (> 100 km)

på batterier. Begge disse konseptene vil kunne ta vare på bremseenergi ved å lade batteriene under oppbremsing.

Fordelen med konseptet ii), i forhold til et tog basert kun på batterier (konsept i)), er at størrelsen og vekten av batteriene om bord på toget kan reduseres vesentlig samtidig som det fortsatt kan redusere behovet for utbygging av kontaktledningsnett.

Hydrogen

Hydrogen er i likhet med elektrisitet en energibærer, og kan lagre, transportere og levere energi. Hydrogen kan produseres fra strøm ved elektrolyse (spalting) av vann eller ved reformering av naturgass. Det som gjør hydrogen til en aktuell energibærer er brenselceller. Hydrogenet konverteres i brenselcellene til elektrisitet og varme. Virkningsgraden i en brenselcelle er høy (50-60 %) sammenliknet med andre teknologier for konvertering av kjemisk energi, og da spesielt sammenliknet med forbrenningsmotorer som i store enheter når virkningsgrader på like over 40 %.

Batteri- og hydrogenkonseptet har det felles trekk med elektriske tog (m/KL) at det er en elektromotor som står for selve framdriften. Forskjellen mellom batteri- og hydrogenkonseptet er at energien lagres på ulike måter. For hydrogenkonseptet lagres energien i form av trykksatt hydrogengass, i en tank som er separat fra den energikonverterende enheten (brenselcellen), mens i batteriet befinner de energirike materialene seg i samme enhet som der energikonverteringen foregår. Dette har konsekvenser for sikkerheten, som for brenselcellesystemer økes ved at tilførsel av hydrogen stoppes så snart en feilmelding registreres, for på den måten å minimere mengde brennbar gass som vil være utsatt for antennelse.

Innen transportsektoren kan hydrogen minske miljø- og klimautslippene betydelig. Hydrogen som drivstoff har ikke andre utslipp enn ren vanndamp.

Som alle andre drivstoff har hydrogen en høy energitetthet og det gjør at gassen må håndteres riktig for at den ikke skal utgjøre en høy risiko. Hydrogen har imidlertid blitt håndtert industrielt i mer enn 100 år, og gode rutiner for bruk og risikoeliminering eksisterer. Siden drivlinjen er elektrisk vil hydrogentog også ha et batteri installert som kan gi ekstra effekt ved akselerasjon og ta vare på bremseenergi.

Naturgass

I denne analysen lagres gassen i flytende form og omsettes i forbrenningsmotorer ombord i lokomotivet. Det vil kunne oppnås betydelige miljømessige fordeler ved å erstatte diesel med naturgass, spesielt når det gjelder utslipp av partikler og NOx som så godt som elimineres. For ombygde dieselmotorer reduseres partikkel- og NOx-utslippene med mer enn 90 %, mens CO₂-utslippene er tilnærmet de samme for naturgass som for diesel.

Spesialbygde naturgass-motorer kan utvikles med minst like høy virkningsgrad som tilsvarende dieselmotor og kan bedre utnytte at naturgass har lavere karboninnhold per energienhet enn diesel. CO₂-utslippet kan reduseres med 10-20 %.

Biodiesel

Jernbaneverket gjennomførte en utredning for bruk av biodiesel ved jernbane i 2006⁸. Denne konkluderte med at det er mulig å blande inn opptil 50 % 1.generasjons biodiesel⁹ i konvensjonell diesel, hvis man tar de forholdsregler som gjelder for flytegenskaper om vinteren. Kost/nytte avhenger av hvilken energikilde som benyttes for framstilling av biodieselen.

Biodiesel gir betydelige kutt i CO₂-utslipp sammenliknet med fossilbasert diesel. For 1.generasjon produksjonsteknologi anslås en reduksjon på 60 %¹⁰, mens 2. generasjons drivstoffer kan redusere CO₂-utslipp med inntil 90 %¹¹. Andre generasjons biodrivstoffer er produsert fra trevirke. Innblanding av inntil 100 % 2. generasjon biodiesel (B100) er mulig siden drivstoffets egenskaper er identisk med konvensjonell diesel. Likevel er det valgt å vurdere 1. generasjon biodiesel i denne grovanalysen, da 2.generasjons biodiesel ikke er tilgjengelig i dag.

Lagring av biodiesel er forbundet med større utfordringer enn for konvensjonell fossilbasert diesel. Metylesters høye oksygeninnhold gjør at biodiesel brytes ned selv i lufttette tanker. Nedbrytningen er temperaturavhengig og framskyndes kraftig av lys. Lagring av biodiesel over 6 måneder bør unngås, og dette virker inn på logistikken for transport og lagring før dieselen forbrennes i toget.

Konklusjoner i Fase I

Følgende konklusjoner er trukket i Fase I av prosjektet:

- Rene batterielektriske godstog forventes ikke å bli en praktisk løsning for lengre strekninger, selv ikke i et 2027-perspektiv, grunnet batterienes begrensede energitetthet.
- Del-elektrifisering kan bli et interessant alternativ i et 2021-perspektiv, og det anbefales derfor at konseptet utredes nærmere i fase 2
- Naturgass kan erstatte diesel, og vil kunne realiseres allerede i 2021:
 - o Minimerer HC, (CO), NO_x og partikler
 - o Gir reduserte CO₂-utslipp på rundt 15 % i nye motorer designet for naturgass
- Biodiesel vil kunne erstatte fossil diesel i 2021, og dette gir:
 - o Betydelige CO₂-gevinster (40 - 60 %, avhengig av produksjonsmetode)
 - o Beskjedne reduksjoner i utslipp av HC, (CO), NO_x og PM sammenliknet med diesel
- Null-utslipp for ikke-elektrifiserte baner vil kunne realiseres i et 2027-perspektiv, basert på kombinasjon av batteri- og hydrogenteknologi. Hybrid-konsepter bør utredes nærmere i fase 2
 - o Krever: Teknologi- og regelverksutvikling, samt internasjonal samarbeid

⁸ Utredning, Bruk av BIODIESEL ved jernbanene i Norge, april 2006.

⁹ 1.generasjon er produsert fra vegetabiliske eller animalske oljer og omsettes som fatty acid metylester (FAME)

¹⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/Second-generation_biofuels

¹¹ Börjesson, P. et al. 2013. Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel

Tabell 1 Oversikt over hvilke konsepter som er inkludert i Fase I og II av prosjektet.

Konsepter i Fase I og del a) av Fase II	Tilsvarende konsepter i Fase II del b)
Diesel (-elektrisk)	Diesel
Hel-elektrisk (KL)	Kontaktledning (KL)
Batteri	Batteri
Del-elektrisk	i) Batteri, KL (deler av strekning m/KL) ii) Batteri, mellomading
Biodiesel	Biodiesel
Naturgass	Antatt lik diesel, se omtale under miljøkrav
Hydrogen	iii) Hydrogen iv) Hydrogenhybrid (brønselcelle + batteri)

3.3 Videre arbeid: hvordan vil energibærerne fungere i praksis?

Det ble gjort en gjennomgang av aktualitet/ anvendbarhet for de ulike energibærerne.

Valg av faktorer for evaluering av aktualitet

I fase I ble disse parameterne vektlagt: Energieffektivitet, Flexibilitet/Robusthet, Gjennomførbarhet, Miljøkonsekvenser, Pålitelighet, Ressurstilgang, Sikkerhet og Totalkostnad. I fase II er disse parameterne ivaretatt i fem faktorer: Miljøkrav, Tilgjengelighet av teknologi, Tilgjengelighet av regelverk, Økonomi (inkl. effektivitet), og Flexibilitet/Robusthet

Definisjon av utvalgte faktorer

Miljøkrav:

At et konsept tilfredsstillende gjeldende miljøkrav er et absolutt kriterium for et konsepts aktualitet for implementering.

Definisjon:

Faktoren Miljøkrav favner globale og lokale utslipp, samt andre mulige skadevirkninger ved eventuelt drivstoffutslipp til jord, vann og luft.

Forventet utvikling:

I lys av den stadige innskjerpingen mht. utslipp fra transport og de strenge miljøkrav som forventes å bli satt i verk, er oppfatningen at hverken konvensjonelle diesellokomotiver eller diesel-elektriske framdrift vil kunne innfri miljøkravene etter 2025. For fossilbasert naturgass forventes det at miljøkrav vil gjøre denne driftsformen uaktuell også etter 2030. Når 2.generasjon biodiesel forventes å bli tilgjengelig (rundt 2020) vil dette alternativet representere en bærekraftig løsning i tråd med miljøkrav, til tross noen lokale utslipp i form av NOx og partikler da biodiesel konverteres i forbrenningsmotorer.

Diskusjon miljøkrav:

Erstatning av konvensjonelle, fossilbaserte drivstoff med alternativer som gir mindre miljøbelastning er primært drevet av miljøpolitiske føringer. Miljøkrav innskjerpes ved jevne mellomrom for å stimulere til ønsket utvikling, og noen konsepter (kombinasjon av enkelte teknologier og drivstoffer) vil da med tiden ikke kunne innfri miljøkravene.

Det stilles per i dag ikke krav til utslipp av CO₂ hverken fra skip eller fra tog i Europa, men målsettingen om kraftige utslippsreduksjoner fra transport (60 % innen 2050) generelt, kombinert med ambisjoner om å flytte 50 % av mellomdistanse passasjer- og godstransport (>300 km) fra veg til jernbane og sjø innen 2050 vil trolig lede fram mot innføring av restriksjoner for CO₂-utslipp også fra tog og skip. Det forventes videre at den betydelige elektrifiseringen av det europeiske jernbanenettet (spesielt mellom 1990 og 2000)¹² igjen vil intensiveres og at alternative drivstoffer til konvensjonell diesel vil fases inn.

Levetiden for rullende togmateriell er i størrelsesorden 30 år¹³, mens det i analysen er benyttet 20 år. Det betyr at miljøkrav som er satt for et gitt år, vil påvirke valg av teknologi når innskjerping i krav varsles, hvilket kan være flere år før kravet trer i kraft.

Konvensjonelle diesel-elektriske tog (som er referanse-teknologi i dette prosjektet) erstattes allerede nå gradvis av hybride løsninger¹⁴. Det forventes at selv diesel-hybride løsninger vil måtte fases ut i løpet av 10 års tid.

Konvensjonelle, hel-elektriske tog med kontaktledning (KL) anses å være meget miljøvennlige, spesielt hvis elektrisiteten er produsert fra fornybare energikilder. Dette skyldes primært elektromotorenes høye effektivitet. KL anses å gi noe visuell forurensning, noe som allerede i dag gjør at det kan være skepsis til å installere KL i enkelte områder, f.eks. i verneområder

Del-elektriske løsninger (KL/batteri) vil få noe lavere miljøbelastning enn konvensjonelle, hel-elektriske tog. Høyere miljøbelastning for produksjon av batterier i mindre skala gir en høyere miljøbelastning de første årene. Slik produksjon er ikke underlagt miljøkrav. Det kan forventes noe økt motstand mot visuell forurensning (KL).

Batterier for transport benytter materialer som gir høyere miljøbelastning ved utvinning enn tilsvarende fotavtrykk for produksjon av forbrenningsmotorer i masseproduksjon¹⁵. Det forventes at det vil kunne innføres miljøkrav til batteriproduksjon¹⁶, men at industrien vil klare å innfri disse fram mot 2050.

Biodiesel: Det er kun 1.generasjons Biodiesel tilgjengelig på markedet i Norge i dag, som gir en reduksjon i CO₂-utslipp på ca. 60 %. Fra 2020 forventes 2.generasjons biodiesel (basert på trevirke) å bli kommersielt tilgjengelig og dette gir 90 % reduksjon i CO₂-utslipp sammenliknet med fossilbasert diesel.

¹² http://www.uic.org/com/IMG/pdf/iea-uic_2012final-lr.pdf, side 31

¹³ <http://www.jernbaneverket.no/no/Nyheter/Jernbanemagasinet/Nyhet/Maler-opp-for-hoyere-tog/>

¹⁴ Hybride diesel-elektriske tog har en batteripakke som lades opp når toget bremses, og bidrar under akselerasjon.

¹⁵ Prof. Anders H, Strømman, NTNU, <http://www.tu.no/industri/motor/2011/06/14/det-finnes-ingen-nullutslippsbiler>

¹⁶ A la det vi i dag er vant til fra salg av hvitevarer (environmental and energy labelling,

Naturgass: Naturgassmotorer gir store reduksjoner (80-90 %) i lokale utslipp (NO_x og Partikler), og 10-20 % reduksjon i globale utslipp (CO₂-ekvivalenter) sammenliknet med diesel. Naturgass forventes derfor å representere et drivstoff med akseptabel miljøpåvirkning fram mot 2030. Forventede krav til CO₂-utslipp etter 2025 vil trolig gjøre dette konseptet mindre aktuelt, spesielt etter 2030.

Hydrogen representerer en ny energibærer med potensial for minimal miljøpåvirkning. På samme måte som miljøpåvirkningen for elektriske tog er avhengig av hvordan man produserer strømmen, er den for hydrogentog avhengig av hvordan hydrogenet blir produsert og distribuert. Som for batteri- og elektriske tog med kontaktledning, er det i denne analysen forutsatt at hydrogen produseres ved vannspalting ved bruk av elektrisitet med opprinnelsesgaranti. En overgang fra tog drevet av diesel eller andre fossile energikilder til hydrogen vil kunne forbedre luftkvaliteten og redusere klimagassutslipp.

Under forutsetning av at hydrogen produseres fra fornybare energikilder¹⁷, er det kun eventuell transport av hydrogen fra produksjonssted til påfyllingspunktet som påvirker miljøet. I de økonomiske beregningene foretatt i prosjektet, er det forutsatt at hydrogen produseres på stasjonsområdene.

Konklusjoner miljøkrav:

Faktoren miljøkrav inngår i totalevalueringen av konsepter. Med hensyn på miljøkrav er det diesel(-elektrisk) som kommer dårligst ut, da det forventes at det innen noen års tid vil innføres restriksjoner på CO₂-utslipp fra skip og tog. Til tross for at disse transportmodi er mer energieffektive enn veitransport, vil målene om å flytte mye av transporten over på skip og tog trolig lede til skjerpene utslippskrav. I 2027 forventes det at diesel ikke vil kunne innfri kravene, mens det i 2050 forventes at hverken diesel eller fossilbasert naturgass vil kunne innfri miljøkravene

Tilgjengelighet av teknologi

Tilgjengelighet av teknologi er et absolutt kriterium for et konsepts aktualitet for implementering. Antall tilbydere er også viktig, da dette har innvirkning på konkurranseforhold i markedet og bidrar til kommersielt prisdannelse.

Definisjon:

Denne faktoren omfatter den kommersielle tilgjengeligheten av lokomotiv med aktuell drivstoff/ framdriftsteknologi.

