

NULLFIB

Sluttrapport

Sammendrag

Fortsatt bruk av fossil diesel som energibærer på de ikke elektrifiserte delene av det norske jernbanenettet er ikke en fremtidsrettet løsning, og er ikke i tråd med gjeldende politikk innen miljø og klima. Jernbanedirektoratet er gitt oppgaven med å legge til rette for en effektiv bruk av offentlige midler innen jernbanesektoren for å oppnå mer jernbane for pengene.

Utbygging med full elektrifisering av de hittil ikke-elektrifiserte banestrekningene er vurdert som en løsning med høye utbyggingskostnader. Jernbanedirektoratet har derfor, gjennom NULLFIB¹, vurdert alternativer for å finne en driftsform som er klima og miljøvennlig, kostnadseffektiv og som er gjennomførbar å ta i bruk på mellomlang sikt.

Jernbanedirektoratet har gjort en vurdering og evaluering av nye teknologiske løsninger for drift av jernbane basert på følgende driftsformer;

- Hydrogen
- Biogass
- Biodiesel
- Helbatteri
- Batteridrift med del-elektrifisering.

Den faglige vurderingen av nytt kunnskapsgrunnlag er at batteribasert teknologi er mest aktuell for å være en varig løsning som kan erstatte bruken av fossilbasert diesel i jernbanen. For at denne teknologien skal kunne brukes i de fleste operasjoner som i dag benytter fossil diesel, er det nødvendig at bruken av batterier kombineres med et ladesystem som kan lade tog mens de kjører. Dette medfører at en driftsform med batteri i tog kombinert med del-elektrifisering anbefales som hovedløsning for de ikke-elektrifiserte banestrekningene.

For at et teknologiskifte skal lykkes må løsningen ha teknologisk modenhet, som gjør at det ikke er utfordringer knyttet til bruken som vanskelig lar seg løse. Det må også være vilje fra alle jernbanens aktører til å ta løsningen i bruk, samt tilstrekkelig finansiering og politisk vilje til å iverksette nødvendige tiltak for å gjennomføre endringen. Den anbefalte løsningen er vurdert til å ha størst potensiale for å oppnå dette.

Prosjektnummer: 21007122	Saksnummer: 201900255-7	Revisjon: 00
Utarbeidet av: Morten K. Flisnes	Kontrollert av: Stephen Oommen	Godkjent av: Anita Skauge

¹ NULLutslippsløsninger For Ikke-elektrifiserte Baner

Innhold

1 Innledning	4
1.1 Bakgrunn	4
1.1.1 Klimagassutslippene fra transport må ned.....	4
1.1.2 Jernbane som en del av løsningen	5
1.1.3 Målet for prosjektet	5
1.2 Avgrensning	5
1.3 Disposisjon	6
2 Aktuelle nullutslippsløsninger	7
2.1 Standard kontaktledning	7
2.2 Helbatteri	7
2.3 Batteridrift med del-elektrifisering	8
2.4 Hydrogen.....	8
2.5 Biogass	9
2.6 Biodiesel	9
3 Vurdering av økonomiske forhold	11
3.1 Samfunnsøkonomi	11
3.2 Bedriftsøkonomi	13
3.3 Oppsummering og usikkerhet	14
4 Skår på viktige vurderingsparametere	16
4.1 Gjennomførbarhet.....	17
4.2 Investering og drift	18
4.3 Klima og Miljø.....	19
4.4 Resultater av vurderingene	20
5 Konklusjon	22
5.1 Vurdering og eliminering av tilgjengelige valg	22
5.1.1 Standard kontaktledning.....	22
5.1.2 Biodiesel	22
5.1.3 Del-elektrifisering med batteridrift.....	23
5.2 Anbefalinger	23
5.3 Forbehold.....	23
6 Vedlegg	24
6.1 Vedlegg A: Bakgrunn for skåringsvurdering.....	24
6.2 Vedlegg B: Oversikt over tilhørende delrapporter	27

Figurer og tabeller:

Figur 1: Kostnadseffektivitetsanalyse – resultat basisalternativ	12
Tabell 1: Driftskostnader kjøretøy for alle teknologier	14
Figur 2: Grafisk fremstilling av aktualitetsvurdering	16
Figur 3: Graderinger for skalabruk	16
Tabell 2: Skår på markøren Gjennomførbarhet.....	17
Tabell 3: Skår på markøren Investering og Drift.....	18
Tabell 4: Skår på markøren Klima og Miljø.....	19
Tabell 5: Samlet skår på alle markører	20

1 Innledning

Norge har frem til 2030 å kutte 45 prosent av klimagassutslippene. Transportsektoren står for 30 prosent av de totale utslippene, og mye må dermed gjøres innenfor denne sektoren frem mot 2030. Den teknologiske utviklingen innenfor løsninger med nullutslipp går derimot svært raskt. Det er derfor et behov for å kartlegge aktuelle nullutslippsløsninger som vil kunne ha en positiv virkning på sektorens utslipp og samtidig gi økonomiske besparelser. Jernbanedirektoratet har derfor gjennomført prosjektet «NULLutslippsløsninger For Ikke-elektrifiserte Baner» (NULLFIB). Hensikten er å utrede tilgjengelige valg for nullutslippsløsninger og gi anbefaling for videre satsning. Dette er sluttrapporten for prosjektet.

1.1 Bakgrunn

Det er per 2019 syv jernbanestrekninger som ikke er elektrifiserte og hvor togene benytter diesel som medfører klimagassutslipp². Om vi erstatter diesel med nullutslippsløsninger på disse strekningene vil vi dermed få en utslippsfri jernbane som er bedre rustet for fremtiden. En overgang til slike nullutslippsløsninger vil kunne gi gunstige samfunnsøkonomiske besparelser og samtidig øke jernbanens konkurransevne i møte med andre former for transport. Teknologitvillingen på løsninger med nullutslipp skjer derimot svært raskt. Jernbaneverkets «Strategi for driftsform på ikke-elektrifiserte baner» ble utarbeidet i 2015, og er allerede i dag utdatert i forhold til nåværende teknologiske status. Jernbanedirektoratet har derfor sett det som nødvendig å oppdatere kunnskapsgrunnlaget slik at sektoren er i stand til å ta korrekte og kloke beslutninger i arbeidet med å ruste jernbanen og sektoren for fremtiden.

NULLutslippsløsninger For Ikke-elektrifiserte Baner (NULLFIB) er et utredningsprosjekt gjennomført av Jernbanedirektoratet i samarbeid med Norske Tog AS, Bane NOR AS og kjøretøyprodusenter i tidsrommet januar til desember 2019. Hensikten med NULLFIB er å oppdatere kunnskapsgrunnlaget for en mulig overgang til andre driftsformer enn fossilbasert diesel for de ikke-elektrifiserte strekningene, og jernbanesektoren generelt. Jernbanedirektoratet er også gjennom tildelingsbrevet 2019 blitt gitt et oppdrag om å utarbeide en vurdering av gjennomførbarhet av et prøveprosjekt med hydrogendrift. Siden dette innholdsmessig er overlappende med NULLFIB, er disse arbeidene koordinert som et prosjekt og leveres samlet.

Prosjektet søker dermed å svare ut følgende spørsmål:

- Hvilke nullutslippsløsninger er vurdert som alternativ til fossilt drivstoff?
- Hvilken nullutslippsløsning gir best økonomisk besparelse?
- Hva er det beste alternativet for videre satsning?

1.1.1 Klimagassutslippene fra transport må ned

Det foreligger strenge forpliktelser knyttet til reduksjon av norske klimagassutslipp på veien mot 2030 og 2050. Norge har påtatt seg en betinget forpliktelse om minst 40 prosent reduksjon av klimagassutslipp i 2030 sammenlignet med 1990 nivå. I tillegg er det et mål om å bli et lavutslippssamfunn i 2050 med 80-95 prosent lavere utslipp enn i 1990. Videre legger Nasjonal Transportplan (NTP) for 2018-2029 til grunn at transportsektoren skal bidra til å redusere klimagassutslippene i tråd med Norges klimamål i klimameldingen (Meld. St. 21 Norsk klimapolitikk) og klimaforliket (Innst. 390 S 2011-2012). Den sittende regjering har i denne sammenheng skjerpet

² Ikke-elektrifiserte banestrekninger: Meråkerbanen, Nordlandsbanen, Rørosbanen, Raumabanen, Solørbanen, Stavne-Leangenbanen og Numedalsbanen. Her benyttes det i dag diesel for å føre togene.

utslippsmålene for ikke-kvotepliktig sektor hvor utslipp fra transport inngår. De skjerpede målene er nå på 45 prosent kutt innen 2030, noe som innebærer at store kutt må skje innenfor transport de neste årene. Det er dermed viktig at jernbanen moderniseres og utvikles i et spor som er forenlig med nasjonale klimapolitiske målsettinger.

1.1.2 Jernbane som en del av løsningen

Som nevnt står transport for om lag 30 prosent av de totale utslippene, og er dermed den største kilden til klimagassutslipp i Norge³. Jernbanens andel av de totale utslippene er imidlertid marginale, med om lag 0.05 prosent relativt til veitrafikk på 17 prosent. Likevel fraktet jernbanen i 2018 nesten 78 millioner passasjerer og over 35 millioner tonn gods, med en samlet vekst på henholdsvis 15 og 12 prosent siden 2013⁴. Den klimapolitiske gevinsten ligger derfor på jernbanens evne til å frakte passasjerer og gods som ellers ville benyttet veitransport. En overføring av transport fra vei til jernbane medfører dermed avgjørende utslippsreduksjoner fra sektoren som helhet. Dette henger sammen med at jernbanen er energieffektiv og en klimagunstig form for transport. Det er derfor av betydning at det tas valg som styrker, fremfor å svekke jernbanens konkurransekraft mot andre transportformer i et konkurranseutsatt og prissensitivt transportmarked. Dette innebærer at jernbanen må være tilstrekkelig rustet for en økning i antall passasjerer og gods i en tid hvor mobilitet stadig mer må innebære nullutslipp.

