Forvarming av passasjertog er etter jernbaneforskriften en tilleggstjeneste som infrastrukturforvalter kan tilby jernbaneforetakene. Strømforsyning til hensatte kjøretøy kan skje fra kontaktledning via strømavtaker eller fra togvarmeanlegg via egen togvarmestikkontakt.

Hensikten med dette arbeidet har vært å fastsette et regime for hensetting av kjøretøy med tanke på strømforsyning, mer spesifikt å besvare følgende spørsmål: Hvordan skal hensatte kjøretøy forsynes med elektrisk energi, det vil si via strømavtaker eller togvarmepost? Fase 1 av arbeidet omfatter juss, teknikk og sikkerhet mens fase 2 av arbeidet omfatter økonomi og strategi. Dette dokumentet rapporterer fase 2.

En kostnadseffektiv og operativ jernbane krever koordinering mellom kjøretøy og infrastruktur. Rapporten klarlegger derfor føringer, behov, praksis og muligheter for både hensettingsplasser og togsett. Disse er brukt som underlag for en kvalitativ analyse av de ulike forsyningsløsningene og en analyse av typiske livsløpskostnader relevante for problemstillingen.

Analysene viser at for elektriske motorvognsett er forsyning fra kontaktledningen via strømavtaker å foretrekke. Det er den vanligste forsyningsmetoden og også den med klart lavest livsløpskostnader. Forsyning fra togvarmepost har høyere både investeringskostnader og driftskostnader, hvorav jernbaneforetakenes betjeningskostnader dominerer. En vesentlig usikkerhet i analysen er fremdeles hvor stor ulempe forsyning via kontaktledningen medfører for banestrekningen utenfor hensettingsområdet. Sikker forsyning til hensatte kjøretøy reduserer mulighetene for frakopling av kontaktledningen på grunn av aktiviteter i eller nær ved sporet. Det har ikke vært mulig å kvantifisere disse ulempene.

Basert på vurdering av underlaget og analysene anbefales følgende strategi:

- Strømforsyning til hensatte kjøretøy med strømavtaker skal være fra kontaktledning. Eksisterende togvarmeanlegg kan benyttes som reserveforsyning hvis hensiktsmessig.
- Strømforsyning til hensatte kjøretøy som ikke kan motta forsyning via strømavtaker kan være fra togvarmepost der dette tilbys.
- Prøvespenning i verksteder tilpasses fremtidige kjøretøy med 3x400 V 50 Hz.

Avgifter og vilkår for tilleggstjenesten må gjennomgås og oppdateres.

000	Utarbeidet	20.09.19	SD	TELTOR	TARISA
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av

Kontaktledning/Lavspenning/Banestrømforsyning **Hele jernbanenettet** **Strømforsyning til hensatte kjøretøy** **Fase 2: Økonomi og strategi** **Rapport/Protokoll**	Ant. sider **57**	Fritekst 1d	
		Fritekst 2d	
		Fritekst 3d	
	Produsent	Teknisk Avdeling	
	Prod. dok. nr.		
	Erstatning for		
	Erstattet av		
BANE NOR	Dokument nr. **EH-012458-002**		Rev. **000**

1 INNLEDNING 4

1.1 BAKGRUNN 4
1.2 HENSIKT 4
1.3 OMFANG 5
1.4 METODE 5
1.5 FORUTSETNINGER 5
1.6 DEFINISJONER 5
1.7 ARBEIDSGRUPPE OG BIDRAGSYTERE 5