Forventet utvikling:

Oppfatningen er at vi vil komme til å se mange tilbydere av naturgass- og biodiesel-drevne lokomotiver allerede innen 2020, mens markedet for batteri- og hydrogentog forventes å være etablert i hhv 2021 og 2023.

Diskusjon tilgjengelighet av teknologi:

I tråd med EU-Kommisjonens ambisjoner, forventes det at det vil gis et totalforbud mot å kjøre diesel-elektriske tog basert på fossile drivstoffer i 2050. Med en levetid på 20 - 30 år for rullende jernbanemateriell ville dette kunne bety at etterspørselen etter diesel(-elektriske) lokomotiver ville begynne å avta fra og med 2020. Men da store forbrenningsmotorer av denne typen også benyttes for

¹⁷ Denne forutsetningen har vært gjort i Fase I og benyttes også i Fase II.

biodiesel, og dette konseptet forventes å få en viss utbredelse, forventes tilgangen på lokomotiver for diesel-elektrisk framdrift å forbli god.

Tilgjengeligheten av teknologi for hel-elektriske tog forventes å forbli høy og uendret i et 2050-perspektiv, da slik teknologi representerer et miljøvennlig og effektivt alternativ.

Del-elektriske og rene batteri-elektriske løsninger forventes parallelt å bli tilgjengelige med flere konkurrerende tilbydere fra rundt 2020. Fra da av forventes disse konseptene å forbli tilgjengelige i et 2050-perspektiv.

Biodiesel som drivstoff i tog forventes å bli tilgjengelig fra flere tilbydere av rullende materiell før 2020.

Naturgass: Tilgjengeligheten av rullende materiell med naturgass som drivstoff forventes å øke fram mot 2020. Da forbrenningsmotorer for naturgass med mindre justeringer vil kunne benytte biogass, forventes det at tilgjengeligheten av teknologi vil forbli høy i et 2050-perspektiv.

Hydrogenteknologi (brenselceller): Det forventes at det vil gå nærmere 10 år før et tilstrekkelig antall produsenter vil kunne tilby rullende jernbanemateriell med hydrogen som drivstoff og at dette markedet kan anses som etablert.

Konklusjon tilgjengelighet av teknologi:

Mens det i 2015 kun er 2 konsepter som er kommersielt tilgjengelige fra mange tilbydere, forventes det at teknologi for alle de vurderte konseptene vil være tilgjengelige fra og med 2023.

Tilgjengelighet av regelverk:

I likhet med miljøkrav og tilgjengelighet av teknologi er tilgjengelighet av regelverk et absolutt kriterium for at et konsept vil kunne være aktuelt for implementering i det norske jernbanenettet. Vanligvis er det en rekke ulike regulatoriske rammeverk som skal tilfredsstilles, derunder forskrifter for elektriske installasjoner og for håndtering av gass.

Definisjon:

Faktoren Tilgjengelighet av regelverk omfatter alle tillatelser, forskrifter og direktiver som må innhentes/ tilfredsstilles for at et konsept skal implementeres og tas i bruk.

Forventet utvikling:

Med erfaring fra etablering av regelverk for flytende naturgass i skip er det forventet at det enda vil gå 3-4 år før regelverk for batteri-elektriske tog er på plass, mens tilsvarende for hydrogentog forventes å være på plass rundt 2021.

Regelverk for diesel(-elektriske) og del-elektriske driftsformer er tilgjengelig og forventes å bestå i et 2050-perspektiv. Biodiesel er i så måte tilnærmet identisk med diesel.

Regelverk for bruk av flytende naturgass som drivstoff i skip er allerede etablert. Med nærmere 15 års erfaring fra bruk av naturgass i skip forventes det at dette regelverket vil kunne tilpasses anvendelse av naturgass som drivstoff i jernbanedrift i løpet av 3-4 års tid (2018).

For del-elektrisk- og batteri-konsept er regelverk kun tilgjengelig for vegtransport. Det forventes at det kan ta 5 år før regelverk for bruk av batteri-teknologi i jernbanedrift blir tilgjengelig.

Hydrogen som drivstoff: Sammenliknet med de andre konseptene, er det større behov for tilpasninger av eksisterende regelverk for hydrogen fra andre segmenter av transport til jernbanedrift. Det forventes at regelverk for hydrogen som drivstoff til jernbanedrift vil være på plass rundt 2021.

Konklusjon tilgjengelighet av regelverk:

I 2015 finnes det regelverk for 3 av de 7 konseptene, bio- og diesel-elektrisk og hel-elektrisk framdrift. Allerede i 2021 forventes det at regelverk for alle de evaluerte konseptene vil være tilgjengelig.

Økonomi

Faktoren økonomi er viktig i seg selv, men vil kun ha innvirkning på et konsepts aktualitet såfremt de tre første faktorene (miljøkrav, tilgjengelighet av teknologi og tilgjengelighet av regelverk) er tilfredsstillt.

Definisjon:

I denne faktoren inngår investerings- og driftskostnader for rullende materiell, og investerings- og driftskostnader for infrastruktur. Indirekte inngår også effektivitet av framstilling og utnyttelse av drivstoff, da lav effektivitet gir en høyere forbruk av primærenergi, og derigjennom høyere kostnad.

Forventet utvikling:

Teknologiutvikling gjenspeiles vanligvis i reduserte kostnader.

Når økonomien for ulike konsepter evalueres i prosjektets Fase II, er det også tatt hensyn til forventningen i produksjonsvolum. Det vurderes at den initielle kostnaden for brenselcellesystemet vil være USD 300/kW i 2015, mens denne vil falle kraftig i løpet av 5 – 10 år og antas å ende på USD30/kW i 2050. Tilsvarende vurderinger er gjort for de andre konseptene. For batteriteknologi, der produksjonsvolumene allerede er betydelige, benyttes data for forventet prisutvikling fra anerkjente kilder, så som tekniske rapporter fra US Department of Energy.

Som for alle teknologier, er kostnader for rullende materiell for jernbanen også avhengig av produksjonsvolum. Alle teknologier benytter samme elektriske lokomotiv tilpasset den enkelte energibærer.

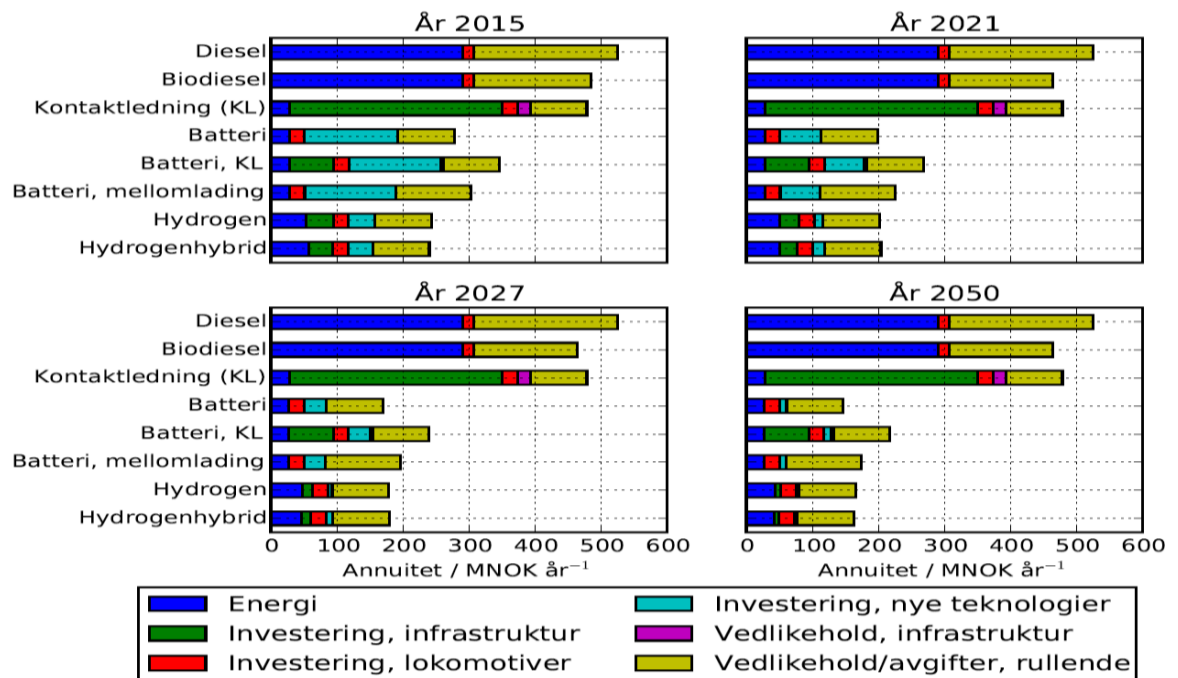
Det er viktig å påpeke at økonomien er evaluert gitt dagens nivå mht. avgifter. For naturgasskonseptet er det forutsatt produksjon fra fossile kilder. Dette forventes å gi tilnærmet samme kostnad som for diesel.

Økonomien for ulike driftsformer er avhengig av hvilken banestrekning vi ser på. Kostnadene varierer med faktorer som trafikk tetthet, strekningens lengde og topografi. For implementering av kontaktledning (KL) virker også geografiske forhold inn (antall tunneler, broer etc.), men sistnevnte forhold er ikke spesifikt hensyntatt i estimer av kostnader.

Da variasjonene i kostnader for ulike driftsformer er store mellom de utvalgte strekningene¹⁸, er det ikke hensiktsmessig å generalisere og benytte gjennomsnittstall for utvalgte banestrekninger. Naturgass

¹⁸ Nordlandsbanen, Rørosbanen, Solørbanen og Raumabanen.

er ikke økonomisk vurdert pga. stor usikkerhet rundt pris og leveransebetingelser. Diesel vil være det alternativet som ligner mest på naturgass og den største kostnaden er knyttet til drivstoffprisen. Rørosbanen er valgt som basis for evaluering av faktoren økonomi¹⁹.



Figur 3 Økonomisk vurdering av forskjellige teknologier for Rørosbanen. Alle kostnader er uttrykt i 2015-kroner.

Mens hydrogenkonseptet gir den laveste kostnaden i 2015, forventes batteriene å bli like billige i 2021. Fram mot år 2050 viser estimatene at batterier blir noe billigere enn hydrogen, men forskjellene er små. Del-elektrisk framdrift viser seg også å bli økonomisk interessant mot 2050.

Fleksibilitet/ Robusthet

Da punktlighet er ett av de viktigste kriterier som jernbanen måles etter er faktoren Fleksibilitet/ Robusthet også tatt med i evalueringen i Fase II. Faktoren vil også favne Pålitelighet og Ressurstilgang

Definisjon:

Fleksibilitet/ Robusthet av et konsept vurderes ut fra dets evne til å kunne ivareta oppgaven med å levere gods under normal drift, samt løsnings evne til å motstå virkninger av eksterne hendelser (f.eks. flom, ras) eller ulykker og tilhørende stengning av strekninger.

Forventet utvikling:

Fleksibiliteten avviker betydelig mellom de evaluerte konseptene. Mens hel-elektriske tog kun kan kjøre på strekninger med kontaktledning, vil tog med andre drivstoff eller batteri-elektrisk framdrift kunne

¹⁹ Nordlandsbanen er spesiell fordi den er meget lang og Raumabanen fordi den er så bratt, og begge strekninger har og har lav trafikk tetthet.

kjøre alle steder der infrastruktur for det alternative drivstoffet er tilgjengelig, eller ladestasjoner for batterier til tilstede.

Vurderingen er at: Diesel(-elektrisk) framdrift har full fleksibilitet og regnes som robust teknologi. Hel-elektriske tog er mindre fleksible da de ikke kan benytte strekninger uten KL. Selv om hele landets jernbanenett elektrifiseres, vil et krevende nordisk klima gi hel-elektriske tog noe begrenset robusthet. Biodiesel og naturgass forventes å bli like fleksible som diesel fra 2021, da det innen den tid vil kunne etableres en infrastruktur for tanking. Rene batteri-elektriske tog krever betydelig nettkapasitet, og batterienes vekt og volum gjør at lastekapasiteten på godstog reduseres hvis ikke kryssingssporene forlenges. Del-elektriske løsninger (delvis utstyrt med kontaktledning) er likeså mindre fleksible og robuste enn konseptene med konvensjonelle og alternative drivstoffer. Infrastruktur for hydrogen forventes å bli tilgjengelig innen 10 års tid (2025).

Hel-elektriske tog med kontaktledning (KL) har vist seg å være mindre robuste enn alternativene (uten KL). Dette kan ha sammenheng med at en stor andel av de norske KL-anleggene begynner å bli gamle. Hel-elektriske tog har også lav fleksibilitet i den forstand at de kun kan kjøre på elektrifiserte banestrekninger. Påliteligheten til hel-elektriske tog (når KL er operativ) er imidlertid meget høy, selv om KL er sårbar under ekstreme værforhold.

Diesel-, biodiesel- og naturgass-konseptene kan kjøre langs alle jernbanestrekninger forutsatt at sporene og signalanlegg er intakt. Alle disse tre konseptene kan også benyttes på lange strekninger og dermed bidra til å styrke togets konkurranseevne.

Biodiesel og naturgass: Fra 2020 forventes disse konseptene å gi fleksible og robuste løsninger. Lavere score de første 6 årene er knyttet til begrenset tilgang på drivstoff sammenliknet med konvensjonell fossilbasert diesel.

Batteri- og hydrogentog forventes også å bli fleksible og robuste etter en innkjøringsperiode. Ladestasjoner for batteritog og tilgang på hydrogen forventes å være på plass fra hhv 2020 og 2025. Batteritog-konseptets begrensede rekkevidde begrenser muligheten for gjennomgående rutetilbud på lange strekninger.