1.1.3 Målet for prosjektet

Målet for prosjektet er å gi en faglig anbefaling for videre satsning på en nullutslippsløsning som kan erstatte fossilbasert dieselbruk i jernbanen. Det er derfor behov for å oppdatere kunnskapsgrunnlaget på teknologi og driftsformer. Dette vil danne et oppdatert grunnlag for å evaluere tilgjengelige valg som kan erstatte ordinær dieseldrift. NULLFIB-prosjektet vil på bakgrunn av dette anbefale den mest aktuelle nullutslippsløsningen som vil kunne bidra til det overordnede målet om «et transportsystem som er sikkert, fremmer verdiskapning og bidrar til omstilling til lavutslippssamfunnet».

Sluttrapporten bygger på vedlagte delrapporter som er utarbeidet i regi av NULLFIB. Delrapportene går nærmere inn på vesentlige momenter knyttet til hver av de vurderte nullutslippsløsningene (teknologiene). Disse rapportene danner kunnskapsgrunnlaget for å sammenligne ulike alternativer i denne sluttrapporten. Sammenligningen er gjort på bakgrunn av et sett utarbeidede parametere som Jernbanedirektoratet mener er sentrale for å fastslå aktualitet. Dette vil danne utgangspunktet for en konklusjon om konseptvalg og anbefalinger for videre satsning.

1.2 Avgrensning

Jernbanedirektoratet har sett et behov for å avgrense utredningen både i tid, rom og omfang. Det er dermed tatt en beslutning på å utrede teknologienes aktualitet med utgangspunkt i de data som er tilgjengelige i skrivende stund. Nordlandsbanen er valgt som banestrekning for case studie. Nordlandsbanen er den mest utfordrende banestrekningen med henhold til lengde, profil, tunneller og vær, noe som er avgjørende faktorer for gjennomførbarhet. En aktualitetsvurdering på bakgrunn av Nordlandsbanen vil dermed indirekte si mye om mulighetsrommet på de resterende og mindre utfordrende banestrekningene som er aktuelle i denne sammenheng. Resultatet vil med andre ord kartlegge mulighetsrommet for de ulike nullutslippsløsningene når Nordlandsbanen legges til grunn.

De aktuelle alternativene som er vurdert gjennom NULLFIB er: helbatteri, standard kontaktledning (KL), batteridrift med del-elektrifisering, hydrogen, biogass og biodiesel. Disse teknologiene er ansett

³ Miljødirektoratet. 2019. «Klimagassutslipp fra transport». Hentet fra: www.miljostatus.no.

⁴ Statistisk sentralbyrå. 2019. «Jernbanetransport». Hentet fra: www.ssb.no.

som relativt etablerte i forhold til øvrige og mer spesielle varianter som ikke er vurdert. I tillegg er disse teknologiene forsøkt og prøvd ut som energibærere for tog i andre land, noe som vil gi et godt utgangspunkt for estimer og vurderinger knyttet til teknologisk modenhet, kostnad og gjennomførbarhet.

1.3 Disposisjon

Sluttrapporten er strukturert på en måte som ivaretar en logisk og systematisk gjennomgang av NULLFIB-prosjektet.

- Kapittel 2 beskriver de ulike driftsformene som inngår i vurderingen. Her vil det foreligge en beskrivelse av hvert konsept med nødvendig informasjon om teknologisk funksjon og tilgjengelighet i form av modenhet.
- Kapittel 3 presenterer vurderinger som er gjort på bakgrunn av kostnadseffektivitetsanalyse av de utvalgte teknologiene med utgangspunkt i Nordlandsbanen. For å kunne gjøre gode vurderinger av økonomi har Jernbanedirektoratet sett et behov for å skille ut samfunnsøkonomiske vurderinger fra bedriftsøkonomiske forhold for togoperatør i kapittel 3. Dette henger sammen med at lønnsomhet for togoperatørene ansees som avgjørende for gjennomførbarhet og bør dermed skilles ut fra samfunnsøkonomiske vurderinger.
- Kapittel 4 sammenligner de ulike driftsformene på bakgrunn av skåring på utarbeidede parametere som er beskrevet i *Vedlegg A*. Vurderingene i kapittel 4 bygger på den informasjonen som er presentert i de vedlagte delrapportene.
- Kapittel 5 inneholder konklusjoner, anbefalinger og vesentlige forbehold.

Delrapportene tar for seg hver av de vurderte teknologiene og beskriver og vurderer dem i detalj i forhold til egnethet som energibærer i en alternativ driftsform.

- Delrapport 1 tar for seg en økonomisk analyse av de ulike teknologiene i form av en case studie av Nordlandsbanen.
- Delrapport 2 tar for seg teknikk knyttet til bruk av batterier som energibærer i jernbanekjøretøy med utgangspunkt i en case studie av Nordlandsbanen.
- Delrapport 3 tar for seg infrastruktur knyttet til del-elektrifisering og er en case studie av denne teknologien på Nordlandsbanen.
- Delrapport 4 tar for seg teknikk for infrastruktur og kjøretøy knyttet til bruk av hydrogen, biogass og biodiesel som energibærer jernbanekjøretøy og infrastruktur.

2 Aktuelle nullutslippsløsninger

Dette kapittelet inneholder en kortfattet beskrivelse av de alternativene som kan benyttes som energibærere for drift av tog for å erstatte bruk av ordinær diesel. Under følger en presentasjon av hver teknologi som Jernbanedirektoratet har vurdert i NULLFIB prosjektet.

2.1 Standard kontaktledning

Det som kalles for elektrifisert jernbane, eller elektrisk jernbane, er baner som er utstyrt med et kontaktledningsanlegg (KL-anlegg). Et kontaktledningsanlegg er et elektrisk høyspenningsanlegg der strøm forsynes til toget fra en kontaktråd (kobbertråd) som henger over skinnene og returneres til omformer gjennom skinner og returledning. Togene er utstyrt med en strømvtager på taket som sleper langs kontaktråden og lager nødvendig kontakt mellom kjøretøy og KL-anlegg til å få overført energi i form av strøm til å drive kjøretøyet.

Det er ingen lagring av energi i toget, men det er den faste infrastrukturen (KL-anlegget) som kontinuerlig forsyner kjøretøyet med nødvendig energi.

KL systemet er det mest brukte systemet for energiforsyning til jernbanekjøretøy i Norge, og utgjør om lag 66% av det nasjonale jernbanenettet.

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

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

2.2 Helbatteri

Energi til å drive tog kan lagres i et batteri. Et rent batterikonsept (helbatteri) baseres på at driften gjennomføres med energi som er lagret i et batteri som er stort nok til å gjennomføre den planlagte trafikken uten at batteriet lades underveis. Kjøretøyene som benyttes er i prinsippet nesten like som kjøretøyene som benyttes på elektrifisert jernbane, men de forsynes kun med energi fra et batteri som er en del av toget. I stedet for et KL-anlegg langs hele banen, må dette konseptet ha ladestasjoner i endepunktene. Ladingen ved endepunktene vil derfor kreve et opphold inntil batteriet er oppladet. For å redusere ladetiden må det derfor bygges spesielle ladestasjoner med mulighet for hurtigere lading.

Driftsmodeller med helbatteri er kjent for jernbanen, men har imidlertid vært begrenset til kortere strekninger med tilstrekkelig opphold for batterilading på endestasjonene eller skifteoperasjoner. Det er noen utfordringer som knytter seg til drift på lengere strekninger, og trafikk som går mer eller mindre kontinuerlig. For denne type drift (som er aktuelt i Norge) oppstår det utfordringer knyttet til vekt og volum av batteripakkene, ladetid, ladestasjoner, tilgang på kjøretøy og operative utfordringer knyttet til logistikk ved endestasjoner.

Konseptet kommer godt ut økonomisk, men er pr i dag ikke en gjennomførbar og en tilgjengelig løsning for alle deler av trafikken på de «ikke-elektrifiserte» banene. Dette krever for noen trafikkopplegg en batterikonfigurasjon (vekt) som bryter med kravet til akseptabel akselvekt for togsett eller påvirker godsoperatørens mulighet for økonomisk drift. Dette skyldes at konseptet med tillegg av egne batterivogner gir redusert godsmengde. Det kan leses mer om denne teknologien i delrapport 2.

2.3 Batteridrift med del-elektrifisering

Batteridrift med del-elektrifisering er i prinsippet en kombinasjon av elektrifisert jernbane og helbatteri. Kjøretøyene som benyttes er hybride og kan benytte KL-anlegg til fremdrift og ladning under kjøring (ladestrekning) i tillegg til at de kan bruke energi lagret i batteriet til å drive toget på ikke-elektrifiserte strekninger (batteristrekninger).

Konseptet har vesentlig lavere effekt på utfordringene knyttet til høye investerings- og vedlikeholdskostnader på KL sammenlignet med utbygging til hel-elektrifisering. Ved utbygging av KL-anlegg for deler av en banestrekning (ladestrekninger), gir dette betydelige økonomiske besparelser. I tillegg er det svært store forskjeller med utbyggingskostnaden for KL-anlegg på ulike deler av en strekning. Ved å kun montere KL på strekninger uten vanskelige og kostbare deler av infrastrukturen, som for eksempel tunneler og overgangsbruer, oppnås en ytterligere reduksjon på investeringskostnaden.

Ved ikke å lage for lange avstander mellom hver ladestrekning kan man også unngå de kjøretøyrelaterte utfordringene som er knyttet til bruk av batteri på lenger strekninger, eller i trafikkopplegg med tilnærmet kontinuerlig drift.

Et kjøretøy under kjøring kan motta ca. 10 ganger så mye strøm fra KL over strømvaktaken enn ved et kjøretøy som står i ro. Ved utbygging av KL på seksjoner av en banestrekning, vil dette fungere som hurtiglading av batteriet for kjøretøyer i bevegelse. Oppladet batteri vil gi kjøretøyet tilstrekkelig energi for kjøring frem til neste ladestrekning.

Teknologien for idriftsettelse av dette konseptet er relativt moden og tilgangen på kjøretøy og teknologi er relativt god for persontogkjøretøy/togsett og infrastrukturelementer, men umoden når det gjelder løsninger for godstogkjøretøy/lokomotiv.