2 UNDERLAG 7

2.1 FØRINGER 7
2.2 BEHOV 7
2.3 PRAKSIS 8
2.4 MULIGHETER 8

3 ANALYSE 9

3.1 MÅL OG KRAV 9
3.2 PRINSIPIELL ANALYSE 9
3.3 ANALYSE AV FORSYNINGSSIKKERHET 11
3.3.1 16 2/3 Hz 11
3.3.2 50 Hz 12
3.4 ANALYSE AV LEVETIDSKOSTNADER 12
3.4.1 Premisser 12
3.4.2 Resultat 13
3.4.3 Usikkerheter/følsomheter 13
3.4.4 Differensiering av systemløsning 15
3.5 AVGIFTER FOR TILLEGGSTJENESTEN FORVARMING AV PASSASJERTOG 16
3.5.1 Bruk av strømforsyningsutstyr for forvarming av passasjertog 16
3.5.2 Tap i strømforsyningsutstyr for forvarming av passasjertog 18
3.5.3 Håndtering av forsyningssikkerhet 18

4 VURDERING OG KONKLUSJON 19

4.1 VURDERING 19
4.1.1 Mulige strategier 19
4.1.2 Kvalitativ vurdering av strategiene 19
4.1.3 Jernbanesektorens vurdering 21
4.2 ANBEFALING TIL STRATEGISK BESLUTNING 21
4.3 ANDRE ANBEFALINGER 22

5 REFERANSER 24

6 VEDLEGGSLISTE 26

7 VEDLEGG 1 FØRINGER, PRAKSIS, BEHOV OG MULIGHETER 27

7.1 TJENESTEN FORVARMING AV PASSASJERTOG 27
7.2 STRØMFORSYNINGSMETODER 27
7.3 BEHOV FOR STRØMFORSYNING 29
7.4 FORUTSETNINGER FOR BRUK AV STRØMFORSYNINGSMETODER 30
7.5 MATERIELLBEHOV OG UTVIKLING 31
7.6 HENSETTINGSBEHOV 31
7.7 JERNBANEINFRASTRUKTURENS BEHOV 33
7.8 FØRINGER I BANE NOR 33
7.9 PRAKSIS I NORGE I DAG 33
7.10 PRAKSIS OG STRATEGIER ANDRE STEDER 34
7.11 MULIGHETER 34
7.11.1 Reservekapasitet i banestrømforsyningen 34
7.11.2 Fremtidig banestrømforsyning 35
7.11.3 Banestrømomformere med batterimating 35
7.11.4 Del-elektriske kjøretøy 35

7.11.5 Energy management ... 35
7.11.6 Bruk av 25 kV 50 Hz ... 35
7.11.7 Mulige tiltak mot frakobling av kontaktledningen ... 36
7.11.7.1 Koordinering av frakoblingsbehov og hensetting ... 36
7.11.7.2 Togvarmepost 50 Hz (system 2 og 3) ... 36
7.11.7.3 Hensetting uten strømforsyning (system 4) ... 36
7.11.7.4 Forbimating av frakobling ... 36
7.11.7.5 Lokal mating av hensettingsområdet ... 36
7.11.7.6 Utkjøp av tog ... 36
7.11.7.7 Dieselaggregat ... 36
7.11.7.8 Elektrifisering av hensettingsområder med 25 kV 50 Hz ... 37
7.11.7.9 Redusert frakopling pga. omorganisering ... 37
7.12 HVORDAN PÅVIRKER STRØMFORSYNINGSLØSNINGENE OPERATIV DRIFT? ... 37
7.12.1 System 1 Kontaktledning ... 37
7.12.2 System 2 Togvarmepost 1000 V ... 38
7.12.3 System 3 Togvarmepost 400 V ... 38
7.12.4 System 4 Uten strømforsyning ... 38