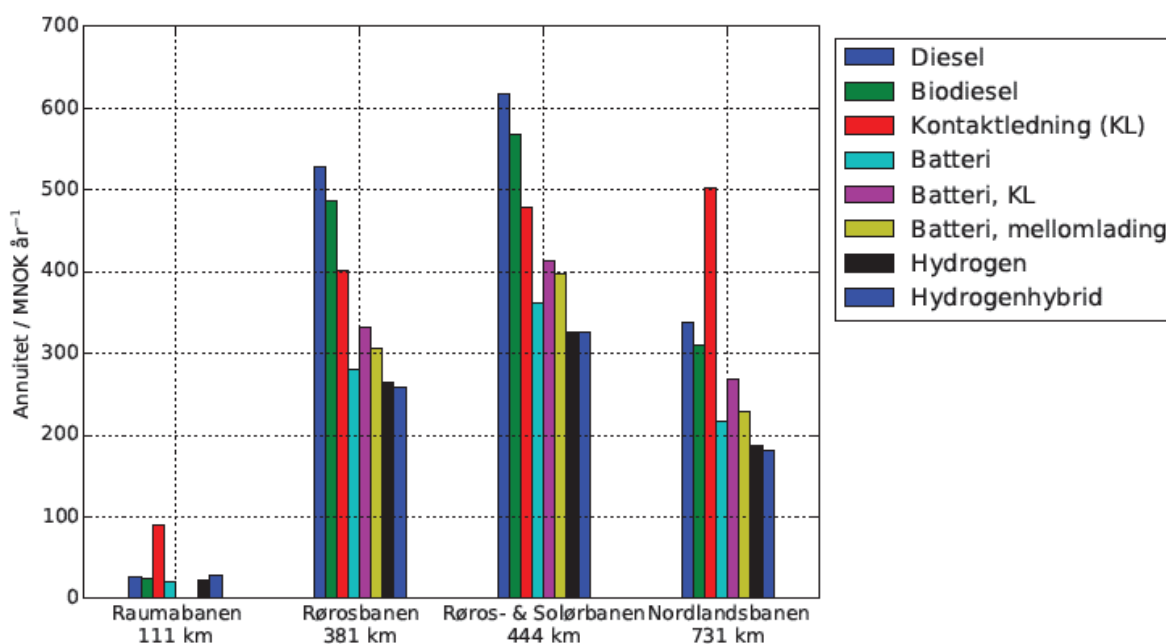
Resultatene for faktoren fleksibilitet/ robusthet kan oppsummeres som følger: I 2015 er det kun diesel, biodiesel og naturgass som gir robuste løsninger med høy fleksibilitet. Men allerede i 2021 forventes det at batterielektriske tog også vil bli robuste. Det vil trolig ta enda fire år (2025) før hydrogentog vil bli et fullverdig alternativ. Tilgjengeligheten av hydrogen som drivstoff forventes å være en begrensning i en god del år.

3.4 Kostnadsbilde. Sensitivitet mht. trafikk tetthet

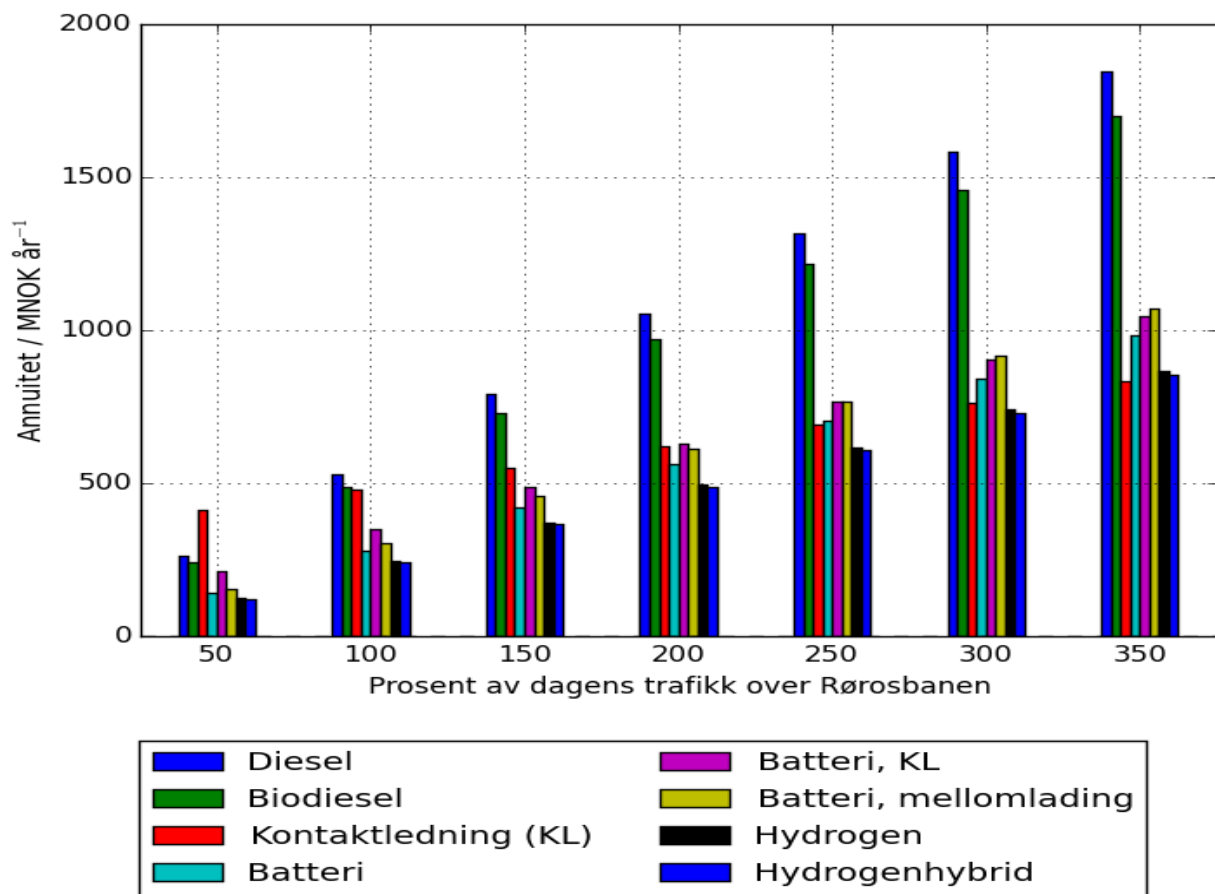
Resultatene for totale kostnader for ulike banestrekninger i år 2015 er gjengitt i Figur 4. Som vi ser er kontaktledning det dyreste alternativet på lange strekninger (Nordlandsbanen) og baner med lav trafikk tetthet (Raumabanen). Da målet både i EU og i Norge er å flytte en betydelig andel godstransport

fra veg til bane og sjø, er det av interesse å evaluere hvordan økt trafikk tetthet for en gitt strekning virker inn på kostnadene for de ulike konseptene som er vurdert i denne utredningen.

En sensitivitetsanalyse mht. trafikk tetthet er foretatt for Rørosbanen som vist i Figur 5, med utgangspunkt i dagens trafikk (100 %). Hvis trafikken blir halvert (50 %) er kontaktledning det klart dyreste alternativet, mens hvis tettheten fordobles (200 %) er kostnaden for kontaktledning tilnærmet den samme som for batteri-konseptene. For at kostnaden for kontaktledning skal bli lavere enn kostnaden for hydrogenkonseptene, må trafikk tettheten være 3,5 ganger høyere enn i dag. Det vil naturligvis være begrensninger i kapasitet på en enkeltsporet strekning, men dette er det ikke tatt hensyn til i analysen foretatt her.



Figur 4 Totale kostnader for de evaluerte konseptene på ulike banestrekninger i 2015.



Figur 5 Årlige kostnader (annuitet) for ulike framdriftskonsepter som funksjon av trafikk tetthet. Det er ikke tatt hensyn til begrensninger i banens kapasitet.

3.5 Ulike konsepters aktualitet i 2021, 2027 og 2050

Driftsform	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2030	2050
Diesel (-elektrisk)	6	5	5	5	5	4	4	4	4	3	2	2	1	1	1
Hel-elektrisk (KL)	4	4	4	5	5	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4
Del-elektrisk	2	3	3	4	4	5	6	7	7	7	6	7	7	7	7
Batteri	2	3	4	5	6	6	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Biodiesel	2	4	5	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Naturgass	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	2	1
Hydrogen	1	2	2	3	4	4	6	6	8	8	9	9	9	9	9

Tabell 2 Sammenfatning av resultater av evaluering. Da det er valgt å benytte resultater for Rørosbanen som input for faktoren økonomi, vil resultatene for de andre banene avvike noe.

For 2015 viser resultatene at den beste løsningen for ikke-elektrifiserte baner er å fortsette å benytte konvensjonell diesel. Aktuelle konsepters aktualitet i 2021, 2027 og 2050 er diskutert i påfølgende delkapitler.

Aktuelle konsepter for implementering i 2021

Tabell 2 viser at de mest aktuelle konseptene for innfasing i 2021 er batteri og biodiesel. Hydrogen regnes som prematur for innfasing i 2021. For hydrogen trekker begrenset tilgang på teknologi og Flexibilitet/Robusthet noe ned, sistnevnte grunnet forventet begrensning i tilgang på drivstoff. Både batteri- og biodiesel-konseptene gir miljøgevinster sammenliknet med diesel-elektriske tog. Mens batteritog i 2021 scorer høyere enn biodiesel på faktoren økonomi, scorer biodiesel høyere enn batteritog på fleksibilitet/robusthet. Sistnevnte skyldes primært begrenset rekkevidde for batteritog.

I 2021 er både del-elektrisk og naturgass vurdert til å være bedre løsninger enn referansen, diesel-elektrisk framdrift. Del-elektrisk konsept scorer middels på økonomi og moderat bra på fleksibilitet/robusthet. For naturgass er det økonomien som trekker ned, under forutsetning av at kostnadene er de samme som for fossilbasert diesel. Dette er en forutsetning som kan diskuteres, da dagens naturgasspriser er spesielt lave. Det er her også viktig å påpeke at naturgass-konseptet er kompatibelt med bruk av biogass. Biogass vil trolig ikke avgiftsbelegges, og kan dermed komme adskillig mer gunstig ut enn naturgass.

Hel-elektriske og diesel-elektriske tog kommer dårligst ut i 2021, og dette skyldes primært høye investeringskostnader for kontaktledning, og tilsvarende høye driftskostnader for diesel-elektrisk framdrift.

Med den usikkerhet som ligger i slike evalueringer (inkludert forventninger til teknologi- og prisutvikling), ser vi at alle de fem nederste konseptene (se Tabell 2) kan bli aktuelle i 2021. Det er viktig å påpeke at alle disse fem scorer bedre enn referanseteknologiene (diesel(-elektrisk) og hel-elektrisk tog med KL). Hvilke konsepter som viser seg å bli de beste for implementering, er også avhengig av hvor mye klima- og miljøfaktorene vektlegges i tiden som kommer. Da levetiden for togmateriell typisk er flere tiår, er det viktig å se langt fram i tid når man velger konsepter for implementering.

Aktuelle konsepter for implementering i 2027

I 2027 utkrystalliserer det seg at null-utslippsalternativene egner seg best for implementering. Hydrogen- og batteri-konseptene kommer best ut. Mens økonomien forventes å bli tilnærmet lik for disse to konseptene, er det begrensninger i rekkevidden for batterikonseptet som reduserer faktoren fleksibilitet/robusthet i forhold til hydrogen.

Biodiesel og del-elektriske løsninger kommer også relativt godt ut i 2027, da begge disse forventes å tilfredsstille miljøkrav, samt at teknologi og regelverk ikke forventes å gi noen begrensninger. Mens totaløkonomien for del-elektrisk løsning forventes å være bedre enn for biodiesel, er fleksibiliteten bedre for biodiesel enn for den del-elektriske løsningen.

Naturgass får en totalscore på 4 poeng i 2027. Dette skyldes primært økonomi, men også miljøkrav.

Hel-elektriske tog vil fortsatt kunne være et aktuelt konsept for strekninger med høy trafikk tetthet i 2027, men scorer moderat da dagens lave trafikk tetthet er lagt til grunn i denne evalueringen.

Konvensjonell diesel(-elektrisk) drift vil ikke være kompatibel med de miljøkrav som det forventes vil bli implementert i Europa innenfor rullende materiells levetid.

Aktuelle konsepter for implementering i 2050

Sammenliknet med tallene for år 2027 i delkapitlet over, er det kun naturgass-konseptet som avviker i 2050. Det er den forventede innskjerpingen i miljøkrav som gir dette utslaget. Det vil med stor sannsynlighet ikke aksepteres at fossile energikilder benyttes i jernbanetransport. Det betyr at det kun er null-utslippsløsningene som utgjør aktuelle driftsformer i 2050. Biodiesel vil miljømessig være akseptabel også i 2050, men da det forutsettes bruk av forbrenningsmotor og effektiviteten for disse ikke forventes å bedres i betydelig grad selv i dette tidsperspektiv, er det totalt sett dårlig utnyttelse av primærenergi å implementere denne driftsformen. Del-elektriske løsninger (med KL) vil også gi null-utslipp, men vil kun bli aktuell hvis kostnaden for KL reduseres betydelig fra dagens nivå eller hvis trafikk tettheten øker.

3.6 Sammenfatning av resultater, konklusjon Fase II

- For 2015 viser resultatene at den beste løsningen for ikke-elektrifiserte baner er å fortsette å benytte konvensjonelle diesel-elektriske tog
- I 2021 er biodiesel og batteri-elektrisk framdrift de beste løsningene, men del-elektriske løsninger, naturgass og hydrogen kan også bli aktuelle
- I 2027 er hydrogen- og batteri-konseptene best egnet for implementering, mens del-elektriske og biodiesel også representerer akseptable løsninger
- I år 2050 er det kun null-utslippsløsningene som utgjør aktuelle driftsformer, da i form av hydrogen, batteri og del-elektriske løsninger og kombinasjoner av disse (hybrider). Biodiesel er også en akseptabel løsning, men lokale utslipp og lav virkningsgrad gir dårlig total energiutnyttelse for dette konseptet da forbrenningsmotor benyttes

Disse konklusjonene er konsistente med de generelle betraktninger som ekspertgruppen i NGVA²⁰ er kommet med, der de konkluderer med at for jernbanen vil elektriske løsninger og biomasse være foretrukne alternativer.

Hovedkonklusjonen fra Fase II av prosjektet Alternative drivstoffer for ikke-elektrifiserte baner er som følger:

Transportsektoren er under endring med høyt fokus på klima- og miljøutfordringer. Vi er vitne til en meget rask teknologiutvikling innen hybridisering av drivlinjer og spesielt innen batteri- og hydrogenteknologi. Det finnes allerede i dag teknologiske løsninger som vil kunne eliminere utslippene fra jernbanetransport til en betydelig lavere kostnad enn konvensjonell elektrifisering med kontaktledning. Det forventes at flere nye, alternative løsninger for null-utslipp vil bli tilgjengelig for implementering i jernbanetransport mellom 2020 og 2030. Det anbefales derfor at nye, alternative

²⁰ NGVA Natural and bio Gas Vehicle Association

Løsninger for null-utslipp inkluderes når framtidig driftsform for gjenværende ikke-elektrifiserte strekninger skal utredes.

3.7 Energianalysene – praktisk anvendelse av ulike energibærere

Effekten av energibærerne har blitt beregnet for et referansetog. Referansetog er et godstog med CD312-lokomotiv og 28 godsvogner.

Analysen viser at energibehovet er noenlunde lik for alle alternativer, selv om regenerativ bremsing kan spare mellom 10 og 20 % av energibehovet.

En vesentlig forskjell mellom elektriske lokomotiv og diesellokomotiv er at elektriske lokomotiv leverer mer effekt, men mindre trekkraft. Dette fordi diesellokomotiv er betydelig tyngre og dermed skaper større friksjon som skal til for å utnytte større trekkraft, mens elektriske lokomotiv kan levere mer effekt og nå høyere hastigheter.

For Nordlandsbanen vil dette bety at reisetiden kan reduseres med en halvtime fordi det elektriske lokomotivet kan holde høyere hastighet i motbakker.