Kjøretøyproducentenes simuleringer for persontog med batteridrift, bekrefter at batteritog (selv med dagens batteriteknologi) kombinert med del-elektrifisering er gjennomførbar som driftsmodell med de fleste trafikkopplegg. Det kan leses mer om denne teknologien i delrapport 3.

2.4 Hydrogen

Energi til å drive tog kan lagres som hydrogen. Hydrogen fylles på kjøretøyet som trykksatt gass eller som nedkjølt væske, og omsettes til elektrisitet ved hjelp av brenselceller der hydrogen reagerer med luft og danner elektrisk energi, overskuddsvarme og vann. For å få dette til å fungere som et operativt tog må det bygges opp som et standard elektrisk tog, utstyres med et batteri til å forsyne fremdriftssystemet i tillegg til at det er behov for utstyr for å lagre og omsette hydrogen til elektrisitet. Et hydrogentog er i prinsippet et batterielektrisk tog med en hydrogendrevet batterilader.

Det er hovedsakelig tre måter å produsere hydrogen på; (i) reformering av natur eller biogass, (ii) elektrolyse og (iii) produksjon av hydrogen som restprodukt fra andre industrielle prosesser. Det meste av den hydrogen som produseres i dag går til produksjon av ammoniakk, som brukes i kunstgjødselproduksjon. Reformering av naturgass er den dominerende metoden for produksjon på verdensbasis. Denne produksjonsmetoden er dog knyttet til betydelige utslipp av CO₂. Elektrolyse utgjør i dag ca. 2% av verdensproduksjonen av hydrogen, og det meste av dette er produsert ved bruk av ordinær elektrisk kraft.

Det er i dag ikke noen storskala produksjon av hydrogen i Norge, og brukere av flytende hydrogen må få dette tilkjørt fra andre land i Europa. Det har vært et titalls mindre hydrogen fyllestasjoner for vegtrafikk i Norge basert på elektrolyse, men disse er enten nedlagt som følge av dårlig lønnsomhet eller er midlertidig stengt som følge av at stasjonen på Kjørbo i Sandvika eksploderte etter en lekkasje av hydrogengass fra en lagringstank.

Det er pr i dag et operativt prøveprosjekt med hydrogentog i Europa, og det forventes at det skal bli et par prosjekter til i de neste årene. Det er en europeisk produsent som har satset så mye på denne teknologien at det er blitt bygget prototyper. Det er også et par andre kjøretøyleverandører som har utviklet konsepter uten å bygge noe. Teknologien for jernbanekjøretøy er derfor nå kun tilgjengelig i det som må defineres som prototyper.

Teknologien er knyttet til utfordringer relatert til sikkerhet, som knytter seg til hydrogen sine fysiske egenskaper. Det er spesielt tunneler og innelukkede områder som er sikkerhetsmessig utfordrende. Teknologien synes også å ha sikkerhets- og driftsøkonomiske utfordringer. Regelverket for bruk av denne teknologien innen jernbane kan heller ikke anses som ferdig utviklet. Samlet sett vurderes teknologien som umoden i forhold til bruk i norsk jernbane slik det fremgår i dag. Det kan leses mer om denne teknologien i delrapport 4.

2.5 Biogass

Energi til å drive tog kan lagres som biogass. Biogass fylles på kjøretøyet som trykksatt gass eller som nedkjølt væske, og omsettes til mekanisk bevegelse ved hjelp av en forbrenningsmotor. For å få dette til å fungere som et operativt tog må det bygges opp som et standard dieseldrevet tog, der dieselmotor er byttet ut med gassmotor og dieseltanker er byttet ut med gasstanker. Et biogasstog er i prinsippet svært likt et dieseltog, men det er gjort tilpassinger av motor- og tank-systemer.

Biogass produseres ved at avgassene fra forråtning av biologisk materiale samles opp og renses slik at man får tilnærmet ren metan. Biologisk materiale som kan brukes i biogassproduksjon er f.eks. matavfall, slakteavfall, avløpslam og dyregjødsel.

Det var i 2018, 35 produsenter av biogass i Norge med 11 anlegg for oppgradering av biogassen. Biogass har de siste årene fått en kraftig økt bruk, innenfor landtransport, og da særlig relatert til buss og lastebil.

Det er pr i dag et prøveprosjekt med gasstog i Europa. Det er ingen av det europeiske produsentene av jernbanekjøretøy som har uttalt at dette er en teknologi de ønsker å satse på å utvikle.

Teknologien er knyttet til utfordringer relatert til sikkerhet, som betoner seg ved biogassen sine fysiske egenskaper. Det er spesielt tunneler og innelukkede områder som er sikkerhetsmessig utfordrende. Samlet sett vurderes teknologien som umoden i forhold til bruk i norsk jernbane. Det kan leses mer om denne teknologien i delrapport 4.

2.6 Biodiesel

Energi til å drive tog kan lagres som biodiesel. Biodiesel er prinsippet det samme som ordinær diesel, men råmaterialet til biodiesel har et annet opphav enn den ordinære dieselen. Et biodiesel-drevet tog er teknisk tilnærmet likt et dieseltog. Likheten med ordinær diesel gjør at denne energibæreren, teknisk og praktisk, ofte anses som den raskeste og enkleste måten å erstatte bruk av fossil diesel på.

Biodiesel produseres ved utvinning av olje fra oljeholdige planter og annet fett og oljeholdig biologisk materiale. Biodiesel deles ofte inn i grupper ut ifra hvilket råstoff biodieselen er utvunnet fra. Biodiesel produsert av spiselige vegetabiliske oljer som for eksempel rapsolje, solsikkeolje eller palmeolje omtales ofte som førstegenerasjons biodiesel. Biodiesel produsert av ikke spiselige landbruksprodukter og skogbruksrester, ikke-spiselige vegetabiliske oljer, resirkulerte oljer (matolje, stekeolje osv.), avfall (fra f.eks. slakteindustrien) og energivækster (vekster som plantes med intensjon om å bli brukt til energiindustrien) kalles for annengenerasjons biodiesel. Tredjegenerasjons biodiesel produseres fra algebasert råstoff (mikro- og makroalger).

Det er noen etiske dilemmaer knyttet til noen av kildene til produksjon av biodiesel, samt arealbruken. Det er etisk utfordrende at råvarer som kunne vært benyttet til mat, brukes til drivstoff. Det er også

etisk utfordrende at arealer som kunne vært brukt til dyrking av mat benyttes til dyrking av råvarer til drivstoff. Produksjon av palmeolje har i tillegg vært knyttet til uønsket avskoging i sårbare områder.

Første halvår av 2019 utgjorde biodrivstoff 17% av alt drivstoff brukt i vegtrafikk, hvor biodiesel utgjorde om lag 90% av dette. Det er en kraftig økning i bruken av biodiesel og en tendens til at den prosentvise andelen av annengenerasjon biodiesel er kraftig økende. Det meste av biodiesel er importert, men planer for innenlands produksjon finnes, og det er utsikter til at andelen norskprodusert biodiesel kan økes de neste årene.

Alle de europeiske produsentene av jernbanekjøretøy kan i dag tilby kjøretøy som kan benytte biodiesel som energibærer.

Energibæreren er som nevnt knyttet til noen etiske dilemmaer. Teknologien for bruk i jernbane er godt utprøvd og kommersielt tilgjengelig i et modent marked. Teknologien som benyttes for å omsette diesel og biodiesel i jernbanekjøretøy er imidlertid knyttet til høye energikostnader og høye vedlikeholdskostnader. Dette bidrar til å svekke jernbanens konkurransekraft mot andre transportformer. Bruk av biodrivstoff som erstatning for ordinær diesel er gunstig i forhold til klima, men det endrer derimot ikke på de lokale utslippene forbundet med produksjon. Biodrivstoff er også en begrenset ressurs, og det er et spørsmål om det er riktig å benytte denne i en prosess med så lav energituttelse, spesielt når det finnes andre og mer effektive alternativer. Det kan leses mer om denne teknologien i delrapport 4.

3 Vurdering av økonomiske forhold

Dette kapitlet omhandler samfunnsøkonomiske og bedriftsøkonomiske vurderinger som er gjennomført av Jernbanedirektoratet ved NULLFIB. Kapitlet bygger på en egen kostnadseffektivitetsanalyse av å gå over fra dieseldrift til nullutslippsteknologier på Nordlandsbanen (delrapport 1). Kostnadseffektivitetsanalyse er en type samfunnsøkonomisk analyse hvor en vurderer ulike tiltak mot hverandre. Kostnadseffektivitetsanalyse er aktuelt i de tilfeller der nytten av tiltakene er den samme, men kostnaden er ulik. Formålet med analysen er å finne det tiltaket som oppnår nullutslipp på Nordlandsbanen til en lavest mulig kostnad for samfunnet. For å kunne sammenligne de ulike teknologiene på en god måte mener vi det er best å beregne en nåverdi over et likt antall år for de ulike teknologiene, kjent som nåverdimetoden.

Det er imidlertid en generell usikkerhet knyttet til samfunnsøkonomiske beregninger langt frem i tid. Vi mener derimot at tallgrunnlaget i denne sammenheng er tilstrekkelig. Dette baseres på vurderinger av estimat fra fagmiljøer hos Jernbanedirektoratet, Bane NOR AS, Norske Tog AS, CargoNet, og Miljødirektoratet. Estimatenes også basert på vurderinger i fagrapporter fra Norconsult og SINTEF. De kvantitative beregningene vil dermed gi et godt beslutningsgrunnlag basert på den beste foreliggende og tilgjengelige informasjon. I det følgende presenteres resultatene av kostnadseffektivitetsanalysen for henholdsvis samfunnsøkonomiske hensyn og bedriftsøkonomiske hensyn.