8 VEDLEGG 2 VURDERING AV FORSYNING TIL HENSETTINGSOMRÅDER ... 40

8.1 16 2/3 HZ FORSYNING ... 41
8.2 50 HZ FORSYNING ... 43
8.3 OVERSIKT OVER VURDERINGER ... 45

9 VEDLEGG 3 VURDERING AV LIVSLØPSKOSTNADER ... 46

9.1 GENERELT ... 46
9.2 STRØMFORSYNINGSUTSTYR TIL TOGVARME ... 46
9.2.1 System 1 ... 46
9.2.1.1 Felles ... 46
9.2.1.2 System 1b 50 Hz ... 47
9.2.2 System 2 og 3 ... 48
9.2.2.1 Felles ... 48
9.2.2.2 System 2 1000 V 16 2/3 Hz ... 49
9.2.2.3 System 2 1000 V 50 Hz ... 49
9.2.2.4 System 3 400 V 50 Hz 125 A ... 49
9.2.2.5 System 3 400 V 50 Hz 600 A ... 49
9.2.3 System 4 ... 50
9.3 STRØMFORSYNINGSUTSTYR KONTAKTLEDNINGSANLEGG ... 50
9.4 KJØRETØY ... 50
9.4.1 System 1 ... 50
9.4.2 System 2 ... 51
9.4.3 System 3 ... 51
9.4.4 System 4 ... 52
9.5 ENERGI ... 52
9.5.1 Forbruk ... 52
9.5.1.1 Effektforbruk ... 52
9.5.1.2 Brukstid ... 52
9.5.1.3 Tap ... 53
9.5.1.4 Effektfaktor ... 53
9.5.2 Kraftkostnader ... 54
9.5.2.1 Kraftpris ... 54
9.5.2.2 Administrasjonskostnad ... 54
9.5.3 Nettkostnader ... 54
9.5.3.1 Ekstern nettleie omformerstasjoner ... 54
9.5.3.2 Ekstern nettleie togvarmeanlegg ... 54
9.5.3.3 Tap i kontaktlednings-, matestasjons- og fjernledningsanlegg ... 54
9.5.3.4 Tap togvarmeanlegg ... 55
9.5.3.5 Administrasjonskostnad ... 55
9.6 SAMMENSTILLING ... 55

1 INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Et bedre togtilbud krever flere kjøretøy (togsett), og disse må hensettes («parkeres») når de ikke er i trafikk. Bane NOR planlegger å etablere flere hensettingsområder, spesielt i Østlandsområdet. I tillegg hensettes andre typer kjøretøy, for eksempel godslokomotiver og arbeidsmaskiner.

Hensatte kjøretøy trenger elektrisk energiforsyning til driftsklargjøring og temperaturregulering. Den elektriske energien kan forsynes på prinsipielt to måter, via

1. kjøretøyenes eksisterende strømavtaker fra kontaktledningen over sporet
2. lavspent togvarmekontakt fra stasjonær togvarmepost ved sporet

Forsyning fra stasjonær togvarmepost er oppfattet som kostbar siden det kreves tiltak i både infrastruktur og kjøretøy. Hensetting under og forsyning fra kontaktledning har ført til ulykker ved at uvedkommende tredjepart har klatret på kjøretøyet og kommet for nær den spenningssatte kontaktledningen. Slik forsyning begrenser også mulighetene for frakobling av kontaktledningen og dermed vedlikehold av banestrekningene. Dette har ført til diskusjoner i Bane NOR om hvilket forsyningssystem som er mest hensiktsmessig.

Fase 1 av arbeidet med strømforsyning til hensatte kjøretøy (1) utredet og avklarte juridiske, tekniske og elsikkerhetsmessige forhold ved de ulike forsyningsmetodene angitt i europeisk samtrafikkregelverk. Alle metodene er sikkerhetsmessig og teknisk akseptable, men det gjenstår en uønsket økonomisk risiko knyttet til strategisk valg av standard forsyningsmetode i Bane NOR som hensyntar kundenes operative behov.

1.2 Hensikt

Hensikten med dette arbeidet er å fastsette regime for hensetting av kjøretøy med tanke på strømforsyning, mer spesifikt forsøke å besvare følgende tre spørsmål:

1. Hvordan skal hensatte kjøretøy forsynes med elektrisk energi, det vil si via strømavtaker eller fra togvarmepost?
2. Hvilke kjøretøy er tillatt å hensette under spenningssatt kontaktledning, uavhengig av om det er forsynt fra denne?
3. Hvilket effektbehov skal forsyningen til hensatte kjøretøy dimensjoneres for?