For Raumabanen var det nødvendig å redusere lasten på grunn av den kraftige stigningen. Hverken dieseldrevet eller elektrisk lokomotiv kunne trekke referansetog opp til Bjorli.

For batteridrevet tog er det nødvendig med tre batterivogner for Nordlandsbanen, to for Røros- og Solørbanen og én for Raumabanen. Det er mulig å halvere antallet batterivogner (eller redusere til to for Nordlandsbanen) ved å stanse toget ved en stasjon og lade batteriene (oppladingen vil ta cirka en time). Egnede stasjoner er Mosjøen på Nordlandsbanen og Alvdal på Rørosbanen. Alternativt kan det del-elektrifiseres ved å bygge ut en kortere strekning kontaktledning for å lade batteriene under kjøring. Strekningen vil måtte være cirka 80 km lang.

Det ble observert at forskjellige nivåer for hybridisering med hydrogen og batterier er optimale for forskjellige baner. Det er ønskelig å standardisere hybridvogner, og det er derfor lagt til en foreslått "standard" hybridvogn med noe mer brenselcelleeffekt (2,5 MW) for å kompensere færre (tunge) batterier (1,5 MWh). Den høyere effekten tillater en mer fleksibel bruk av brenselcellene, samt at færre batterier frigjør plass for mer hydrogen på vognen.

3.8 Kunnskapsgrunnlaget - konklusjoner

Analysene viser at hydrogen- og batteridrevne godstog er betydelig billigere enn dagens dieseltog for de fleste ikke-elektrifiserte baner i Norge.

KL er desidert det dyreste alternativet for Nordlandsbanen, mens det er litt billigere enn diesel for Røros- og Solørbanen. Også for Raumabanen er KL dyrest. For Raumabanen er det visuelle inntrykket også viktig. Raumabanen har bl.a. flere steinhvelvsbruer der KL vil være både utfordrende å montere og visuelt skjemmende.

Biodiesel er en enkel måte å redusere kostnadene knyttet til diesel på, forutsatt at særavgiften for dieseltog reduseres i takt med utslippsreduksjonen.

Naturgass er ikke økonomisk vurdert, da det er stor usikkerhet rundt dens pris og leveransebetingelser. Diesel vil være det alternativet som ligner mest på naturgass, og for diesel er den største kostnaden knyttet nettopp til drivstoffprisen. Naturgass vil heller ikke være like fleksibelt som diesel. Drivstofftankene vil kunne fylles der flytende naturgass er tilgjengelig, gjerne i forbindelse med en havn (Trondheim, Bodø, Åndalsnes).

For de fleste banene leverer batteri- og hydrogentog de mest konkurransedyktige alternativene, med små forskjeller seg imellom, og med stort forbedringspotensial fram til 2050.

Batteri og hydrogen utelukker ikke hverandre. Kostnadene knyttet til disse er nærmest utelukkende i rullende materiell, med relativt sett svært begrensede infrastrukturkostnader

Mulighetene for mellomlading av batteriene viser seg teknisk sett å være ugunstige, da dette forkorter batterienes levetid og krever hyppigere reinvesteringer.

Samtidig som levetiden til hydrogen- og batterivogner er kortere enn for et KL-anlegg, så innebærer en investering i en bestemt teknologi ikke en like stor binding. Det gir liten teknologisk innlåsing, og det er enklere å bytte teknologi.

Det anbefales derfor at det satses både på batteri- og hydrogentog (gjern i hybridisert form) og at Jernbaneverket følger med på den teknologiske utviklingen fortløpende for å skaffe seg den riktige kompetansen uansett utfallet av den teknologiske utviklingen framover.

3.9 Bratsbergbanen

Bratsbergbanen er i en særstilling i forhold til de ikke-elektrifiserte banene. Den ikke-elektriske delen er en 850 m lang strekning mellom Notodden stasjon og Notodden kollektivterminal, slik at dette er av et helt annet omfang enn de andre banene.

Banen vurderes for elektrifisering med KL, men på grunn av nærføring og verneinteresser er det komplisert å finne gode løsninger.

I dette prosjektet har det vært diskutert en løsning med batteripakke i et elektrisk tog for å kunne kjøre denne strekningen.

Siden løsning av de manglende 850 m elektrifisert bane er under løpende behandling hos Jernbaneverket, Telemark fylkeskommune og Samferdselsdepartementet er ikke dette omtalt videre i denne rapporten.

4. Muligheter og konsekvenser

4.1 Kunnskapsgrunnlaget beskriver flere muligheter

Null-utslipp for ikke-elektrifiserte baner vil kunne realiseres basert på ulike kombinasjoner av batteri- og hydrogenteknologi og kontaktledning.

Kunnskapsgrunnlaget viser at det er lokomotiver på markedet for alle aktuelle driftsformer omfattet av utredningen, men med noe ulik grad av teknologisk modenhet. Alle de analyserte alternative løsninger (KL, batteri, hydrogen, hybrid) er basert på bruk i lokomotiv med elektrisk framdrift.

Uansett hvilken driftsform som velges vil det være viktig å følge utviklingen tett. Tilbudet av lokomotiver for leasing vil sannsynligvis gjenspeile driftsformene i de største kundeområdene internasjonalt. Et av hovedpoengene i denne sammenheng er at også lokomotivteknologien er tilgjengelig men må tilpasses den konkrete energibærer.

For hydrogen, batteri- eller hybriddrift må energien transporteres på egen vogn. Det kan innvirke på lønnsomheten for operatørene.

Sett i et kort tidsperspektiv (5-15 år) er det en klar tendens i retning av økt elektrifisering av transport. Elektrifisering med konvensjonell kontaktledning er et godt, etablert og umiddelbart tilgjengelig alternativ. Elektrifisering er imidlertid svært kostbart og valget skaper binding til driftsformen i lang tid framover. Del-elektrifisering hvor en bruker batterier som lades på en begrenset del av strekningen er en tilgjengelig teknologi og en rimeligere løsning.

For togoperatørene vil både elektrifisering og del-elektrifisering være en billigere driftsform forutsatt at staten/ infrastruktureier kan ta hele/ deler av investeringskostnaden for batteriene. Det vil ikke være mulig for operatørene å bære kostnadene. Som del av Jernbanereformen bør det drøftes forutsetninger og rammer for en offentlig lokomotivpool med nødvendig utstyr. Det må også sees på effekten av at det går bort volum til gods når toget må transportere en batteripakke. Det må vurderes om dette blir kompensert ved endret trekraft for lokomotivet.

I et lengre tidsperspektiv er det fullt mulig å beslutte bruk av både batteri- og hydrogentog. I følge kunnskapsinnhentingene er disse de mest konkurransedyktige alternativene for de fleste strekningene, med små forskjeller seg imellom. Teknologiene vil gjennomgå en stor forbedring fram mot 2030 og 2050. Ren batteridrift vil med dagens batterier stjele lastekapasitet fordi vogner må avgis til transport av batteriene.

Det er usikkert om hydrogen eller batteri vil være den beste løsningen i det lange løp. Men på grunn av kort levetid for hydrogen- og batterivogner innebærer en investering ikke en langsiktig «forpliktelse» i teknologivalg. Det er altså enklere å “ombestemme seg”, og det er liten teknologisk innlåsing sammenliknet med å investere i kontaktledningsanlegg. Batteri og hydrogen utelukker heller ikke hverandre; kostnadene er nærmest kun i rullende materiell og infrastrukturkostnadene er begrensede. Både batteri- og hydrogentog, og hybrider kan benyttes.

Utviklingen i EU-området går i retning av at diesel vil fases ut og samme rasjonale er sannsynlig for naturgass; utslippene er for store i lys av klimamålene. Tilgang på energiresurser kan også påvirke tenkingen. Andre signaler er at dette ikke vil skje så raskt som forventet, og at f.eks. dieselteknologien vil forbedres med hensyn til utslipp og redusere presset mot utskifting. Naturgass kan erstatte diesel, men vil ikke gi bærekraftig løsning på sikt. Naturgass er ikke tatt med videre i anbefalingene pga. CO₂-utslippene.

Overgang til biodiesel, sammenliknet med diesel, vil redusere kostnadene noe for togoperatørene forutsatt at særavgiften for dieseltog reduseres i takt med utslippsreduksjonen. Første generasjon biodiesel vil gi 40 - 60 % CO₂-gevinst og minimale lokalt utslipp.

Hybridalternativet gjør det mulig å velge det optimale batteri for den enkelte strekning basert på energibehov og lagringskapasitet. Totalkostnadene slik de framkommer i kunnskapsgrunnlaget viser at driftsutgiftene vil være lavere for togoperatørene. Lønnsomheten vil avhenge av hvem som bærer kostnaden for transporten av energibæreren om bord i toget.

Igjen vil det være avgjørende at det offentlige tar en ledende rolle i skiftet fra diesel til driftsformer med null-utslipp. For togoperatørene vil det være kostnader knyttet til å supplere lokomotivene med nødvendige batterier/ hydrogentanker. Incentivene for et skifte, virkemidlene og føringene bør komme fra offentlige myndigheter og synliggjøres i tilbudet av lokomotiver for leasing. Hvis kostnaden for bytte til mer klimavennlig driftsform skal belastes togoperatørene innenfor godsneringen i Norge vil det innebære ytterligere svekket konkurranseevne pga. kostnadsnivået og vil vanskeliggjøre videre godstransport på bane.

4.2 Samfunnsøkonomisk analyse av konvensjonell elektrifisering

I tråd med oppdraget i inneværende Nasjonal Transportplan 2014 - 2023 omtalt i kapittel 1, er det gjennomført en samfunnsøkonomisk analyse av konvensjonell elektrifisering på banene. Før en beslutning tas bør det vurderes å gjennomføre en samfunnsøkonomisk analyse av de aktuelle alternative driftsformene del-elektrifisering og kombinasjonen av batteri- og hydrogenteknologi som grunnlag for en full sammenlikning. Input data til en slik analyse vil vi nødvendigvis være mindre sikre, og resultatene vil dermed også ha større usikkerhet enn analysen utført på konvensjonell elektrifisering.

4.2.1 Forutsetninger for samfunnsøkonomisk analyse

De samfunnsøkonomiske beregningene er gjort i tråd med Jernbaneverkets metodehåndbok for samfunnsøkonomiske analyser og regnearkmodellen Merklin i versjon per juli 2015.

Tabell 3 Sentrale parameterverdier brukt i beregningene²¹

Kroneverdi	2015			
Diskonteringsår	2022			
Kalkulasjonsrente	2022-2062	2062-2097	2097	
	4 %	3,0 %	2,0 %	
Levetid	75 år			
Analyseperiode	40 år			
Realprisjustering av tid, liv, ulykkeskostnader, helse, lokale og globale utslipp	1,3 %			

I tillegg er det lagt til grunn en årlig gjennomsnittlig vekst i referansetraffic for persontog på 0,8 % fram mot 2040 for å ta høyde for at gjennomsnittlig befolkningsvekst med tilhørende transportvekst i Norge fram mot 2040 er 24 %²². For godstrafikken er det beregnet godsmengder i referanse- og tiltakssituasjonen i Godsmodellen for tre år: 2012, 2028 og 2040. Veksten i godstrafikken gjennom perioden reflekteres gjennom de beregnede godsmengdene for disse årene. Etter siste beregningsår (2040) legges det til grunn en sjablongmessig vekst i årlig trafikk på 1 %.

Referansealternativ

Referansealternativet er en videreføring av dagens situasjon som innebærer at dagens dieselbaner forblir dieselbaner. Det vil kjøpes inn nytt dieselmateriell der det er behov for det, slik at dagens standard kan videreføres.

Utbyggingsalternativ

Tiltaket er konvensjonell elektrifisering av følgende ikke-elektrifiserte baner:

- Røros- og Solørbanen
- Nordlandsbanen
- Raumabanen

Kostnader ved å elektrifisere

Framstilling av investeringskostnadene er basert på:

²¹ Kilde: Nyttetekostnadsanalyse for elektrifisering av ikke-elektrifiserte baner, Jernbaneverket 2015

²² SSB. Vekst mellom 2013 og 2040.

- Kontoplan og enhetskostnader fra Hovedplan for elektrifisering av Trønderbanen og Meråkerbanen, samt andre relevante (nyere) prosjekt
- Usikkerhetsanalyse av investeringskostnader fra Hovedplan for elektrifisering av Trønderbanen og Meråkerbanen
- Grunnkalkyle for gjenstående ikke-elektrifiserte baner, JBV Prosjektstyring seksjon for estimering
- Usikkerhetsanalyse av investeringskostnader basert på grunnkalkyle for gjenstående ikke-elektrifiserte baner.

Tabell 4 Investeringskostnader (P50) ved elektrifisering²³ 2015 kr

	Røros- og Solørbanen	Raumabanen	Nordlandsbanen
Mrd. kroner 2015 avrundet	6,9	1,9	9,8
Beregningslengder km.	478	114	603
Pris pr. km mill.kr.	14,5	16,5	16,2

Kostnadestimatet tar høyde for forskjeller i topografi, antall bruer, tunneler og tilstand.

I løpet av de siste årene (2005-2015) er investeringskostnader ved elektrifisering vurdert og presentert i ulike utredninger. Disse bærer preg av at det finnes få konkrete erfaringer fra prosjekt i nyere tid. Grunnlaget for framstilling av investeringskostnader og metodene som er benyttet er ulike. Dette har medført at nivået på kostnadene (både for en banestrekning sett under ett og for enhetskostnadene) også er ganske ulike. Dette medfører i seg selv en usikkerhet om nivået på investeringskostnadene, og bør være tema både for videre utrednings- og strategiarbeid.

Prissatte virkninger

Elektrifisering medfører flere virkninger, som i denne analysen er kvantifisert og prissatt.

Virkninger for godstransport:

- Dieselkostnadene faller bort som følge av elektrifisering. Dette gir reduserte kostnader for operatører/godskunder
- Nytte for tredjepart ved overført trafikk fra veg til bane. Tredjepart i denne sammenheng er samfunnet under ett, beboere langs transportnettene og de som oppholder seg i trafikken, som drar nytte av reduserte globale og lokale utslipp, endrede ulykkes- og støykostnader²⁴

²³ Kilde: Elektrifisering av ikke-elektrifiserte jernbanestrekninger Rapport Usikkerhetsanalyse, Jernbaneverket 2015, P50 kostnader justert ved byggekostnadsindeks for veganlegg til 2013kr pga. at metodeverktøy for samfunnsøkonomiske beregninger (Merklin) ikke er oppdatert til 2015.

- Toglengder er forutsatt de samme som dagens toglengder i hovedresultatet. Det er derimot regnet på følsomheten i lønnsomhet ved økning av dagens toglengder som følge av elektrifisering

Virkninger for persontransport

- Ingen økt frekvens
- Fast etterspørsel før og etter tiltak (som i dag med befolkningsvekstprognose fram mot 2040) dvs. ingen overført trafikk pga. elektrifisering
- Det ses bort fra eventuell nyttetap fra økning i billettkostnad
- Dieselskostnader faller bort som følge av elektrifisering. Dette gir reduserte operatørkostnader.