3.1 Samfunnsøkonomi

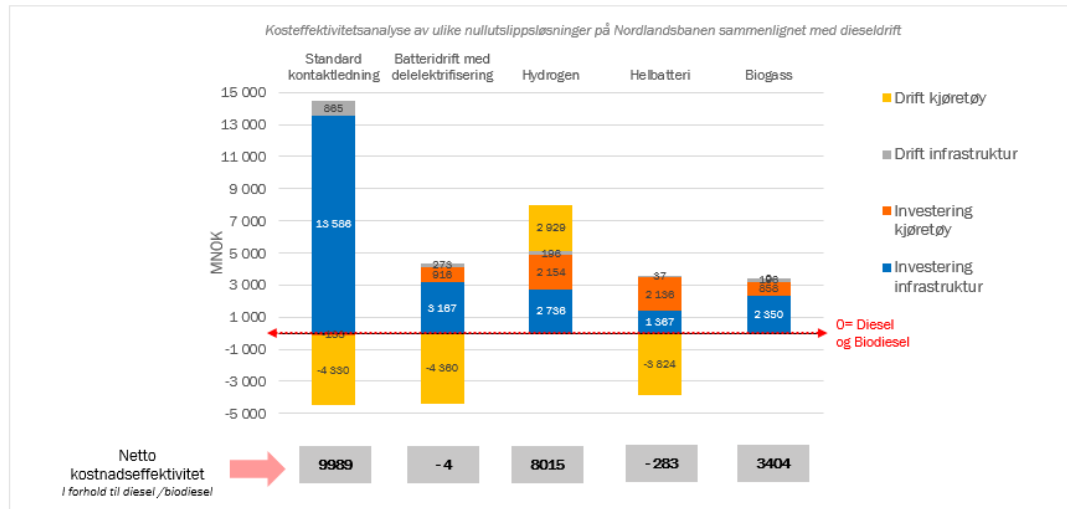
Nordlandsbanen driftes i dag ved hjelp av dieseltog som har store CO₂ utslipp. Disse togene har også høyere driftskostnader enn elektriske tog, både for persontrafikk og godstrafikk. En overgang til bruk av elektriske tog vil derfor både ha en klimagevinst og en gevinst for driftskostnader ved kjøretøyene. Problemene med standard kontaktledning er at investeringskostnadene på jernbaneinfrastrukturen er høy. Jernbanedirektoratet har utredet hva som er mest kostnadseffektivt av følgende nullutslippsteknologier: helbatteri, standard kontaktledning, batteridrift med del-elektrifisering, hydrogen, biodiesel og biogass.

Det fokuseres på følgende endringer i kostnader ved å gå over fra dieseldrift til overnevnte teknologier:

- Investeringer på jernbaneinfrastrukturen
- Investeringer i kjøretøy
- Driftskostnader jernbaneinfrastruktur
- Driftskostnader kjøretøy

Det er summen av disse endringene i kostnader som definerer hvilken teknologi som er mest kostnadseffektiv. For å bestemme lengden i tid hvor nåverdi skal gjelde, benyttes det levetiden på den teknologien som er antatt å vare lengst. Det betyr at standard kontaktledning legges til grunn for å fastslå antall år det skal beregnes over, og tidsgrunnlaget blir dermed 75 år. Vi legger inn reinvestering i infrastruktur for ladeanlegg knyttet til helbatteriløsningen som har en antatt levetid på 40 år. Batterier byttes ut hvert 15. år. Infrastruktur knyttet til tunneler for biogass og hydrogen har en antatt levetid på 30 år. Fyllestasjoner hydrogen og biogass har en antatt levetid på henholdsvis 20 og 30 år. Kjøretøyene skiftes ut etter 30 år i drift. Ved å legge inn slike reinvesteringer får vi sammenlignet de ulike teknologiene i forhold til hvor godt de kommer ut samfunnsøkonomisk. Resultatene fra denne undersøkelsen fremgår i *figur 1* som viser nåverdi i millioner 2019 kroner over 75 år.

Figur 1: Kostnadseffektivitetsanalyse – resultat basisalternativ - Nåverdi 75 år



Tallene ovenfor og under søylene viser nettoeffekten i millioner kroner av å gå over fra dieseldrift til andre teknologier. Dette betyr at tallene betegner summen av pluss- og minusverdier (over og under 0) og gir følgelig den samlede nettoeffekten i millioner kroner for hver driftsform. For eksempel ligger drift kjøretøy for batteridrift med del-elektrifisering under 0 fordi differansen i forhold til diesel er negativ på grunn av billigere drift ved batteridriften i forhold til diesel. Investeringer ligger over 0 på grunn av at det er investeringer på jernbaneinfrastrukturen ved del-elektrifiseringen som det ikke er ved dieseldrift. Summen for denne kostnadsforskjellen i forhold til diesel for alle de fire komponentene vist i figuren gir tallene over og under søylene. For biodiesel er det antatt samme kostnader som ved diesel, og tallene i figuren er dermed en tilsvarende kostnadsforskjell i forhold til biodiesel.

Både helbatteridrift og batteridrift med del-elektrifisering blir mer kostnadseffektivt enn bruk av diesel. Helbatteri gir en estimert kostnadsbesparelse for samfunnet på 283 millioner kroner og batteridrift med del-elektrifisering gir en estimert kostnadsbesparelse for samfunnet på 4 millioner kroner sammenlignet med bruk av diesel. Om batteridrift med del-elektrifisering blir mer kostnadseffektivt enn diesel er svært følsomt for antagelser om vekst i togtrafikk, da forskjellen bare er på 4 millioner kroner. Biodiesel har vi antatt har omtrent lik kostnad som diesel og har verdien 0, det betyr at batteridrift med del-elektrifisering kommer knapt bedre ut enn biodiesel i basisalternativet, samme forskjell som for diesel, det vil si 4 millioner kroner.

I basisalternativet er det lagt til grunn 5% økning i kjørte togkilometer for persontrafikk hvert år frem mot 2030 og ingen vekst deretter. For godstrafikk følger veksten prognoser om transportarbeid forutsatt i utarbeidelse av NTP 2022-33. Det er sett på et alternativ med noe mer vekst enn dette, der batteridrift med del-elektrifisering og helbatteri kommer enda bedre ut.

Helbatteri og batteridrift med del-elektrifisering kommer best ut av alle teknologier som krever investeringer på jernbaneinfrastrukturen. Dette fordi disse teknologiene har mye lavere driftskostnader for kjøretøyene enn for hydrogen, biogass og biodiesel, samt at det ikke er nødvendig med så store investeringer på jernbaneinfrastrukturen som det er med standard kontaktledning hvor det er estimert 14,1 milliarder kroner i investeringer.

Både biogass, hydrogen, batteridrift med del-elektrifisering og helbatteri krever betydelige investeringer på jernbaneinfrastrukturen, men ikke så høye som ved standard kontaktledning. Del-elektrifisering av 217 kilometer som er nødvendig for å kunne kjøre batteritog på Nordlandsbanen

med opplading under kjøring er estimert å koste 3,3 milliarder kroner. Ladeanlegg knyttet til helbatteridrift har en estimert kostnad på 1,1 milliarder kroner.

Biogass og Hydrogen er ikke tilrådelig med hensyn på å innføre mest mulig kostnadseffektiv teknologi. Det er sikkerhetsaspekter ved biogass og hydrogen som også trekker i retning av at disse teknologiene ikke bør tas i bruk på Nordlandsbanen.

Anbefalingen basert på kostnadseffektivitetsanalysen må da være å innføre helbatteridrift eller batteridrift med del-elektrifisering for å erstatte dagens dieseldrift på Nordlandsbanen. Alternativ teknologi som ser ut til å komme omtrent likt ut med diesel er biodiesel. Det er ikke tallfestet eventuelle samfunnsøkonomiske gevinster ved redusert CO₂ utslipp, men det er gjort en sensitivitetsanalyse ved sterk økning i dieselpriiser. Dette vil imidlertid ikke forandre på rangeringen av teknologier, men bare medføre at alle teknologier kan komme bedre ut i forhold til dieseldrift.

Det er gjennomført noen sensitivitetsanalyser av at antall togkilometer for godstrafikk og persontrafikk ikke vokser i fremtiden men holdes på dagens nivå, sterkere vekst i godstrafikk enn i basisalternativet, ingen prisnedgang på batterier og en 40% økning/nedgang i investeringskostnadene samt prisøkning på diesel/biodiesel. Ingen alternativ forandrer på hovedkonklusjonene om valg av teknologi ut fra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Ulike sensitivitetsanalyser kan forandre på rangeringen av helbatteri, batteridrift med del-elektrifisering og biodiesel, men ikke på at de tre teknologiene som kommer best ut er disse tre. Samlet sett kommer helbatteridrift best ut, men i flere sensitivitetsanalyser kommer batteridrift med del-elektrifisering enten omtrent likt ut eller bedre ut enn helbatteri. En sterk vekst i togtrafikken kan for eksempel medføre at batteridrift med deelektrifisering kommer best ut, på grunn av lavere driftskostnader for kjøretøyene. Det er høyere infrastrukturinvesteringer på jernbanen som gjør at batteridrift med deelektrifisering i flest alternativ kommer dårligere ut enn helbatteri.

Det er ikke regnet på gevinster ved reduserte klimautslipp og lokale utslipp, Om dieselavgiften slik den er i dag og i beregningene i fremtiden ikke dekker inn slike samfunnsøkonomiske kostnader, kan det være en gevinst ved nullutslippsteknologi som kommer i tillegg til det vi har beregnet. Men det vil ikke forandre på rangeringen av teknologier. Det vil si at mest kostnadseffektivt for å erstatte dagens forurensende dieselt teknologi er helbatteriløsning, batteridrift med del-elektrifisering eller biodiesel. Sensitivitetsanalysen som innebærer økte priser på diesel, vil imidlertid være en tilsvarende effekt som om dieselavgiften øker. Denne viser at batteridrift med del-elektrifisering og helbatteri vil være klart mer kostnadseffektivt enn diesel. Det betyr at kostnadene ved investeringer på jernbaneinfrastrukturen og i nye kjøretøy ved batteridrift med del-elektrifisering og helbatteri blir tjent inn samfunnsøkonomisk ved billigere drift av kjøretøyene.

3.2 Bedriftsøkonomi

En overgang fra bruk av diesel til teknologier som standard kontaktledning, batteridrift med del-elektrifisering eller helbatteri vil gi seg utslag i at tog som transportform forbedrer sin posisjon i forhold til andre transportformer. Hovedårsaken til dette er lavere driftskostnader for kjøretøyene, noe som kan gi seg utslag i bedre inntjening hos togoperatører og/eller reduserte priser til både godskunder og personer som reiser med tog.