Punkt 2 og 3 i listen over ble i hovedsak håndtert og svart ut i arbeidets fase 1. Hensikten med herværende del 2 av arbeidet er å foreslå en strategisk beslutning for metode for strømforsyning til hensatte kjøretøy, det vil si punkt 1 over. Konkret innebærer det følgende:

- Forbedre livsløpsanalysen av kostnader for de ulike forsyningsmetodene etablert i fase 1
- Vurdere nærmere hvor aktuell forsyningsmetoden med 400 V trefase industristikk er for fremtiden
- Avklare foretrukken forsyningsmetode internt i Bane NOR og eksternt i jernbanesektoren

- Utarbeide forslag til produkter (priser og vilkår) for tilleggstjenesten «forvarming av passasjertog» som regulert i jernbaneforskriften (2)

1.3 Omfang

Rapporten omfatter strømforsyning til alle typer kjøretøy på hele jernbanenettet, både elektriske, del-elektriske[1] og ikke-elektriske. Det vil si både eksisterende og fremtidige kjøretøy og hensettingsområder. Fokus er på driftspausebasert hensetting. Det vil si at det normalt er kjent når eller under hvilke forutsetninger hensettingen skal opphøre og kjøretøyet skal forlate hensettingssporet. I tillegg omfattes koordinering med strømforsyning til de samme kjøretøyene i verksteder.

1.4 Metode

Ettersom alle forsyningsmetodene synes juridisk, teknisk og sikkerhetsmessig akseptable jf. arbeidet i fase 1, er valg av strømforsyningsmetode(r) i hovedsak et økonomisk optimeringsspørsmål. Optimeringen må omfatte jernbanesektoren som helthet[2] i et livsløpsperspektiv siden strømforsyning til hensatte kjøretøy krever teknisk og operativ koordinering mellom infrastruktur og kjøretøy.

1.5 Forutsetninger

Arbeidet er i skjæringspunktet mellom ikke ferdigstilte fremtidige føringer og behov for å iverksette resultatene på kort sikt. Jernbanedirektoratet gjennomfører i skrivende stund et prosjekt «Strategi for hensetting» der deler av resultatene foreløpig ikke er ferdige. Bane NOR og Norske tog ønsker å vite hvilke tekniske løsninger som skal benyttes på hensettingsområder under planlegging/bygging og på nye kjøretøy under spesifisering/bestilling.

Norske tog opplyser at det er uaktuelt å hensette kjøretøy uten strømforsyning.

Det strategiske arbeidet ser langt frem, typisk situasjon 2035 for å håndtere de store utfordringene med hensetting av mange kjøretøy. På vei dit kan det være mindre kortvarige utfordringer som må identifiserte og løses. Slike kommenteres også i rapporten.

1.6 Definisjoner

Definisjonene i denne rapporten er de samme som i arbeidets fase 1.

1.7 Arbeidsgruppe og bidragsytere

- Bane NOR Infrastruktur Teknisk avdeling Teknologi og regelverk Elkraft: Steinar Danielsen (prosjektledelse og sekretariat), Frank Martinsen og Tore Telstad
- Bane NOR Energi: Dyre Martin Gulbrandsen og Eiril Bjørnstad
- Bane NOR Utbygging: Johan Seljås
- Bane NOR Kunde og trafikk: Gunnar Markussen

[1] Kjøretøy som fungerer som et elektrisk kjøretøy og i tillegg kan kjøre på ikke-elektrifiserte strekninger.

[2] Kostnadene til investering og drift av hensettingsområder domineres av statlig kjøpt persontrafikk og vil derfor i stor grad til slutt tilfalle Jernbanedirektoratet enten gjennom avtaler med jernbaneforetakene eller infrastrukturforvalter (Bane NOR). Unntak er kommersiell persontrafikk og godstrafikk.