Endring i punktlighet, kjøretid og kjøring av lengre godstog er håndtert i følsomhetsanalysen.

4.2.2 Samfunnsøkonomiske virkninger og følsomheter

Effekten av å elektrifisere

Tabell 5 Investeringskostnader og netto nåverdi i mrd kr. 2015²⁵

	Investerings- kostnad P50	BNV ²⁶ person	BNV gods	Sum BNV	Investerings- kostnad ²⁷	NNV (sum BNV fratrasket inv.kostnader)
Røros- Solørbanen	6,9	1,7	5,0	6,7	8,4	-1,7
Nordlandsbanen	9,8	1,3	13,9	15,2	12,2	3,0
Raumabanen	1,9	0,2	0,7	1,0	2,3	-1,4

Nordlandsbanen kommer bedre ut i beregningene enn Røros- og Solørbanen fordi den har mer (gods-) trafikk og en lengre strekning som akkumulerer nytte for tredje part.

²⁴ Støykostnader er den eneste av de eksterne kostnadene som øker ved overføring av gods fra vei til bane.

²⁵ Investeringskostnader er utarbeidet i samarbeid med Seksjon estimering. Netto nåverdier er oppjustert i etterkant av analysen fra 2013 til 2015 kr ved SSBs byggekostnadsindeks..

²⁶ Brutto nåverdi

²⁷ P50 er diskontert og vedlikeholdskostnad for KL er lagt til. Denne er vanligvis plassert under brutto nytte og ikke investeringskostnad. Verdien er liten i forhold til investeringene i seg selv og endringen i plassering påvirker ikke størrelsen på netto nåverdi.

Verdien av å kunne bruke Rørosbanen når Dovrebanen er stengt²⁸

Som del av den samfunnsøkonomiske analysen er det beregnet en spesifikk effekt av å bruke Rørosbanen når Dovrebanen er stengt. Beregnet nytte og viktige erfaringer er direkte knyttet til en flom- og rashendelse som inntraff i 2013 og førte til stenging av Dovrebanen. Nytten er lagt til for Røros- og Solørbanen. Analysens resultater må sees som et øvre tak på hvor stor denne nytten kan være.

Netto nåverdi av å kunne bruke Rørosbanen som reservebane er 797 mill. 2013 kr.

Utslippsreduksjon

Jernbanens bidrag til samlede klimagassutslipp fra transportvirksomhet i Norge er relativt lave og kommer i hovedsak fra diesellokomotiver. Vare- og godstransporten forventes å øke svært mye de neste tiårene og det er ambisjoner om at mye av dette skal tas på tog og båt. Økt andel godstransport på bane gir langt større reduksjon i klimagassutslipp enn investeringer rettet mot persontransport på bane.

Tabell 6 CO2-ekvivalenter, tonn spart per år

	Gods	Person
Røros- Solørbanen	6 281	4 431
Nordlandsbanen	59 671	4 765
Raumabanen	4 105	839

Totale utslipp fra hele jernbanenettet per 2015 er under 50 000 tonn/år. Tallene vi har kommet fram til her er for gods et snitt-tall over de neste 75 år hvor det er forutsatt stor økning i togtrafikken. For persontrafikk er det ikke lagt inn økning i togtrafikken som følge av tiltaket. Dette forklarer noe av forskjellen i størrelsesforholdet i resultatene.

Følsomhetsanalyse

Tabell 7 Redusert investeringskostnad og tilhørende netto nåverdi i mrd kr. 2015

	- 20 %	- 30 %	- 40 %
Røros- og Solørbanen	-0,1	0,6	1,5
Nordlandsbanen	5,7	6,9	7,8
Raumabanen	-1,0	-0,7	-0,5

Med 20 % lavere investeringskostnad nærmer NNV for Røros- og Solørbanen seg positiv, men rangeringen mellom banene er den samme. For 30 % kostnadsreduksjon blir NNV for Røros- og Solørbanen positiv, mens Raumabanen fremdeles har negativ nytte også ved 40 % kostnadsreduksjon.

²⁸ For detaljer rundt beregningen vises til den fullstendige nyttekostnadsanalysen.

Tabell 8 Røros- og Solørbanen, eksempel på nyttevirkninger av redusert kjøretid og økt punktlighet, uttrykt som netto nåverdi i mrd kr. 2015

	Person	Gods	Kostnad	Samlet nytte
NNV grunnkalkyle	1,7	5,0	8,4	-1,7
Nytte ved kjøretidsreduksjon på 10 min	0,2	0,0		-1,5
Nytte ved kjøretidsreduksjon på 30 min	0,6	0,1		-1,0
Nytte ved 5 prosentpoeng forbedring i punktlighet	0,1	0,1		-1,5
Nytte ved 10 prosentpoeng forbedring i punktlighet	0,3	0,2		-1,3
Nytte ved 30 min kjøretidsreduksjon + 10 prosentpoeng punktlighetsforbedring	1,0	0,3		-0,5

For Røros- og Solørbanen vil selv store reduksjoner i kjøretid og punktlighet ikke gi positiv nytte. En kombinasjon av moderate forbedringer i kjøretid og punktlighet sammen med en liten reduksjon i investeringskostnader vil gi positiv nytte.

Tabell 9 Nytte på Røros/ Solørbanen av lengre tog og elektrifisering uttrykt som netto nåverdi i mrd kr. 2015

	750 meter tog	Samlet nytte 750 meter +elektrifisering	1000 meter tog	Samlet nytte 1000 meter +elektrifisering
Trafikantnytte	0,5		0,7	
Offentlig nytte	-0,7		-0,6	
Tredjepart	1,0		1,1	
Restverdi	0,5		0,7	
Skattefinanskost	-0,0		-0,0	
Brutto nåverdi	1,3		1,9	
Netto nåverdi inkl kostnad for 5 kryssingsspor*		-1,0		-0,5

*Verdien er sjablongmessig regnet ut etter tilbakemelding fra kapasitetsavdelingen i Jernbaneverket vedrørende antall kryssingsspor om hva som skal til for å kjøre alle godstog nordover via Kongsvinger – Solør - Rørosbanen og sørover via Dovrebanen. Kostnader er hentet fra VISTAs analyse for Bred godsanalyse.

Det er gjort en ny beregning i Nasjonal godsmodell der nettet er elektrifisert, i tillegg til at det er mulig å kjøre lengre tog²⁹. De nye tallene er brukt til å analysere nytteeffektene av å kunne kjøre lengre tog på Røros- og Solørbanen.

²⁹ TØI (2015) leverte etterspørselstall for elektrifisering av hele nettet samtidig som det kjøres lange tog.

Nederste rad viser nettonåverdi dersom all godstrafikk kan gå nordover på Rørosbanen og sørover på Dovrebanen uten at det krever store investeringer. Investeringene antas som et minimum å være fem lange kryssingsspor³⁰. Det er ikke regnet med kostnader til utbedringer av sporlegemet og eventuelle tilpasninger i terminaler. Persontogene antas i eksempelet å være like lange som i dag og kan dermed krysse i dagens kryssingsspor.

4.2.3 Konklusjon basert på samfunnsøkonomisk analyse

Den samfunnsøkonomiske analysen viser best resultat for Nordlandsbanen på grunn av antallet framførte tog og at det er en lang strekning som akkumulerer nytte for tredjepart. Røros- og Solørbanen får positiv netto nåverdi av noe redusert investeringskostnad og/eller kjøretidsgevinster. Raumabanen får negativ nytte i alle beregnede situasjoner.

Ekstranytten ved å benytte Røros- og Solørbanen som reservebane til Dovrebanen må sees på som et øvre tak dersom det ikke skjer større omstruktureringer i togallokeringen mellom Dovre og Røros-Solørbanen i framtiden. Et mulig scenario er at all godstrafikk går nordover på Røros-Solørbanen og sørover på Dovrebanen eller at all godstrafikk går både nordover og sørover på Røros-Solørbanen og at denne således blir en «godsbane». I tillegg vil det komme nytte av at tømmertog kunne trafikkere direkte mellom Dovrebanen og Røros-/Solørbanen og til/fra utlandet utenom Hovedbanen og Alnabru. Elektrifisering vil da gi nytte til langt flere tog enn regnet med i denne analysen. Ved større omlegging av togtrafikk er det sannsynlig at det vil kreves ytterligere infrastrukturinvesteringer i kapasitet og tilsving mellom banestrekningene på Kongsvinger, Elverum og Hamar³¹.

4.3 Andre strategiske egenskaper knyttet til driftsform

I tillegg til formelle krav og føringer, teknologisk utvikling, utviklingen i omverdenen og den samfunnsøkonomiske beregningen er det flere egenskaper som er av betydning for strategiske valg, prioritering av rekkefølge mellom banene og virkningene av et skifte av driftsform.

Vi viser til egenskapene interoperabilitet, redundans og bidrag til konkurransedyktighet og en samlet vurdering av tidsperspektivet for når et skifte har betydning for utvikling av transporten på banene. Hvordan vil et skifte påvirke banens rolle i transportkorridoren, i markedet for godstransport primært og hvor mye betyr tidspunktet for et skifte av driftsform?

I vurderingene som følger er det tatt utgangspunkt i effekter for godstog. De samme effektene vil i stor grad være mulig å oppnå for persontog som trafikkerer på banene. Gevinster på kjøretid vil kunne bety mer for utvikling for utvikling av tilbudene. Redusert støy ift diesel er relevant for byer/tettsteder.

³⁰ Kapasitet 28.08.15: Disse fem lange kryssingssporene plasseres på Kongsvinger, Eidsvoll, Lillestrøm inn fra Hovedbanen nord, Støren, og evt Lillehammer.

³¹ Se kart over jernbanenettet side 58.

Bred samfunnsanalyse av godstransport³² viser generelt at jernbanetransporten har gode forutsetninger for vekst, men driftssikkerheten og effektiviteten må bedres for å holde på kundene og unngå å tape i konkurransen mot vegtransport. I tillegg til økt nivå på drift og vedlikehold, kreves store investeringer i terminaler og banenett. Persontog og godstog konkurrerer om begrenset sporkapasitet. Transportene som ikke får godt nok tilbud på sporet, vil i stor grad finnes igjen på vegnettet. Jernbanen er konkurransedyktig på mellomlange og lange strekninger, men konkurransen mot vegtransport er skjerpet. Redusert kjøretid og kostnader vil gi en forbedring av konkurransekraften til jernbanetransporten, sammen med økt kapasitet på strekningene.

Nordlandsbanen benyttes av godstog til/fra terminalene Alnabru, Trondheim, Mo i Rana, Fauske og Bodø. De lange avstandene bidrar til god konkurransekraft for jernbanetransport på Nordlandsbanen, redusert kjøretid vil være positivt men ikke avgjørende. Det er viktig at framføringssikkerhet, tidsbruk og kostnadene totalt sett møter forventningene hos de viktige aktørene i vare- og transportnæringen. Standardisert driftsform på banenettet mellom terminalene vil bety en enklere driftssituasjon for operatører og gi mulighet for lavere kostnader.

Nordlandsbanen har ingen redundant rolle i banenettet nasjonalt, men kan fungere som en sikkerhet ved vegstenginger spesielt når det nå er etablert beredskapsterminaler som kan benyttes for omlastning på kort varsel. Manglende interoperabilitet betyr blant annet at godsvogner fra Alnabru som skal over til Nordlandsbanen må lastes om i Trondheim. I dag er det dieseldrift fra Trondheim på hele Nordlandsbanen. Fra 2023 vil det være elektrifisert bane til Steinkjer.

Nordlandsbanens rolle primært i godstransporten mellom landsdelene framstår som robust. På kort sikt kan rollen bestå også relativt uavhengig av driftsform. Utvikling i driftsbrudd/ stenginger vil på kort sikt også være relativt lite knyttet til driftsform i forhold til dagens dieseldrift.

Imidlertid kan økende miljøbevissthet og krav i vare- og transportmarkedet, samt utviklingen i sentrale klimarettede mål og virkemidler, kunne endre rollen raskt. Flere alternative andre driftsformer enn diesel vil gi betydelig reduserte klimagassutslipp. Kostnadene for konvensjonell elektrifisering er høye, men samfunnsøkonomisk analyse viser potensielt svært positivt nytte av tiltaket. Det gir grunnlag for å gjennomføre nye analyser når det gjennom elektrifiseringsprosjektet Trønderbanen/Meråkerbanen fremskaffes oppdaterte kostnader i løpet av 2017 - 2018.

Røros-/Solørbanen utnyttes i dag lite til regulær godstransport. Men banene fyller en kritisk rolle som avlastningsbaner for å få godset fram når Dovrebanen av ulike grunner (flom, store nedbørsmengder, utglidninger, utbyggingsprosjekter etc.) er stengt. Solørbanen er helt sentral i den økende tømmertransporten innenlands og til Sverige. Røros-/ Solørbanen er i sør koblet til Kongsvingerbanen og utenlandskorridoren til Sverige på Kongsvinger, Dovrebanen på Hamar og Støren og derfra nordover til Nordlandsbanen/Meråkerbanen. Banene er sentrale i banenettet i Norge.

En standardisert driftsform vil kunne ha flere positive effekter:

³² NTP Godsanalyse HOVEDRAPPORT, august 2015

- Styrker rollen som avlastningsbaner, og gir økt redundans i banenettet ved stenginger
- Øke fremføringssikkerheten og robusthet for togtilbudene i korridoren
- Gjennom dette å øke attraktiviteten/ konkurransekraften for gods på bane
- Gir økt interoperabilitet mellom ulike banestrekninger i transportkorridoren³³
- Økt utnyttelse av infrastruktur som er lite utnyttet, mulighet for å kjøre ulike typer tog i ulike retninger, mulighet for å vurdere å variere toglengder i ulike retninger etc.
- Mulighet for å avlaste Hovedbanen under utbygging av Intercity-prosjektet³⁴
- Åpner mulighet for videreutvikling av rutetilbud (F.eks. fra Dovrebanen/Rørosbanen nordfra til/ fra Kongsvinger/Sverige utenom Alnabru, direkte fra/til Dovrebanen – Røros-/Solørbanen via Hamar og Elverum)
- Reduserte utgifter til drift og vedlikehold

Effektene vil kunne gjelde både for brukere og transportører i korridoren Oslo-Trondheim, men også for godstransporten mellom Østlandet og nord-Norge og til/fra Sverige. Den samfunnsøkonomiske nytte av å endre til standardisert elektrifisert driftsform på Røros-/Solørbanen er negativ, men det er med dagens driftsmønster. Med en endring av fordeling av godstog i korridoren vil det være et potensial for forbedret og positiv nytteverdi. Nytten av økt utnyttelse av tømmerterminaler og mulig avlastning av Alnabru er ikke beregnet.