I beregningene i *tabell 1* under, er det lagt til grunn at diesellokomotiv har en driftskostnad på 71,4 kr pr togkilometer mens elektrisk lokomotiv/batterilokomotiv ved del-elektrifisering eller helbatteri har en driftskostnad på 28,4/29 kr pr togkilometer for gods. Tilsvarende tall for persontoglokomotiv er 39,7 kr for diesel og 18,9/19,5 kr for elektrisk/batterilokomotiv.

Tabell 1: Driftskostnader kjøretøy for alle teknologier

	Diesel	Biodiesel	Hydrogen	Biogass	Del-el med batteridrift	Helbatteri	Standard kontaktledning
Driftskostnader kjøretøy gods pr togkilometer	71,4 kr	71,4 kr	89,3 kr	71,4 kr	29,0 kr	33,4 kr	28,4 kr
Driftskostnader kjøretøy person pr togkilometer	39,7 kr	39,7 kr	49,6 kr	39,7 kr	19,5 kr	21,5 kr	18,9 kr

Helbatteridrift har en noe høyere driftskostnad pr togkilometer enn batteridrift med del-elektrifisering for gods med 33,4 kr og tilsvarende 29 kr for batteridrift med deelektrifisering. Dette skyldes at det kreves batterivogner og ekstra kjørte togkilometer på grunn av dette. Det er også flere kostnader ved helbatteridrift som dyrere kjøretøy, en stor mengde batterier og ekstra kostnader ved batterivogner, som gjør at helbatteridrift blir dyrere for operatørene enn batteridrift med del-elektrifisering for både gods og persontog. Nåverdien av investeringer i kjøretøy/batterivogner for gods og persontog er 3,9 milliard kroner for helbatteri og 2,7 milliard kroner for batteridrift med del-elektrifisering. Rent bedriftsøkonomisk er batteridrift med del-elektrifisering bedre enn helbatteridrift.

Batteritog, enten ved del-elektrifisering eller helbatteridrift, vil gi en drastisk nedgang i kostnadene sammenlignet med dagens dieseldrift, noe som gir grunnlag for bedre bedriftsøkonomi både hos togoperatører og godskunder. Toget vil kunne stå sterkere i konkurransen med andre transportmidler og politiske mål om overføring av gods og persontrafikk fra veg til jernbane vil potensielt være enklere å oppfylle.

Godstransport er preget av konkurranse mellom ulike transportformer som for eksempel jernbane og lastebil, og det antas at godsoperatørene vil sette prisene ned når driftskostnadene går så mye ned som ved overgang fra diesel til batteritog eller elektrisk tog. Det antas at ved konkurranseutsetting av persontrafikken vil slike nedganger i driftskostnader medføre både lavere anbud og mindre offentlig kjøp av persontrafikk og bedre bedriftsøkonomi hos operatørene.

Vi har ikke lagt til grunn en økning i dieselpriene som følge av en strengere klimapolitikk. En eventuell sterk økning i dieselpriene vil gjøre fordelene for næringslivet enda større ved overgang til elektriske tog og batteritog. Det vil også kunne være fordeler ved markedsføring at varene som bedriftene produserer blir transportert på en miljøvennlig måte.

3.3 Oppsummering og usikkerhet

Konklusjonen er at helbatteritog eller del-elektrifisering med batteridrift synes å være beste nullutslippsløsning kostnadmessig av de teknologiene som krever investeringer på jernbaneinfrastrukturen. Biodiesel er en god alternativ løsning med omtrent samme totale kostnadsbilde som diesel. Det antas at en reduksjon i driftskostnader for lokomotivene ved overgang til batteri og/eller elektrifisering vil gi seg utslag i nytte for godskunder ved reduserte kostnader til godstransport, og lavere anbud på å kjøre tog på Nordlandsbanen ved konkurranseutsetting av persontogtrafikken

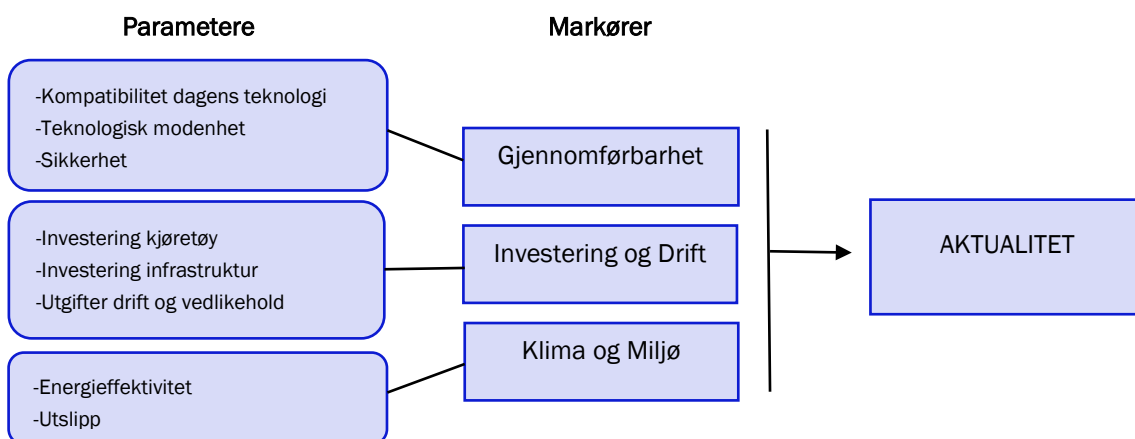
Det foreligger derimot noe usikkerhet i beregningene. Herunder vil prisutvikling på drivstoff, samt usikkerhet i estimat på infrastrukturinvesteringer, ha betydning. Samlet sett, ut fra ovennevnte beregninger med sensitivetsanalyser, virker det likevel robust at helbatteri eller del-elektrifisering med batteridrift er beste løsning, med biodiesel som alternativ. For investeringskostnader er det tallfestet en usikkerhet for elektrifisering og del-elektrifisering på +/- 40%. Vi kan imidlertid ikke på nåværende tidspunkt tallfeste usikkerheten for andre teknologier, dvs eksakt hvor stor variasjon det kan bli i estimatene. Dette må skje i en senere fase i utredningsarbeidet. På grunn av denne

usikkerheten er det noe usikkert om helbatteri er mer kostnadseffektivt enn batteridrift med del-elektrifisering, da anslagene for del-elektrifisering antas som langt sikrere enn helbatteridrift.

4 Skår på viktige vurderingsparametere

Dette kapitlet presenterer sammenligningen av de ulike nullutslippsløsningene med hensikt å vurdere aktualitet. Jernbanedirektoratet mener at «gjennomførbarhet», «investering og drift» og «klima og miljø» er nyttige markører som til sammen vil si noe om aktualitet for de ulike nullutslippsløsningene som vurderes. Under hver markør er det identifisert ulike parametere som gir grunnlag for å sette en samlet skår for å gi et uttrykk for aktualitet i tabell 5. Under følger en figur av hvordan de ulike stegene for aktualitetsvurderingen fremgår i denne sluttrapporten (figur 2).

Figur 2: Grafisk fremstilling av aktualitetsvurderingen



Skåringsangivelsen er gjennomført av fagmiljøet i Jernbanedirektoratet. Det ble først gjennomført et arbeidsmøte for å sammenligne teknologiene og angivelse av skår, etterfulgt av et revisjonsmøte for å kontrollere skårangivelsen. Dette innebærer at skårene som er angitt preges av faglig enighet og er kontrollert i ettertid. Vedlegg A inneholder informasjon om hvordan vurderingen er gjort. Det er benyttet en skala fra 1 til 10, hvor 10 er beste skår. Skår fra 1-2 anses som uakseptabelt og skår fra og med 5 og oppover anses som grunn for anbefaling. For å tydeliggjøre graderinger i skalaen har vi angitt både skår og farge. Dette vil potensielt forebygge for eventuelle misforståelser når resultatene leses. Graderingene er presentert i figur 3 med fire skåringskategorier av skalaen som benyttes.

Figur 3: Graderinger for skalabruk

1-2	3-4	5-7	8-10
1-2	3-4	5-7	8-10

I det følgende presenteres skåringstabeller for de ulike markørene i hvert sitt delkapittel. Avslutningsvis i delkapittel 4.4 presenteres en samlet skåringstabell som oppsummerer og sammenstiller skårene på de tre markørene. Den samlede skåren i tabell 5 betegner gjennomsnittet av skåringen på hver markør, samt laveste skår. Vi isolerer laveste skår for å identifisere problemområder, og legger dermed laveste skår en viss tyngde i vurderingen ettersom det er aktualitet vi svarer ut. Ordinær diesel blir benyttet som referansekategori for alle markører.

4.1 Gjennomførbarhet

Markøren «gjennomførbarhet» består av tre parameterne: (i) kompatibilitet med dagens teknologi, (ii) teknologiske modenhet og (iii) sikkerhet. Disse gir til sammen uttrykk for avgjørende vurderinger knyttet til gjennomførbarhet, både teknisk og sikkerhetsmessig.

Som det fremgår i *tabell 2* er hver parameter for denne markøren delt. Dette henger sammen med et behov for å fange sentrale momenter i vurderingen, og dermed også avgjørende nyanser knyttet til hver parameter. For parameter «kompatibilitet med dagens teknologi» er det stilt to spørsmål for å avgjøre skår. Disse er:

- Kan kjøretøy som benytter ny teknologi benytte dagens infrastruktur uten endringer?
- Kan kjøretøy som benytter ny teknologi brukes samtidig som kjøretøy med dagens teknologi?

For parameter «teknologisk modenhet» er det gjort tilsvarende og spørsmålene som stilles for skåringsvurderingen er:

- Hvordan er tilgangen på jernbanekjøretøy med den nye teknologien?
- Hvordan er tilgangen på teknikk til nødvendig infrastruktur?

For parameter «sikkerhet» inngår følgende to spørsmål i skåringsvurderingen:

- Er sikkerhetsutfordringer knyttet til den nye teknologien løst?
- Er sikkerheten rundt bruk av teknologien tilstrekkelig regulert?

Tabell 2: Skår på markøren Gjennomførbarhet

	Kompatibilitet med dagens teknologi		Teknologisk modenhet		Sikkerhet		Resultat	
	Dagens infrastruktur	Behov for tilpasning	Tilgang teknikk (kj)*	Tilgang teknikk (in)**	Uløste utfordringer	Regulering	Gjennomsnitt	Laveste skår
Helbatteri	7	8	3	4	6	8	6	3
Standard KL	3	8	10	10	10	10	8,5	3
Del-el	6	8	7	7	7	8	7,2	6
H2	1	1	5	1	1	1	1,7	1
Biogass	2	2	2	2	2	5	2,5	2
Biodiesel	9	9	8	9	8	9	8,7	8
Diesel (ref)	10	10	10	10	8	10	9,7	8

* Tilgang på kjøretøyteknikk

** Tilgang på infrastrukturteknikk

Som *tabell 2* viser, kommer referanseteknologi «Diesel» best ut. Dette er for øvrig også logisk ettersom denne teknologien er i kommersiell bruk i dag, og følgelig også svært gjennomførbar. Det samme gjelder for «standard kontaktledning», men denne teknologien skårer dog middels lavt på kompatibilitet med dagens infrastruktur ettersom det kreves store endringer for å kunne bruke elektriske kjøretøy på dagens ikke-elektrifiserte strekninger. «Biodiesel» og «batteridrift med del-

elektrifisering» skårer også svært høyt på gjennomførbarhet, hvor teknologisk modenhet er den parameteren del-elektrifisering taper mest på. Hydrogendrift («H2») skårer derimot lavest på denne markøren. Dette henger sammen med sentrale sikkerhetsutfordringer og store behov for svært krevende tilpasninger av operasjon og eksisterende infrastruktur.

Helbatteri har en lav skår på «tilgang på kjøretøyteknikk». Dette er imidlertid svært avhengig av strekingen og operasjonen som vurderes. Dette betyr at for Nordlandsbanen er denne teknologien ikke gjennomførbar, men for kortere banestrekninger vil det kunne fungere som et alternativ. I tillegg har teknologiutviklingen kommet lengre for persontog enn for godslokomotiv. For persontog er teknologien relativt godt tilgjengelig, mens for godslokomotiv er den enda svært begrenset og ikke tilgjengelig. Samlet sett er derfor denne driftsformen vurdert til skår 3 på denne parameteren.

Det er viktig å understreke at disse vurderingene er gjort på bakgrunn av sammenligninger mellom de ulike nullutslippsløsningene, basert på vurdering av alle operasjoner på det ikke elektrifiserte jernbanenettet. Dersom man vurderer enkeltoperasjoner, kan resultatene slå ulikt ut for enkelte teknologier.

4.2 Investering og drift

Markøren «investering og drift» fanger forhold knyttet til investeringsbehov og driftsutgifter for å ta i bruk de aktuelle teknologiene. Det er i likhet med markøren «gjennomførbarhet» gitt skår med utgangspunkt for å sammenligne teknologiene. Der er ikke Jernbanedirektoratet sin oppgave å fastsette politiske og bedriftsøkonomiske akseptable investeringsnivåer eller driftsutgifter. Dermed er også skåringsvurderingen for hver teknologi i denne markøren basert på sammenligning. Dette innebærer at ved tilfeller hvor det forekommer store forskjeller mellom teknologiene, vil disse dermed trekkes til ytterpunktene av skalaen for å tydelig formidle ulike problemområder og mulighetsrom.

Markøren inneholder tre parametere; (i) kjøretøyinvesteringer, (ii) infrastrukturinvesteringer og (iii) driftsutgifter. Resultatene for skår på denne markøren er oppsummert i *tabell 3*.

Tabell 3: Skår på markøren Investering og Drift

	Investeringer kjøretøy	Investeringer infrastruktur	Utgifter drift og vedlikehold	Gjennomsnitt	Laveste skår
Helbatteri	3	8	8	6,3	3
Standard KL	10	1	10	7	1
Del-el	5	5	9	6,3	5
H2	2	6	3	3,7	3
Biogass	7	7	5	6,3	5
Biodiesel	9	10	6	8,3	6
Diesel (ref)	9	10	7	8,7	7

Biodiesel og ordinær dieseldrift (referanseteknologi) skårer høyest på denne markøren. Dette betyr at disse teknologiene, relativt til de andre, har lave investeringsbehov på kjøretøy og infrastruktur. De skårer imidlertid middels høyt på utgifter knyttet til drift og vedlikehold, hvor de elektriske teknologiene gjennomgående skårer høyt. Som det fremkommer i tabellen har standard kontaktledning og H2 derimot store utfordringer knyttet til investeringer. Kapittel 3 demonstrerte at det er store kostnader forbundet med kjøretøy for H2, og betydelige infrastrukturkostnader ved utbygging av

kontaktledningsnett. Dette resulterer i at teknologiene skårer i det lave ytterpunktet relativt til de andre teknologiene som krever langt mindre investeringer.

4.3 Klima og Miljø

Markøren «klima og miljø» fanger forhold knyttet til energieffektivitet og ulike egenskaper ved utslipp. Energieffektivitet betegner hvor godt teknologien utnytter den tilførte energien. Dette er nøye beskrevet i de ulike delrapportene og vil ikke utdypes ytterligere her hvor fokuset er å sammenligne teknologiene. Det er i likhet med de øvrige markørene forsøkt å rangere teknologiene i skåringsvurderingen. Dette innebærer at selv om alle aktuelle teknologier er å anse som klimavennlige driftsløsninger, så vil teknologier som medfører noe utslipp skåre svært lavt relativt til utslippsfrie teknologier.

Markøren er delt inn i de to parameterne «energieffektivitet» og «utslipp». Det er videre i likhet med markøren «gjennomførbarhet» vært behov for å dele opp hver parameter med noen vurderingskriterier i form av spørsmål for å fange avgjørende nyanser. For parameter «energieffektivitet» er det i denne sammenheng to spørsmål som er vurdert:

- Hvor effektivt utnyttes energikilden i den samlede forsyningskjeden? ⁵
- Hvor effektivt utnyttes energien i selve kjøretøyet?

For parameter «utslipp» er det stilte tre spørsmål for vurderingen av skår. Disse er:

- Er det lokale utslipp knyttet til bruk av teknologien?
- Er det utslipp av klimagasser knyttet til bruk av teknologien?
- Er det utslipp av klimagasser knyttet til investering i og ibrugtagelse av teknologien?

Tabell 4: Skår på markøren Klima og Miljø

	Energieffektivitet		Utslipp			Resultat	
	Forsyningskjeden	Virkningsgrad kjøretøy	Lokale utslipp	Klimautslipp drift	Klimautslipp investering	Gjennomsnitt	Laveste skår
Helbatteri	8	8	10	8	8	8,4	8
Standard KL	10	10	10	10	3	8,6	3
Del-el	9	9	10	9	5	8,4	5
H2	4	6	10	8	7	7	4
Biogass	2	1	2	8	8	4,2	1
Biodiesel	1	2	2	7	9	4,2	1
Diesel (ref)	3	2	1	1	10	3,4	1

⁵ For teknologier som henter energi fra strøm er systemgrensen satt ved strømtilførselen, og for de øvrige teknologiene er systemgrensen satt ved råvarenes energiinnhold.

Alle de elektriske teknologiene (helbatteri, standard kontaktledning og del-elektrifisering med batteridrift) skårer svært høyt på denne markøren. Dette henger sammen med at elektrisk energituttelse er svært effektivt relativt til andre løsninger. Standard kontaktledning skårer imidlertid lavt ved utslipp knyttet til investering og ibrugtagelse. Dette er et resultat av store behov av blant annet stål og betong for utbygging av nødvendig kontaktledningsnett. Behovet for utbygging og investering er også aktuelt for H2, som sammen med relativt lav energieffektivitet skårer middels høyt på denne markøren.

Både biogass, biodiesel og ordinær dieseldrift skårer samlet sett lavt. Dette er gitt ved forhold forklart over, men også på bakgrunn av at det er noe lokale utslipp knyttet til utvinning av biobaserte teknologier. Sammen med lav energituttelse relativt til strømbaserte alternativer, skårer disse løsningene gjennomgående lavt på denne markøren.

4.4 Resultater av vurderingene

Dette delkapittelet har til hensikt å sammenstille teknologienes skår på hver markør. Dette vil danne grunnlaget for å sette en totalskår basert på gjennomsnittet av markørskårene og de laveste skårene. Som nevnt innledningsvis har vi isolert laveste skår slik at denne har tyngde i totalvurderingen. Ettersom vi forsøker å vurdere aktualitet, og dermed også peke på problemområder, ville det danne et uriktig bilde om laveste skår blir utvisket i gjennomsnittsberegningene. Vi har dermed beholdt laveste skår for hver teknologi, og legger denne til grunn for å vurdere totalskår i *tabell 5*.

Tabell 5: Samlet skår på alle markører

	Gjennomførbarhet		Investering og drift		Klima og miljø		Resultat
	Gjennomsnitt	Laveste skår	Gjennomsnitt	Laveste skår	Gjennomsnitt	Laveste skår	Samlet skår
Helbatteri	6	3	6,3	3	8,4	8	5,8
Standard KL	8,5	3	7	1	8,6	3	5,2
Del-el	7,2	6	6,3	5	8,4	5	6,3
H2	1,7	1	3,7	3	7	4	3,4
Biogass	2,5	2	6,3	5	4,2	1	3,5
Biodiesel	8,7	8	8,3	6	4,2	1	6
Diesel (ref)	9,7	8	8,7	7	3,4	1	6,3

Resultatene som er presentert i de øvrige delkapitlene, og i samletabellen over, viser at det er betydelige ulikheter mellom de vurderte teknologienes egenskaper og egnethet. I det følgende vil noen sentrale funn gjennomgås og oppsummeres slik det fremgår i *tabell 5*.