Miljøeffekten vil være stor av å innføre null-utslippsteknologi på Røros-/Solørbanen.

Raumabanen

Raumabanen har ingen redundant rolle. Det er skifte mellom elektrisk og dieseldrift på Dombås i dag. Konkurranseevnen til gods på bane er svekket pga. dårlige avgangstider mellom Alnabru og Åndalsnes, og stengingene av Dovrebanen som har forekommet har ikke bidratt positivt i dette bildet.

På kort sikt vil utviklingen og kanskje konkurranseevnen for gods på bane til Åndalsnes være knyttet til forbedring i avgangstid fra Alnabru. Konkurranseevnen vil kunne øke med standardisering av driftsform på tvers av banene hvis kostnadene for operatørene reduseres.

Samfunnsøkonomisk nytte er dårlig for elektrifisering av Raumabanen. Endring i godsvolum og antall tog kan endre dette. Det gir grunnlag for å gjennomføre nye analyser når det gjennom elektrifiseringsprosjektet Trønderbanen/Meråkerbanen fremskaffes oppdaterte kostnader i løpet av 2017 - 2018.

³³ Forutsetter bygging av tilsving mellom baner på Elverum, Kongsvinger og Hamar se kart side 58

³⁴ Forutsetter bygging av krysningskapasitet

Raumabanens rolle kan bestå relativt uavhengig av driftsform. Utvikling i driftsbrudd/ stenginger vil på kort sikt også være relativt lite knyttet til driftsform i forhold til dagens dieseldrift. Imidlertid kan økende miljøbevissthet og krav i vare- og transportmarkedet, samt utviklingen i sentrale klimarettede mål og virkemidler, kunne endre rollen raskt. Flere alternative andre driftsformer enn diesel vil gi betydelig reduserte klimagassutslipp.

5. Anbefaling for strategi for driftsform på banene mot 2030³⁵

Kunnskapsinnhentingen og vurderinger for den enkelte banestrekning viser at tilgjengelige alternative driftsformer innenfor Nasjonal transportplanperioden 2018, 2021-2029, vil bestå av:



Valget om overgang fra diesel til biodiesel tas av operatørene
Biodiesel vil gi reduksjon i klimagassutslipp
Driftsformen påvirker ikke interoperabilitet eller redundans ift diesel

En hybrid løsning vil kunne være et alternativ i løpet av 10 år når driftsformen er mer utprøvd

Elektrifisering/del-elektrifisering er en etablert nullutslippsløsning som må besluttes politisk på nasjonalt nivå og som;

- Gir økt eller full fleksibilitet/redundans i korridoren Oslo – Trondheim med effekter også for transporten mellom Alnabru og Nord-Norge
- Innebærer et potensial for reduserte kjøretider
- Gir fleksibelt og mer effektivt banenett for togoperatører med tanke på kostnader knyttet til lokomotivpark, mulighet for utvikling av rutetilbud og utnyttelse av togmateriell
- Forutsetter andre tiltak i infrastrukturen for å ta ut full effekt; tilsving mellom baner, kryssingsspor etc. Ikke inkludert i analysene pga. at mål for antall godstog pr. bane i framtiden ikke forelå
- Gir lavere driftsutgifter for togoperatørene ift diesel
- Medfører en betydelig statlig investeringskostnad og økte driftskostnader, men;

³⁵ For Bratsbergbanen se kapitel 3.7

- Et bedre og oppdatert kostnadsgrunnlag vil foreligge når elektrifiseringen av Trønder- og Meråkerbanen innhenter kostnader i 2017
- Kan ha potensial for stordriftsfordeler av samlet skifte/bygging på banene hvis
- På Nordlandsbanen har potensielt stor nytte/kost verdi
- På Røros-/Solørbanen har nytteverdi som påvirkes direkte av økt utnyttelse av banen for godstog i korridoren. Her fins ulike muligheter for togdrift som analyseres i et pågående godstrategiarbeid.
- For Nordlandsbanen representerer en meget stor reduksjon i klimautslipp fra jernbanen i Norge
- For Røros-/Solørbanen gir stor reduksjon i klimautslipp
- For Raumabanen har liten negativ nytte og relativt lite reduksjon i klimautslipp pga. lavt trafikkgrunnlag slik situasjonen er
- Innebærer å satse på en god, langsiktig og kjent teknologi som
- Gir interoperabilitet mellom banestrekninger innenlands og mot utenlandskorridorer
 - Gir Røros-/Solørbanen potensielt ³⁶sømløs overgang til et enhetlig banenett med interoperabilitet: Dovrebanen, Hovedbanen og Kongsvingerbanen/ Sverige
 - Gir potensial for endret togdriftsmønstre enn dagens (ordinære ruter og ved stengt Dovrebanen), for tømmer tog til/fra terminaler innenlands og til/fra Sverige.
 - Gir effekt for mer punktlig framføring av godstog nordover og sørover på strekningen Oslo/Trondheim til Mo i Rana, Fauske og Bodø terminaler.
 - Gir Nordlandsbanen tilgang til et sammenhengende enhetlig banenett med mulig interoperabilitet mot Dovrebanen, Meråkerbanen/Sverige, og mot elektrifisert Røros-/Solørbanen, Kongsvingerbanen/Sverige og dermed mulighet for å utvikle nye togruter (se fotnote 32,33,35)
 - Gir Raumabanen interoperabilitet ift Dovrebanen.
 - I tillegg vil det være potensielle effekter for persontog i kjøretid, punktlighet og tilbudsutvikling
- Ved bruk av eventuell del-elektrifisering som løsning kan redusere kostnader. Dette alternativet bør derfor vurderes parallelt med konvensjonell elektrifisering. Raumabanen egner seg ikke for del-elektrifisering pga. for kort ladestrekning for batteriene.

³⁶ Forutsetter kapasitetstiltak ved store endringer i togdriftsmønstre/ omfordeling mellom banene eksempelvis tilsving til/fra Dovrebanen se kart side 58

Det vil være avgjørende at det offentlige tar en ledende rolle i skiftet fra diesel til driftsformer med null-utslipp. For togoperatørene vil det være kostnader knyttet til å supplere lokomotivene med nødvendige batterier/ hydrogentanker.

Incentivene for et skifte, virkemidlene og føringene bør komme fra offentlige myndigheter og synliggjøres i tilbudet av lokomotiver for leasing.

Hvis kostnaden for bytte til mer klimavennlig driftsform skal belastes togoperatørene innenfor godsneringen i Norge vil det innebære ytterligere svekket konkurransevne pga. kostnadsnivået og vil vanskeliggjøre videre godstransport på bane.

Anbefaling Røros- Solørbanen:

Prosjektet anbefaler at det umiddelbart som del av arbeidet med Godsstrategi for jernbaneverket vurderes endret og standardisert driftsform på Røros/ Solørbanen i form av elektrifisert eller del-elektrifisert bane. Tiltaket vil kunne gi positiv effekt. Endelige kostnadstall er usikre og vil kunne endre dette bildet. Del-elektrifisering vil være rimeligst. Når det pågående elektrifiseringsprosjektet for Trønderbanen/ Meråkerbanen er kommet i gang (2017) vil det finnes sikrere kostnadstall.

Banenes rolle i transportsystemet gjør at endret driftsform som gir styrket redundans og økt interoperabilitet bør vurderes nå.

Endring av driftsform har mange potensielle positive virkninger og egenskaper. For denne transportkorridoren har det avgjørende betydning å raskt kunne tilby sømløs og fleksibel bruk av banestrekningene slik at leveringsevnen og konkurransevnen hos operatørene øker. Eventuelle stordriftsfordeler ved utbygging av flere banestrekninger bør undersøkes.

Anbefaling Nordlandsbanen:

Prosjektet anbefaler at det vurderes aktuelle elektrifiseringsløsninger eller eventuelt andre ordninger som hydrogen/ batteri i forbindelse med neste rullering av Nasjonal Transportplan. Dette inkluderer del-elektrifisering. Nye analyser vil være styrket av at endelige kostnadstall fra elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen vil foreligge.

For Nordlandsbanen vil endret driftsform på kort sikt sannsynligvis ikke endre dens rolle og konkurransekraft. Banens lengde, rolle og trafikk gjør at standardisert/ens driftsform er mindre avgjørende i dette tidsperspektivet. Endret driftsform vil ha både utfordringer og flere potensielle positive virkninger og egenskaper.

Den samfunnsøkonomiske analysen viser at KL/ del-elektrifisering kan vise seg å ha god nytte. Derfor bør disse alternativene vurderes på nytt i løpet av de nærmeste årene. Eventuelle stordriftsfordeler ved utbygging av flere banestrekninger bør undersøkes.

Hybride hydrogentog vil kunne kjøre Trondheim – Bodø 5 ganger på én fylling. Den raske teknologiutviklingen bør følges nøye i samme tidsperiode som det innhentes mer treffsikre kostnader for konvensjonell elektrifisering og del-elektrifisering blir tilgjengelige. Disse alternative driftsformene bør så sammenliknes på et mer detaljert nivå i neste omgang.

Anbefaling Raumabanen:

Prosjektet anbefaler at det vurderes aktuelle elektrifiseringsløsninger eller eventuelt andre ordninger som hydrogen /batteri i forbindelse med neste rullering av Nasjonal Transportplan. Dette inkluderer del-elektrifisering. Nye analyser vil være styrket av at endelige kostnadstall fra elektrifisering Trønder- og Meråkerbanen vil foreligge.

For Raumabanen vil endret driftsform på kort sikt sannsynligvis ikke endre dens rolle og konkurransekraft. Banens lengde, rolle og trafikk gjør at standardisert/ ens driftsform er mindre avgjørende i dette tidsperspektivet.

Følsomhetsanalysen viser at KL/ del-elektrifisering ikke ser ut å ha god nytte. Dette forholdet bør vurderes sammen med Nordlandsbanen for å avdekke eventuelle stordriftsfordeler ved utbygging.

Et hybrid hydrogentog vil kunne kjøre Dombås-Åndalsnes mange ganger på én fylling. Den raske teknologiutviklingen bør følges nøye i samme tidsperiode som det innhentes mer treffsikre kostnader for konvensjonell elektrifisering og del-elektrifisering blir tilgjengelige. Disse alternative driftsformene bør så sammenliknes på et mer detaljert nivå i neste omgang.

Generell anbefaling:

Som del av Jernbanereformen bør det drøftes forutsetninger og rammer for en offentlig lokomotivpool med nødvendig utstyr. Det må også sees på effekten av at det går bort volum til gods når toget må transportere en batteripakke. Det må vurderes om dette blir kompensert ved endret trekraft for lokomotivet.

6. Vedlegg

- 1: Fakta om banene
- 2: Gjennomgang av grovanalyse
- 3: Energianalyse: grunnlag og metode
- 4: Økonomi for de ulike driftsformene
- 5: Mulige konsekvenser av elektrifisering
- 6: Kart over jernbanenettet

Vedlegg 1: Fakta om banene

For mer informasjon om banene se <http://www.jernbaneverket.no/Jernbanen/Banene/>

Nordlandsbanen

Nordlandsbanen er svært viktig for godstrafikken mellom nord og sør i landet. Banen er en hovedstrekning og er knyttet sammen med Dovrebanen i Trondheim og Meråkerbanen på Hell. Banen har godsterminaler i Mosjøen, Mo i Rana, Fauske og Bodø. Nordlandsbanen har en betydelig lokaltrafikk mellom Trondheim og Steinkjer med timesavganger. Strekningen Trondheim – Steinkjer, og Hell – Storlien (Meråkerbanen) er under detaljplanlegging for oppstart av elektrifisering i perioden 2017-22. Vurderingene i denne rapporten gjelder derfor for strekningen Steinkjer – Bodø på Nordlandsbanen.

Mellom Rognan, Fauske og Bodø er det også en betydelig lokaltogtrafikk. For uten de gjennomgående dag- og nattogene som kjører hele strekningen, er det også regionale togruter mellom Bodø og Mosjøen og mellom Mo i Rana og Trondheim. Nordlandsbanen som helhet har stor betydning som bindeledd og kommunikasjonsåre for distriktene den går gjennom. Fra knutepunktene Grong, Mosjøen, Mo i Rana og Fauske går det bussruter i forbindelse med togene på Nordlandsbanen.

- Fullført i 1962
- Banelengde (Steinkjer – Bodø): 602 km
- Tunneler: 154 som til sammen utgjør over 4,8 mil. Av disse er 101 lengre enn 100 m, og 11stk er lengre enn 1000 m. Lengste tunnel er 2550 m lang
- Bruer: 225 hvorav 63 er over 10 meter lange. Lengste bru er 205 m lang
- Planoverganger: 621 hvorav 20 er sikret med halv/ helbomanlegg
- Stasjoner og holdeplasser med persontrafikk: 42
- Terminaler Brattøra/ Heggstadmoen, Trondheim, Mo i Rana, Fauske og Bodø
- Dieseldrift
- Fjernstyring Trondheim S – Eiterstraum
- Enkeltsporet bane

Nordlandsbanen har store utviklingsmuligheter i både gods- og persontrafikken. Det er særlig stort potensiale for økt persontrafikk på strekningen Trondheim – Steinkjer, ved en modernisering og elektrifisering av Trønderbanen. Også mellom Bodø og Rognan er det et betydelig potensiale for økt persontrafikk, men dette forutsetter at strekningen blir fjernstyrt. Det planlegges en ny stasjon for persontrafikk ved Tverlandet mellom Fauske og Bodø. Fjernstyring av hele Nordlandsbanen er vedtatt i Nasjonal transportplan og vil ha stor betydning for fleksibiliteten i godstrafikken. Om lag 80 % av godstrafikken mellom Trondheim og Bodø går i dag på bane. Mye av dette sendes videre nordover fra Fauske/Bodø med bil.

Dagens togtilbud:

Persontog (hverdager):

- 19 lokaltogpar Trondheim–Steinkjer, tid 2:06
- 3 lokaltogpar Rognan – Bodø, tid 1:05
- 2 lokaltogpar Fauske – Bodø, tid 0:40
- 1 regiontogpar Trondheim – Mo i Rana, reisetid 6:36
- 2 regiontogpar Mosjøen – Bodø, tid 3:50

- 2 regiontogpar Trondheim – Bodø, reisetid 9:50

Godstog:

- Drammen – Bodø 1 togpar pr. uke
- Oslo – Trondheim – Bodø 2 togpar pr. dag, framføringstid Trondheim – Bodø 11:35 (Oslo – Bodø 20:00)
- Ørtfjell – Mo i Rana 6 togpar pr. dag, framføringstid 0:45

Mindre produksjon på helgedager

Rørosbanen

Banen er knyttet sammen med Dovrebanen på Hamar og Støren og med Solørbanen på Elverum. Rørosbanen har for en stor del en gunstig trasé og en betydelig lavere fjellovergang sammenliknet med Dovrebanen. Rørosbanen er svært viktig for skogbruksnæringa og daglig kjøres det mange tømmer tog fra terminalene langs banen. For godstrafikken er Rørosbanen også en viktig avlastningsrute for gods mellom Østlandet og Trøndelag ved driftsavvik eller arbeider på Dovrebanen. Rørosbanens persontog har tilnærmet 2-timersfrekvens mellom Røros og Hamar med forbindelser til Oslo. Mellom Røros og Trondheim går det morgen- og ettermiddagstog.