Vurderingene knyttet til gjennomførbarhet tydeliggjør at tre av de vurderte teknologene i praksis ikke er valgbare på det nåværende tidspunkt. Som *tabell 5* illustrerer gjelder dette både biogass, H2 og helbatteri (for godslokomotiv). Dette slår seg gjeldende i alle vurderingene for denne markøren, altså både kompatibilitet, teknologisk modenhet og sikkerhet (se *tabell 2*).

Vurderingen knyttet til investering og drift indikerer at investering i kontaktledning er utfordrende pga. investeringsnivået for infrastrukturiltakene. Dette er for øvrig også laveste skår på denne markøren, noe som tilsier at denne teknologien har vesentlige økonomiske utfordringer.

Vurderinger knyttet til markøren klima og miljø viser tydelig at de biobaserte teknologiene kommer svært dårlig ut relativt til de elektriske løsningene. Samtidig illustrerer dette godt for hvorfor fortsatt bruk av diesel ikke kan anbefales. De elektriske løsningene skårer imidlertid gjennomgående høyt på denne markøren, foruten om KL som har forhold ved seg som tilsier utslipp i investering og ibruktagelse.

Samlet sett er det tydelig ut fra *tabell 5* at del-elektrifisering med batteridrift kommer best ut når vurderinger knyttet til gjennomførbarhet, investering og drift samt klima og miljø er lagt til grunn. Dette er for øvrig også viktige vurderingspunkter som Jernbanedirektoratet ser på som nødvendige for å fastslå aktualitet for alternative nullutslippsløsninger for de ikke-elektrifiserte banestrekningene.

5 Konklusjon

Dette kapittelet har til hensikt å oppsummere, konkludere og anbefale videre satsning på bakgrunn av rammene for NULLFIB. Delkapittel 5.1 oppsummerer sentrale funn med hensikt å presentere de mest aktuelle nullutslippsløsningene på bakgrunn av disse vurderingene i kapittel 3 og 4. Delkapittel 5.2 foreslår en anbefaling for videre satsning og sentrale rolleavklaringer mellom etaten og virkemiddelselskapene. Avslutningsvis i delkapittel 5.3 presenteres viktig informasjon om enkelte forbehold ved resultatene.

5.1 Vurdering og eliminering av tilgjengelige valg

Valg av anbefaling for videre arbeid med implementering av en alternativ energibærer til diesel for de ikke elektrifiserte strekningene, må innebære at alternativet er gjennomførbart for alle de operasjoner som i dag forsynes med energi fra ordinær diesel. I denne sammenheng er det knyttet utfordringer til kompatibilitet med dagens teknologi, teknologisk modenhet og sikkerhet til både hydrogen og biogass som vist i kapittel 4. Økonomiske forhold gjennomgått i kapittel 3 viser også at disse løsningene har høye driftskostnader, noe som medfører at det ikke er grunnlag for å anbefale disse løsningene. Det er imidlertid omfattende grunnforskning som foregår på hydrogen som energibærer for tog. Jernbanedirektoratet vil følge denne innovasjons- og FoU-aktiviteten i de kommende årene, men slik det fremgår i dag, vurderes hydrogendrift som umoden for konkret prøvedrift.

For de elektriske løsningene, er det for konseptet med helbatteri betydelige utfordringer knyttet til tilgangen av kjøretøyteknikk for et stort omfang av operasjoner som i dag kjøres med ordinær diesel. Konseptet ga derimot gode samfunnsøkonomiske og bedriftsøkonomiske resultater, men tilgangen til kjøretøy og generell teknologisk modenhet, spesielt for godslokomotiver, medfører at det ikke er grunnlag for å anbefale videre satsning med denne teknologien.

De resterende løsningene; standard kontaktledning, del-elektrifisering med batteridrift og biodiesel, skåret alle svært godt i totalvurderingen i *tabell 5*. Det er derimot noen sentrale utfordringer som bør belyses.

5.1.1 Standard kontaktledning

Bruk av kontaktledningsanlegg kommer helt tydelig dårlig ut i en samfunnsøkonomisk sammenligning med de øvrige tilgjengelige valgene. De økonomiske beregningene er imidlertid foretatt med utgangspunkt i drift på Nordlandsbanen. Det kan dermed tenke seg at andre kortere baner med mer trafikk vil gi andre resultater, men for Nordlandsbanen er standard kontaktledning et konsept som ikke anbefales videre. Samtidig viser vurderinger i kapittel 4 at det foreligger noen klima- og miljømessige utfordringer knyttet til investering og ibruktagelse av dette konseptet. Samlet sett, på bakgrunn av høye infrastrukturkostnader og miljømessige forhold, besluttet det å ikke anbefale videre satsning på dette konseptet når forholdene veies opp mot andre tilgjengelige valg.

5.1.2 Biodiesel

Biodiesel kommer godt ut av den samfunnsøkonomiske vurderingen for Nordlandsbanen, men har utfordringer knyttet til de bedriftsøkonomiske vurderingene som tilsier at det bør velges et annet alternativ. Andre strekninger kan imidlertid gi andre resultater, og resultatene for biodiesel vil bli bedre jo færre tog som kjører. Dersom Staten har vilje og mulighet til å kompensere operatører for merkostnader på en slik måte at det ikke svekker jernbanenes konkurransekraft mot andre transportformer, kan bruk av biodiesel være et raskt virkende tiltak for å fjerne bruk av ordinær diesel i Jernbanen. Det er imidlertid i kapittel 4 identifisert utfordringer knyttet til biodiesel som relaterer seg til lokale utslipp, driftsutgifter og energieffektivitet. Det er i tillegg i kapittel 2 identifisert etiske utfordringer knyttet til denne energibæreren som tilsier at man bør være forsiktig med å benytte den som noe annet enn et midlertidig tiltak der det ikke finnes gode alternativer.

5.1.3 Del-elektrifisering med batteridrift

Batteridrift med del-elektrifisering har mange gode egenskaper som ble synliggjort i kapittel 3 og 4. Konseptet fikk ingen røde merknader ved skåringsvurderingen, og har svært gode samfunnsøkonomiske og bedriftsøkonomiske forhold ved seg. I tillegg er det en energieffektiv og sikker fremdriftsløsning som krever betydelig mindre infrastrukturiltak enn ordinær elektrifisering. På bakgrunn av økonomiske forhold og vurderinger som er gjort for å sammenligne konseptene, mener vi at del-elektrifisering med batteridrift er det mest hensiktsmessige konseptet for videre satsning.

Det foreligger imidlertid et behov for koordinering, utprøving og vilje fra Staten og jernbanens aktører for å kunne ta i bruk dette konseptet i stor skala. Teknologien er avhengig av at det gjøres tiltak både på infrastruktur og på kjøretøy som begge er koordinerte teknisk og i tid. Driftskonseptet med del-elektrifisering krever modifikasjoner og investeringer i hybride kjøretøy som kan benyttes både for kontaktledning og batteridrift. Disse kjøretøyene gir fleksibilitet, ved at de kan benyttes i hele jernbanenettet. For enkelte kjøretøygrupper, slik som godslokomotiver, må det utvikles egnede kjøretøy som pr i dag ikke er kommersielt tilgjengelige. Det er likevel betydelige reduserte driftsutgifter forbundet med dette konseptet som kan gjøre det til et gunstig valg for operatørene. Dette vil kunne styrke jernbanens konkurransekraft mot andre transportformer, og dermed legge grunnlag for overføring av passasjerer og gods fra vei til bane.

5.2 Anbefalinger

Den faglige vurderingen av nytt kunnskapsgrunnlag er at batteribasert teknologi er mest aktuell for å være en varig løsning som kan erstatte bruken av fossilbasert diesel i jernbanen. For at denne teknologien skal kunne brukes i de fleste operasjoner som i dag benytter fossilbasert diesel, er det nødvendig at bruken av batterier kombineres med et ladesystem som kan lade tog mens de kjører. Dette medfører at en driftsform med batteri i tog kombinert med del-elektrifisering anbefales som hovedløsning for de ikke-elektrifiserte banestrekningene.

Det anbefales at Jernbanedirektoratet tar ansvar for at konseptet som innebærer batteritog kombinert med del-elektrifisering utredes videre, med målsetting om pilot-prosjekter for testing av «batteridrift med del-elektrifisering» innen 2025.

Jernbanedirektoratet tar initiativ i tråd med vår rolle i sektoren som samlende og koordinerende kraft, med alle relevante aktører i sektoren. Konkretisering av dette gjøres ved videreføring av NULLFIB prosjektet som lager forslag til mandat for videre arbeid.

5.3 Forbehold

For at anbefalte tiltak på Nordlandsbanen skal være gjennomførbare og effektive, må det forutsettes at de relevante aktørene har den nødvendige interesse av å gjennomføre endringen. Samtidig er det viktig at tiltakene lar seg finansiere og at de er teknisk gjennomførbare. Arbeidet i NULLFIB og de anbefalingene som er gitt, er utarbeidet for å sannsynliggjøre oppfyllelse av disse kravene. Et pilotprosjekt vil gi ytterligere kunnskap og endelig svar på gjennomførbarheten av konseptet for norske særforhold. Kostnadseffektivitetsanalysen er gjennomført for forhold som gjelder ved Nordlandsbanen. For å kunne konkludere om del-elektrifisering også er den mest lønnsomme for øvrige banestrekninger, må det for disse gjennomføres tilsvarende analyse.

6 Vedlegg

6.1 Vedlegg A: Bakgrunn for skåringsvurdering

Dette vedlegget presenterer hvordan de ulike teknologiene er vurdert opp mot hverandre. Hver markør er presentert med de ulike parameterne som er lagt til grunn for totalvurderingen som vist i tabell 5. Disse var (i) gjennomførbarhet, (ii) investering og drift, og (iii) klima og miljø. Under følger en presentasjon av vurderingskriteriene lagt til grunn.

1) Gjennomførbarhet

For «gjennomførbarhet» inngår tre parametere som til sammen danner totalvurderingen for denne markøren.