- Åpnet 1877
- Banelengde 382 km (Hamar – Støren)
- 6 tunneler som til sammen utgjør 1500 m. Av disse er en lengre enn 1000 m (1180 m).
- 283 bruer hvorav 34 er lengre enn 10 meter og 2 stk er 100 m eller mer. Lengste bru er 250 m lang
- 468 planoverganger hvorav 54 er sikret med halv/ helbomanlegg
- Stasjoner og holdeplasser med persontrafikk: 27
- Terminaler for tømmer og flis: Elverum, Hovdmoen, Koppang, Auma
- Dieseldrift
- Fjernstyring DATC: Hamar - Røros
- Enkeltsporet bane

Rørosbanen må vurderes sammen med behovet for redundans for Dovrebanen, og må vurderes sammen med Solørbanen.

Rørosbanen har et stort potensiale for økt godstrafikk, både mellom Østlandet og Trøndelag og ut fra banens terminaler for skogbruket. Persontrafikken har vist en stadig vekst gjennom flere år og innsetting av lengre tog og flere avganger vil kunne videreføre denne veksten. Etterspørselen er, særlig i helgetrafikken, større enn antallet plasser som i dag tilbys i togene. Elektrifisering, flere kryssingsspor og fjernstyring vil kunne utvikle Rørosbanen til å ta en betydelig andel av godstrafikken nord – sør.

Dagens togtilbud:

Persontog (hverdager):

- 1 togpar pr. dag Røros – Trondheim, reisetid 2:30
- 2 togpar pr. dag Hamar – Trondheim reisetid 6:00
- 4 togpar pr. dag Hamar – Røros reisetid 3:20
- Mindre produksjon på helgedager

Godstog:

- Ingen containertog i ordinær rute, avlastningsbane ved stenginger på Dovrebanen.
- I tillegg kjøres tømmeret etter behov fra Auma, Koppang, Hovdmoen (ny) og Vestmo. Økende antall tømmeretog, varierende antall etter uttak av trevirke. Eks. Rørosbanen totalt 118 tog i løpet av 3 uker eller 39 tog pr uke i januar/februar 2015. Ruteleie bestilles ved behov. Det meste av trafikken er sørvendt.

På Rørosbanen er hovedtyngden kjøring av tømmer til Koppang, Hovdmoen og godstog mellom Hamar og Elverum som utgjør hovedtyngden. Her kjøres det til sammen 65 godstog i løpet av samme uke.

Om lag 55 av togene er de samme på Rørosbanen og Solørbanen. Om lag 10 tog går kun Rørosbanen mellom Elverum og Hamar.

Solørbanen

Solørbanen går fra Kongsvinger til Elverum. Banen er knyttet sammen med Kongsvingerbanen og med Rørosbanen. Banen har en gunstig trasé med lange rettstrekninger og bare minimale stigninger. Banen er en viktig forbindelsesbane for godstrafikken.

- Åpnet 1910
- Banelengde: 93,6 km
- 1 tunnel (5 meter, løsmasse)
- 32 bruer hvorav 16 lengre enn 10 m. Lengste bru 83 m.
- 194 planoverganger hvorav 20 med halv/ helbomanlegg
- Ingen rutegående persontrafikk
- Terminaler og sidespor for tømmer og flis på Norsenga, Braskereidfoss og Vestmo
- Godstrafikk: hovedsakelig tømmer, også gjennomgående gods
- Dieseldrift
- Ikke fjernstyrt
- Enkeltsporet bane

Solørbanen har kun godstrafikk. Det er flere store terminaler for tømmer- og flistog langs banen. Mye av trafikken kommer også fra Røros- og Dovrebanen og går via Solørbanen over Kongsvinger til og fra Sverige.

Solørbanen er ikke fjernstyrt, og det er nødvendig med bemannede stasjoner for å foreta togkryssinger og for å dele opp strekningen slik at flere tog kan kjøres etter hverandre. I dag er stasjonene Kirkenær, Flisa og Braskereidfoss bemannet ved behov. Banen har gjennom de siste årene fått nytte svilledekke til erstatning for gamle og utslitte sviller. Arbeidet er ennå ikke helt fullført.

Etter hvert som transporten av tømmer- og skogsprodukter har økt, har også Solørbanen blitt stadig viktigere. Skogbruket i Solør og Østerdalen er avhengig av å kunne sende tømmer til svenske mottakere for å få avsetning på tømmeret. Det er ventet at denne utviklingen vil bli enda sterkere og trafikken øker år for år. Solørbanen fyller også en rolle som forbindelsesbane for øvrig godstrafikk mellom Østlandet og Trøndelag over Rørosbanen. Ved driftsavbrudd på Dovrebanen er Solørbanen en viktig rute for å lede om trafikken.

Dagens togtilbud:

Persontog: ingen i rute

Godstog:

- 4 - 5 togpar pr. dag
Økende antall tømmer tog, varierende antall etter uttak av trevirke. Eks Solørbanen totalt 129 tog i løpet av 3 uker, eller 43 tog pr uke i januar/februar 2015.
Ruteleie bestilles ved behov. Det meste av trafikken er sørvendt.

Om lag 55 av togene er de samme på Rørosbanen og Solørbanen. Om lag 10 tog går kun Rørosbanen mellom Elverum og Hamar.

Raumabanen

Banen er knyttet sammen med Dovrebanen på Dombås. Åndalsnes er banens endestasjon og knutepunkt for gods- og persontrafikken til og fra Møre og Romsdal. Åndalsnes havn har anløp av mange cruiseskip. Raumabanen er et viktig bindeledd mellom Møre og Romsdal og Østlandet når det gjelder kollektivtrafikk. Raumabanen har fire daglige persontog i hver retning (tre på lørdager). Ett av disse togparene kjøres til/fra Lillehammer. Alle togene har forbindelser med Dovrebanens tog og med busser til/fra Ålesund og Molde. Det kjøres ett daglig godstogpar mellom Oslo og Åndalsnes.

- Åpnet 1924
- Banelengde: 115 km
- 7 tunneler, fra 30 til 1400 m, til sammen 2,2 km. Lengste tunnel ca. 1400 m
- 106 bruer, hvorav 13 stk som er lengre enn 10 meter. Lengste bru 80 m. 22 steinbruer med administrativt vern
- 183 planoverganger, derav 5 med halv/ helbomanlegg
- Stasjoner og holdeplasser med persontrafikk: 4
- Terminaler: Åndalsnes
- Turisttog i sommersesongen
- Dieseldrift
- Ikke fjernstyrt
- Enkeltsporet bane

Raumabanen fyller en stadig viktigere rolle i turistnæringen på Nord-Vestlandet. Gjennom de siste årene er det satset på å utvikle banen til en turistbane etter modell av Flåmsbana og det kjøres nå egne turisttog på banen gjennom hele sommersesongen. Med kortere kjøretider på Dovrebanen, blant annet som følge av den vedtatte intercityutbyggingen Oslo – Lillehammer, vil også reisetidene mellom Åndalsnes og Oslo bli redusert, noe som vil styrke banens konkurransekraft. Det går store varestrømmer mellom Nord-Vestlandet og Østlandet og det er også store muligheter for å få mer av denne trafikken over på Raumabanen ved effektive godstogopplegg.

Manglende fjernstyring er hemmende for banens kapasitet. Banen er stedvis rasutsatt, dette setter krav til sikring beredskap og varsling.

Dagens togtilbud:

Persontog:

- 4 togpar pr. dag, reisetid 1:20 og i tillegg kommer cruise-trafikk i sesongen

Godstog:

- 1 togpar pr. dag

Bratsbergbanen

Strekningen fra Notodden stasjon til Notodden kollektivterminal (850 meter) mangler elektrifisering. Det har vært utarbeidet ulike forslag til elektrifisering av banen, men på grunn av fredningssyn blir flere av løsningene dyre.

Hele Bratsbergbanen har forbindelse med Vestfoldbanen, Brevikbanen og Sørlandsbanen. Kun strekningen Porsgrunn – Notodden har fremdeles dieseldrift. Bratsbergbanens sørlige del (Eidanger – Skien) inngår trafikkmessig i Vestfoldbanen og er således en del av intercitynettet på Østlandet. På strekningen Skien – Nordagutu dominerer persontogene mellom Grenland og Notodden. Banen er også en viktig forbindelsesbane mellom Vestfoldbanen og Sørlandsbanen og en omkjøringsrute ved driftsavvik på Sørlandsbanen. Banens viktigste funksjon er som bindeledd mellom Grenland og Midtre Telemark. Banens kontaktledningsanlegg er gammelt og trenger fornyelser. På strekningen fram til Porsgrunn bygges det nå nytt dobbeltspor (Farriseidet – Porsgrunn) som skal åpnes i 2018.

- Banelengde: 46,6 km, ikke elektrifisert 850 m
- Elektrifisert: 1936/1949
- Fjernstyring: 1972
- Stasjoner og holdeplasser med persontrafikk: 3
- Godstrafikk: Kalktog for Norcem

Telemark fylke ønsker å styrke persontrafikken på Bratsbergbanen. Dagens avtale om offentlig kjøp av persontrafikk på strekningen utløper i desember 2017, dvs. like lenge som Trafikkavtalen med NSB gjelder. Jernbaneverket anser strekningen som et viktig bindeledd mellom Vestfold- og Sørlandsbanen uavhengig av dette.

Vedlegg 2: Gjennomgang av grovanalyse

Følgende forutsetninger er gjort for grovanalysen:

- *Grov-analysen er et nåtidsbilde/ en analyse (2014)*. Det vil si at alle konseptene vurderes iht. parameterne med utgangspunkt i dagens situasjon, både mht. teknologienes modenhet, ytelse, leverandører og markedsaktører. Det vil i den påfølgende, mer detaljerte analysen av utvalgte konsepter (i fase 2 av prosjektet), foretas evaluering som ivaretar en tidsmessig differensiering av konseptene i form av forventet teknologiutvikling innen 2021, 2027 og 2050, i tråd med prosjektbeskrivelsen.
- Biodrivstoff finnes i en rekke ulike former (bioetanol, biodiesel, biogass etc.). I denne grovanalysen er det *valgt å se på biodiesel*, da dette drivstoffet har mange likhetstrekk med konvensjonell diesel, og dermed kan omsettes i eksisterende *forbrenningsmotorer* som benyttet i tog i dag uten store endringer/ tilpasninger. Biodieselen forutsettes i framtiden *framstilt ved 2.generasjonsteknologi* der hele planteråstoffet utnyttes (trevirke, så som flis, tømmer).
- *Naturgass omsettes i forbrenningsmotor*, da høytemperatur brenselceller (som kan konvertere naturgass direkte til elektrisitet) fremdeles er på utviklingsstadiet og ikke er tilgjengelige for anvendelser innen transport. Naturgass distribueres og lagres i toget i flytende form (LNG).
- *Hydrogen omsettes i brenselceller*, da disse er langt mer effektive enn forbrenningsmotorer. Brenselceller av PEM-typen er tilgjengelige i enheter på 200kWe for buss-applikasjoner. *Hydrogen distribueres i gassform*, da energitapet knyttet til å gjøre drivstoffet flytende pr dags dato er høyt.
- *Batteri-tog benytter Li-basert batteriteknologi(er)*. Helelektriske batteritog (som kun lades ved endestasjonene) evalueres i grovanalysen, mens resultatene fra grovanalysen vil peke i retning av om ladbare hybrid-tog eller kombinasjon med del-elektrifisering kan være relevant for etterfølgende aktivitet i Fase 2.

Vedlegg 3: Energianalyse: grunnlag og metode

Interaksjon med eksisterende teknologi

Alle de analyserte alternative løsninger (KL, batteri, hydrogen, hybrid) antar det tas i bruk et elektrisk lokomotiv. Med unntak av KL, baserer alle løsningene seg på produksjon av likestrøm (DC), ikke vekselstrøm (AC) som er standard i det norske KL-nettet.

Det antas derfor at diesel-lokomotivene vil bli erstattet av et kombinert lokomotiv slik som Bombardier TRAXX MS, som kan bruke både AC og DC. CargoNet opererer i dag med TRAXX AC-modellen, kjent som CE 119.

At lokomotivet kan bruke både AC fra kontaktledning og DC fra batteri eller brenselceller gir stor fleksibilitet i bruk, da toget vil kunne bruke hele det norske jernbanenettet. I tillegg vil det være mulig å lade batteriene mens toget er tilkoblet kontaktledning, slik at toget ikke behøver stanse for lading.

Dette betyr at analysene vil utføres kun for den delen av strekningen som ikke har kontaktledning. Rørosbanen regnes derfor ikke fra Trondheim til Oslo, men fra Støren til Hamar, fordi både nord for Støren og sør for Hamar kan toget bruke energi fra kontaktledning.

Analysemetode

Data for alle strekningene ble levert av Jernbaneverket som en XML-fil i railML-format. Fra dette ble følgende data hentet for de relevante sporene:

- Stigning i %
- Fartsgrenser (nordover og sørover)
- Navn på stasjoner og holdeplasser
- Tunneler

Ut fra dette er det mulig å beregne en høydeprofil ved å integrere stigningen over trasélengden. Noen mindre feil vil forekomme da stigningen er gitt kun i hele promille; for å verifisere resultatet festes høyden til startpunkt, og høyden til endepunkt sammenliknes med den virkelige høyden.

Fartsgrensen er inndelt i tre klasser, Normal, Pluss og Krenge. For referansegodstoget brukes Normal som referanse, i tillegg til togets egen fartsgrense på 90 km/h. For enkelhets skyld antas at toget holder fartsgrensen til enhver tid, og det modelleres ikke akselerasjon, bremsing eller ventetid på stasjon.

Avhengig av togets vekt, lengde og hastighet beregnes trekkraften. En grundig innføring i kreftene som påvirker et tog presenteres av Spiess, mens mer praktisk anlagte formler for spesifikke togkonfigurasjoner ble samlet av Lindgreen and Sorenson.

De dominerende krefter som må modelleres for å estimere trekkraften til et tog er stignings-, rulle- og luftmotstand. Det antas at referansegodstoget er tett lastet med containere, og det benyttes formlene for et tog med fullastede Sgis-vogner (3 containere og 4 aksler på hver vogn)

Grunn- og bufferlast

Et lokomotivs maksimale effekt er typisk mye større enn den gjennomsnittlige effekten. Det er da mulig å dele energiproduksjonen i to deler:

1. En konstant effektproduksjon som tilsvarer den gjennomsnittlige effekten;
2. En batteribuffer som lagrer overskudd og kompenserer for underskudd over traséen.