Kompatibilitet med dagens teknologi

- Kan kjøretøy som benytter ny teknologi benytte dagens infrastruktur uten endringer?
 - Skår 1-2 settes for teknologier som krever tilpassinger av infrastruktur som vi pr i dag ikke vet om teknisk kan gjennomføres med ønsket resultat.
 - Skår 3-4 settes for teknologier som krever omfattende tiltak for å kunne benyttes på den aktuelle infrastrukturen.
 - Skår 5-7 settes for teknologier som krever moderate tiltak for å kunne benyttes på den aktuelle infrastrukturen.
 - Skår 8-10 settes for teknologier som kun krever små eller ingen tiltak for å kunne benyttes på den aktuelle infrastrukturen.
- Kan kjøretøy som benytter ny teknologi brukes samtidig som kjøretøy med dagens teknologi?
 - Skår 1-2 settes for teknologier som har forhold ved seg som gjør at dagens kjøretøy ikke kan benyttes samtidig som ny teknologi benyttes.
 - Skår 3-4 settes for teknologier der det er usikkerhet knyttet til om noen deler av infrastrukturen kan ha utfordringer knyttet til samtidig bruk.
 - Skår 5-7 settes for teknologier som med overveiende sannsynlighet kan benyttes samtidig med dagens kjøretøy.
 - Skår 8-10 settes for teknologier med sikkerhet kan sies at kan benyttes samtidig som dagens kjøretøy.

Teknologisk modenhet

- Hvordan er tilgangen på jernbanekjøretøy med den nye teknologien?
 - Skår 1-2 settes for teknologier som pr i dag ikke tilbys av noen europeisk kjøretøyleverandør.
 - Skår 3-4 settes for teknologier der det tilbys jernbanekjøretøy som ikke er standardiserte kommersielle produkter, men som må betraktes som prototyper.
 - Skår 5-7 settes for teknologier der det er et begrenset antall tilbydere av standardiserte kommersielt tilgjengelige jernbanekjøretøy.
 - Skår 8-10 settes for teknologier der det finnes mange leverandører av standardiserte kommersielt tilgjengelige jernbanekjøretøy i et modent marked.
- Hvordan er tilgangen på teknikk til nødvendig infrastruktur?
 - Skår 1-2 settes for teknologier der løsninger for nødvendig tilknyttet infrastruktur for bruk av teknologien i jernbane pr i dag ikke tilbys og er kjent.
 - Skår 3-4 settes for teknologier der løsninger for nødvendig tilknyttet infrastruktur er kjent men ikke tilbys som standardiserte produkter for jernbane, men må betraktes som prototyper.
 - Skår 5-7 settes for teknologier der det er et begrenset antall tilbydere av standardiserte kommersielt tilgjengelige løsninger for nødvendig tilknyttet infrastruktur.

- Skår 8-10 settes for teknologier der det finnes mange leverandører av standardiserte kommersielt tilgjengelige løsninger for infrastruktur i et modent marked.

Sikkerhet

- Er sikkerhetsutfordringer knyttet til den nye teknologien løst?
 - Skår 1-2 settes for teknologier som har sikkerhetsutfordringer med storulykkepotensiale som pr i dag ikke er håndtert på en tilfredsstillende måte.
 - Skår 3-4 settes for teknologier som har alvorlige sikkerhetsutfordringer som pr i dag ikke er løst på en tilfredsstillende måte.
 - Skår 5-7 settes for teknologier som har sikkerhetsutfordringer, men der det foreligger tilgjengelige løsninger som med overveiende sannsynlighet vil bidra til at utfordringene blir løst på en tilfredsstillende måte.
 - Skår 8-10 settes for teknologier der det ikke er identifisert særskilte sikkerhetsutfordringer eller som i sammenligning med dagens teknologi har betydelig reduserte sikkerhetsutfordringer.
- Er sikkerheten rundt bruk av teknologien tilstrekkelig regulert?
 - Skår 1-2 settes for teknologier som pr i dag har viktige sikkerhetsmessige forhold som er uregulerte i forhold til bruk i jernbanen.
 - Skår 3-4 settes for teknologier der forhold av mindre sikkerhetsmessig betydning er uregulerte i forhold til bruk i jernbanen.
 - Skår 5-7 settes for teknologier der det er lite erfaring med om reguleringen sikkerhet knyttet til teknologien fungerer etter hensikten.
 - Skår 8-10 settes for teknologier der det finnes velutviklet og velprøvd regulering av sikkerheten.

2) Investering og drift

Det er ikke Jernbanedirektoratet sin oppgave å fastsette akseptable investeringsnivåer eller driftsutgifter, men vi har rangert teknologiene i forhold til hverandre som en indikasjon basert på de fakta som foreligger. Det er for de ulike teknologiene gjort sammenligninger av investeringsnivå og driftsutgifter hvor de er gitt skår i forhold til hverandre med skalaen 1-10 der 1 er den teknologien med høyest investeringsbehov eller de høyeste driftsutgiftene. Teknologier med små forskjeller er gitt skår som ligger etter hverandre, og der det er store forskjeller er skår trukket mot ytterpunktene av skalaen.

De tre parameterne som er vurdert for denne markøren er:

- Kjøretøyinvesteringer
 - Under kjøretøyinvesteringer er kostnadene for anskaffelse av kjøretøy for å skifte driftsform i alle operasjoner innenfor jernbanen fra diesel til den nye teknologien vurdert.
- Infrastrukturinvesteringer
 - Under infrastrukturinvesteringer er alle nødvendige investeringer for å ta i bruk den nye teknologien i verksteder, energiforsyning og tiltak langs eksisterende jernbaneinfrastruktur på de ikke elektrifiserte strekningene vurdert.
- Driftsutgifter
 - Under driftsutgifter er operatørs driftsutgifter med drift basert på de ulike energibærerne vurdert.

3) Klima og Miljø

Denne markøren består av parameterne (i) energieffektivitet og (ii) utslipp. Hver parameter tar for seg ulike sider ved sitt segment som Jernbanedirektoratet anser som viktige i denne sammenheng.

Energieffektivitet

Det er for de ulike teknologiene gjort sammenligninger av energieffektivitet. De er gitt skår i forhold til hverandre med skalaen 1-10 der 1 er den teknologien med lavest utnyttelse av den tilførte energien. Teknologier med små forskjeller er gitt skår som ligger etter hverandre, og der det er store forskjeller er skår trukket mot ytterpunktene av skalaen.

Vurderingene som er gjort er:

- Hvor effektivt utnyttes energikilden i den samlede forsyningskjeden?
- Hvor effektivt utnyttes energien i selve kjøretøyet?

Utslipp

- Er det lokale utslipp knyttet til bruk av teknologien?
 - Skår 1-2 settes for teknologier som har tilnærmet like store lokale utslipp som dagens teknologi.
 - Skår 3-4 settes for teknologier som har mindre lokale utslipp enn dagens teknologi.
 - Skår 5-7 settes for teknologier som har betydelig mindre lokale utslipp enn dagens teknologi.
 - Skår 8-10 settes for teknologier som ikke knyttes til lokale utslipp ved bruk.
- Er det utslipp av klimagasser knyttet til bruk av teknologien?
 - Skår 1-2 settes for teknologier som har tilnærmet like store klimagassutslipp som dagens teknologi.
 - Skår 3-4 settes for teknologier som har mindre klimagassutslipp enn dagens teknologi.
 - Skår 5-7 settes for teknologier som har betydelig mindre klimagassutslipp enn dagens teknologi.
 - Skår 8-10 settes for teknologier som har marginale eller ingen klimagassutslipp ved bruk.
- Er det utslipp av klimagasser knyttet til investering i og ibrugtagelse av teknologien?
 - Det er for de ulike teknologiene gjort sammenligninger av utslipp. De er gitt skår i forhold til hverandre med skalaen 1-10 der 1 er den teknologien med størst utslipp. Teknologier med små forskjeller er gitt skår som ligger etter hverandre, og der det er store forskjeller er skår trukket mot ytterpunktene av skalaen.

6.2 Vedlegg B: Oversikt over tilhørende delrapporter

Alle vedlegg finnes [her](#).

- Vedlegg 1** **Delrapport 1: Kostnadseffektivitetsanalyse av å innføre nullutslippsteknologi på Nordlandsbanen.**
- Rapporten utrede hva som er mest kostnadseffektivt av nullutslippsteknologier (biodiesel, standard kontaktledning, batteridrift med del-elektrifisering, helbatteri, hydrogen og biogass) på Nordlandsbanen.*
- Vedlegg 2** **Delrapport 2: Batteritog.**
- Rapporten skal gi kunnskapsgrunnlag om bruk av batteri som energibærer i jernbanen. Rapporten har tre vedlegg:*
- Vedlegg A: Casestudien Nordlandsbanen, som er en studie av muligheten for batteritog på strekningen.*
- Vedlegg B: Batteriteknologi, som studerer nå-situasjonen og fremtidig batteriteknologi for jernbanekjøretøy.*
- Vedlegg C: Arbeidsmaskiner, som omhandler energiforbruk og mulig batteridrift.*
- Vedlegg 3** **Delrapport 3: Del-elektrifisering/Infrastrukturtiltak.**
- Rapporten inneholder et løsningsforslag for del-elektrifisering av Nordlandsbanen. Forslaget viser hvordan kostnader er beregnet for del-elektrifisering og helelektrifisering. Rapporten viser energiinnhold i batteriet på strekningen, den beskriver nettilknytning og teknologi for matestasjoner.*
- Vedlegg 4** **Delrapport 4: Hydrogen, biogass og biodiesel.**
- Rapporten skal gi kunnskapsgrunnlag om bruk av hydrogen, biogass og biodiesel som energibærer i jernbanen.*
- Vedlegg 5** **Prøvedrift med hydrogentog.**
- Rapporten gir en vurdering av gjennomførbarhet, kostnader og nytte for et prøveprosjekt med hydrogen som energibærer.*
- Vedlegg 6** **Analyse av alternative driftsformer for ikke-elektrifiserte baner (SINTEF 2019:00997).**
- Rapporten er en revidert utgave av en rapport som opprinnelige ble skrevet for Jernbaneverket i 2015.*
- Vedlegg 7** **Utredning Del-elektrifisering av Nordlandsbanen (Norconsult AS).**
- Rapporten gir vurderinger knyttet til del-elektrifisering med batteridrift kontra helelektrifisering, samt vurderinger rundt valg av omformerteknologi.*