Dette er spesielt relevant for hydrogentog, fordi det tillater at brenselcellene dimensjoneres for en mye mindre effekt enn lokomotivets nominelle effekt. I tillegg gir batteriene mulighet til å utnytte regenerativ bremsing.

Siden brenselcellene er en kostbar del av systemet, er det økonomisk gunstig å erstatte en del av deres effektkapasitet med batterier. Det er også viktig å bemerke at levetiden til brenselceller økes betraktelig hvis de ikke utsettes for varierende last, men for en kontinuerlig grunnlast.

Energiforbruk i NSB-miljøregnskapet

Det er god overensstemmelse mellom energiforbrukstallene i dette dokumentet og data publisert i NSB-konsernets miljøregnskap for dieseldrevne godstog.

Det gjøres oppmerksom på at NSB rapporterer data som MWh i energiinnhold i diesel, som kan omvandles til mekanisk energi med en virkningsgrad på cirka 40 %, og at de regner kun med tonn nyttelast, ikke togets totale vekt. Det kan derfor se ut som at det er et stort sprik mellom NSBs tall (for 2011, 119 Wh/t km) og resultatene i dette notatet (rundt 23 Wh/t km), selv om dette er kun et definisjonsspørsmål.

For videre omtale av de enkelte baner og kilder for ovenstående henvises det til SINTEFs rapport.

Vedlegg 4: Økonomi for de ulike driftsformene

Flytende naturgass

Det er særlig vanskelig å spå prisen til naturgass som alternativ til diesel, da dette avhenger mest av leveranseavtaler for naturgass og tilgjengelighet av LNG-terminaler ved havner i for eksempel Trondheim, Bodø og Åndalsnes. Naturgass vil derfor ikke vurderes i dette avsnittet, men resultatene for diesel vil være en god tilnærming.

Investering for flytende naturgass vil ellers være minimal: man vil lease naturgassdrevne lokomotiver istedenfor dieseldrevne, som vil ha lignende teknologi og ytelse; flytende naturgass vil i framtiden kunne være tilgjengelig i havneområder, som er i umiddelbar nærhet til f.eks. Trondheim Sentralstasjon, Bodø stasjon og Åndalsnes stasjon.

Det er altså ikke investeringskostnadene som begrenser naturgass-alternativet, men heller om flytende naturgass vil bli tilgjengelig i havneområdene.

Det må også påpekes at bruk av flytende naturgass vil innebære redusert fleksibilitet. Det vil være få fyllestasjoner, og lokomotivene vil ikke kunne kjøre på strøm fra KL-anlegg (i motsetning til hydrogentog).

Energibehov på elektrifiserte strekninger

Energiberegningene i SINTEF-rapporten ble brukt til å dimensjonere togsettene (antall batterivogner osv.), men representerer ikke normale togreiser. Reiser over Nordlandsbanen starter fra Trondheim, ikke Steinkjer. Selv om batteri og hydrogensystemer dimensjoneres ut fra strekningen Steinkjer - Bodø, vil det sannsynligvis ikke være aktuelt å bytte elektriske lokomotiv med diesellokomotiv i Steinkjer. Dette både av hensyn til reisetid og ressurser (dette vil kreve bytte av lokomotiv og dermed skiftepersonell), og fordi det ikke er noen driftsteknisk avdeling i Steinkjer hvor lokomotivene kan få ettersyn og vedlikehold.

Derfor må man sammenlikne økonomitall over hele banen for å få et representativt bilde. Energibehov for de elektrifiserte strekningene Trondheim - Bodø og Trondheim - Oslo for diesel og KL er vist i tabell på neste side. Disse data vil brukes sammen med de foreslåtte alternative drivstoff, under den antagelsen at alle teknologier med elektrisk drevet lokomotiv vil benytte seg av KL-anlegget hvor det er tilgjengelig.

Tabell 21: Energibehov over elektrifiserte strekninger for elektriske og dieseldrevne tog. Merk at energibehovet er definert som energien som må tilføres hjulene, og ikke tar hensyn til energikildenes virkningsgrader, som er svært varierende. Forskjellene i tabellen skyldes først og fremst regenerativ bremsing, som er antatt tilgjengelig kun for elektriske tog.

Strekning	Diesel	Elektrisk	Lengde
Trønderbanen			
Trondheim–Steinkjer	3,45 MWh	2,68 MWh	118 km
Steinkjer–Trondheim	3,71 MWh	3,03 MWh	
Dovrebanen			
Trondheim–Støren	1,84 MWh	1,39 MWh	51 km
Støren–Trondheim	1,50 MWh	1,27 MWh	
Hamar–Alnabru	3,96 MWh	3,05 MWh	124 km
Alnabru–Hamar	4,54 MWh	3,07 MWh	
Kongsvingerbanen			
Kongsvinger–Alnabru	2,61 MWh	2,09 MWh	90 km
Alnabru–Kongsvinger	3,11 MWh	2,35 MWh	
Kongsvinger–Charlottenberg	1,01 MWh	0,88 MWh	41 km
Charlottenberg–Kongsvinger	1,24 MWh	1,11 MWh	

Vedlegg 5: Mulige konsekvenser av å elektrifisere

Konsekvensene av å elektrifisere de gjenstående ikke-elektrifiserte banene er mange og sammensatte. Banene har forskjellige egenskaper og utfordringer, bl.a. trafikkbelastning, geografi og hvilken stand banene er i.

Hvilken alternativ driftsform til diesel og elektrifisering som vil være mest gunstig vil derfor også kunne være forskjellig for hver bane.

Kunnskapen om framtiden og utviklingen i teknologi og samfunnet for øvrig er vanskelig å spå. En vektet analyse av fordeler og ulemper av valg av driftsform som avgjøres i dag vil kunne være forskjellig fra en tilsvarende analyse om bare fem eller ti år.

Kostnader

Elektrifisering er det dyreste alternativet for alle baner. Det lønner seg mest der det er mye trafikk. Alternative driftsformer blir billigere og billigere jo lenger ut i analyseperioden man kommer. Grunnen til dette er teknologisk framgang som gjør teknologier mer utviklede og tilgjengelige. Batterier forventes å bli mindre og samtidig mer effektive.

NSB har allerede hatt mye av dieselmateriellet sitt lengre enn stipulert levetid. Materiellet må byttes ut, og selskapet ønsker selvsagt å kjøpe den teknologien som skal gjelde i framtiden og at anskaffelsene også sammenfaller med øvrige strekningsutviklingstiltak (ERTMS, evt. elektrifisering etc.). Et valg må tas så snart som mulig.

Spørsmålet om en teknologi skal innføres og tas i bruk avhenger ikke bare av det totale kostnadsbildet, men også av hvem som betaler hva. Høye operatørkostnader kan tenkes å vri kundene over på andre transportmiddelløsninger. Elektrifisering koster så mye at dersom man alternativt tenker seg at staten kjøper inn batterier eller bygger ut hydrogeninfrastruktur, og/ eller leier ut lokomotiver eller har en lokomotiv pool/ park, så vil dette være mer kostnadseffektivt enn elektrifisering.

Miljø

Elektrifisering har god miljøprofil siden man tenker seg at energien kommer fra fornybare kilder. Elektriske tog slipper ut 20-30 % mindre CO₂ enn dieseltog. Andre driftsformer har også god miljøprofil.

Elektriske tog støyer mindre enn dieseltog og er derfor et bedre alternativ i tettbygde strøk.

Det vil komme krav fra myndighetene om skjerpede utslippsbegrensninger og/ eller nye avgifter knyttet til utslipp. Dette kan endre fortrinnene enkelte driftsformer har i dag slik at en annen kommer bedre ut økonomisk for operatøren og/ eller infrastruktureier.³⁷

³⁷ Jfr. Innstilling i Stortinget om at nullutslipp fra kollektivtrafikken skal vurderes fra 2025

Kjøretid

Elektrifiserte tog har bedre akselerasjon enn dagens dieseltog. Dermed kan kjøretiden bli kortere. Elektrifiserte strekninger har mindre forsinkelser og bedre punktlighetstall enn dieseldrevne strekninger. Noe av dette kan også oppnås med nyere modeller av dieseltog.

Gjennomgående ruter er viktig for konseptets konkurransevne. Fordeler kan være redusert kjøretid, men også at overgangene ikke vil synes tungvinte både for Jernbaneverket og for operatører ved krav om kunnskaper og materiellpark for flere systemer. Elektrifisering av alle baner slik at driftsopplegget blir det samme over hele Norge er den enkleste måten å tenke seg dette skje på.

Kapasitet

Rørosbanen har et potensiale som avlastningsstrekning for Dovrebanen. Hvis denne elektrifiseres kan man tenke seg å kjøre de fleste godstog nordover på Rørosbanen og sørover på Dovrebanen. Man får da en vesentlig økning i kapasiteten uten å måtte investere mye i kryssingsspor. Et slikt tiltak kan således sees som alternativ til kryssingssporutbygging på Dovrebanen i tillegg til at det blir en gjennomgående elektrifisert rute fra for eksempel Alnabru via Rørosbanen til Trondheim.

Dersom man elektrifiserer kan man øke sete- og godskapasiteten pga. økt trekraft.

Regenerativ bremsing blir en mulighet ved elektrifisering og batteridrift. I utforbakke akkumuleres bremseenergien og mates enten inn på et batteri eller tilbake i KL-nettet. Dette gjøres i dag på Ofotbanen hvor de tomme togene kan kjøre tilbake til Riksgrensen stort sett på togets egenproduserte strøm.

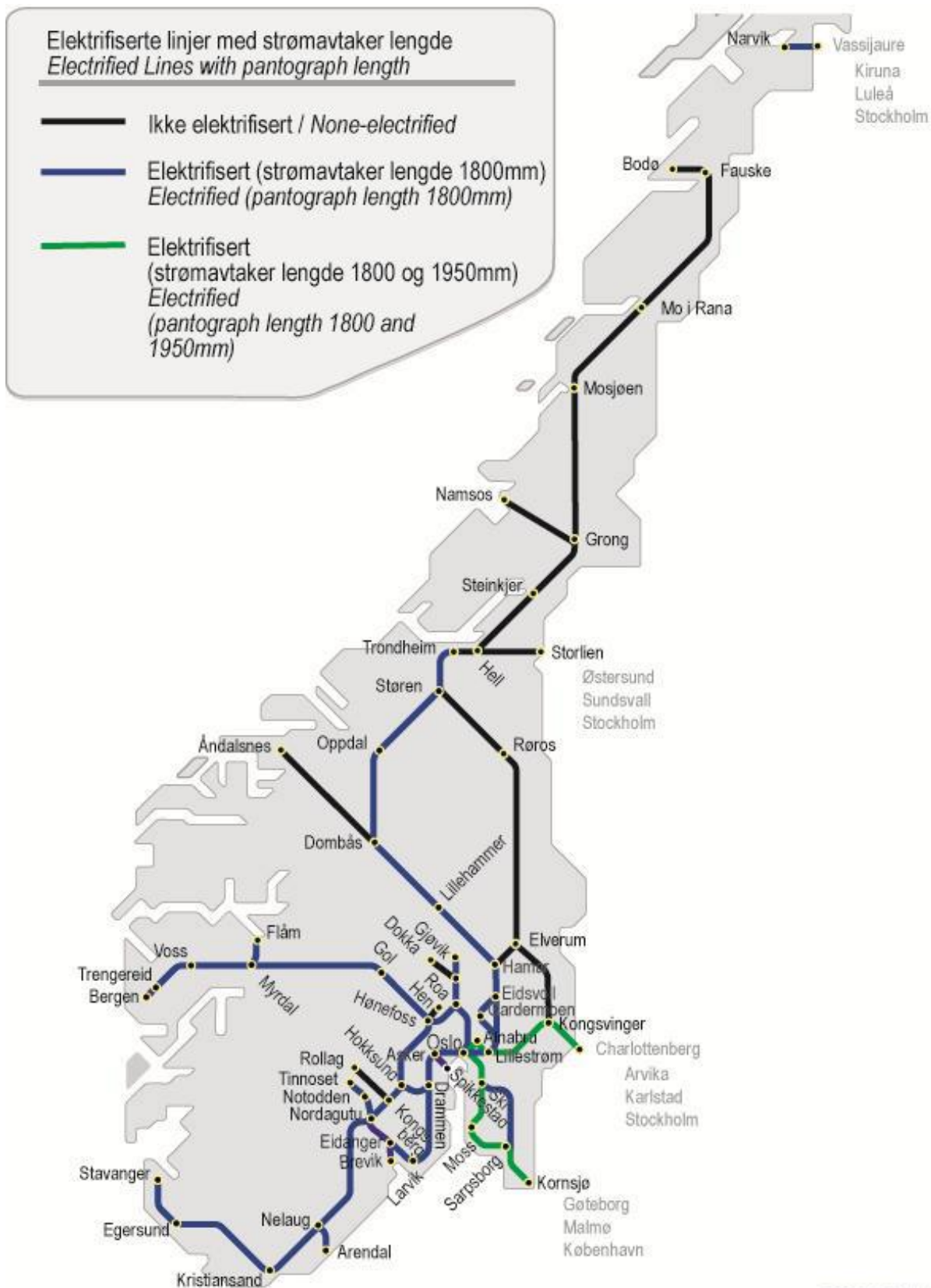
Gjennomførbarhet

Valgt teknologi og tilhørende materiell må være tilgjengelig når utskiftingen planlegges, dette innebærer for noen av driftsformene å vente på at utvikling finner sted. Det burde forskes mer på hastigheten på utviklingen, kanskje er vi klar allerede om fem år med noe som ikke er gjennomførbart i dag. Dette fordi man i større grad enn tidligere samarbeider på tvers av fagfelt og at man dermed kan benytte seg av framsteg fra uventede hold.

Jernbanen i Norge har mulighet til å gjøre et sprang i teknologi. Det er kostbart å bytte teknologi og her kan det være en mulighet til å spare samtidig som jernbanen er med å fremme teknologisk utvikling.

Et annet standpunkt er å hevde at Norge er et lite land som vil ha høye kostnader forbundet med å starte opp togdrift med teknologi som er uprøvd. Det vil oftest være innkjørings- og tilpasningsproblemer som særlig kan ramme land som Norge pga. klima og geografi. Dersom operatørene ikke ønsker å investere og drive en ny type materiell, eller investeringstidspunktet ikke passer deres tidsplan for investeringer, vil det ikke være gunstig at Jernbaneverket gjennomfører sine planer. Følger kan være at operatører ikke lenger anser det lønnsomt å drifte på strekningen, eller at nyanskaffet teknologi blir liggende ubrukt. En helt ny driftsform vil kreve opplæring av personell og samordning med andre driftsformer dersom den er ulik resten av jernbanenettet.

Vedlegg 6: Kart over jernbanenettet



Godstog på Raumabanen, foto Leif Johnny Olestad



Godstog på Solørbanen, foto Hilde Lillejord