- Bane NOR Eiendom: Jan Rune Nordgård
- Bane NOR Infrastruktur Teknisk avdeling Strategisk vedlikehold: Pål Skogan
- Norske tog: Razieh Nejati Fard
- Jernbanedirektoratet: Atle Einarson

Rapporten har vært til høring hos persontrafikkjernbaneforetakene, Jernbanedirektoratet, Norske tog og internt i Bane NOR til områdedirektørene, trafikksjefene og andre relevante enheter.

2 UNDERLAG

Hvordan hensatte kjøretøy skal forsynes med elektrisk energi avhenger av en rekke føringer og behov samt dagens praksis og fremtidige muligheter. Dette kapittelet summerer kort opp underlaget for vurderingene. Mer detaljer og underlag finnes i Vedlegg 1 Føringer, praksis, behov og muligheter.

2.1 Føringer

- Jernbaneforskriften (2) definerer «forvarming av passasjertog» som en tilleggstjeneste som infrastrukturforvalter kan tilby og selv innenfor visse grenser bestemmer vilkår og pris for.
- Tekniske spesifikasjoner for samtrafikkevne underlagt samtrafikkforskriften (3) angir at kjøretøy som skal ha strømforsyning når de er parkert skal være teknisk forenelige med minst ett av følgende strømforsyningssystemer:
    - Strømforsyningens kontaktledning
    - Togvarmepost enfase 1000 V
    - Lokal ekstern hjelpestrømforsyning 400 V 50 Hz trefase
- Den tekniske spesifikasjonen for generisk arkitektur for intern strømforsyning i kjøretøy TS 50534:2010 (9) foreslår intern 400 V 50 Hz trefase forsyning i elektriske motorvognsett og enfase 1000 V til passasjervogner.

2.2 Behov

- Hensatte kjøretøy har behov elektrisk energi til
    - Styring og kontroll av kjøretøyet
    - Nødvendige driftsfunksjoner og servicefunksjoner for kjøretøyet
    - Forberedende passasjerkomfort før trafikk
- Maksimalt effektbehov er i størrelsesorden 50–60 kW/personvogn, men normalt forbruk er imidlertid lavere, typisk 15–25–40 kW, avhengig av utetemperatur og ønsket innetemperatur.
- Kjøretøy har behov for elektrisk energi på verksted for vedlikehold og test av takmontert effektkrevende utstyr.
- Kjøretøy har egen avbruddsfri reservestrømforsyning (batterier) ombord til nødvendig eget forbruk ved kortvarig avbrudd i ekstern strømforsyning.
- Jernbanedirektorates materiallstrategi (4) indentifiserer behov for fremtidig anskaffelses av nye persontogskjøretøy (blant annet nye lokaltog i umiddelbar fremtid). Jernbanedirektoratets hensettingskonsept (5) identifiserer behov for tilhørende hensettingsplasser når kjøretøyene ikke er i trafikk. Det er et behov for å koordinere og spesifisere egenskapene til både kjøretøy og hensettingsplasser med tanke på strømforsyning.
- Infrastrukturforvalter har behov for frakopling av kontaktledningsanlegget i forbindelse med arbeid eller andre aktiviteter i eller nær ved jernbanesporet. Frakoplingene kan være kortvarige og langvarige, planlagte og uforutsette. Det kan redusere forsyningssikkerheten til et hensettingsområde.
- Jernbanesektoren har behov for kostnadseffektive tekniske og operative løsninger. Det innebærer at tekniske løsninger og operative rutiner koordineres mellom infrastruktur og kjøretøy. Jernbanedirektoratet ønsker å anskaffe store serier med kjøretøy og hensettingsområder med lik utrustning for fleksibilitet.
- Behovet for avklaring er størst for elektriske motorvognsett der valgmulighetene er flest og forventet anskaffelsesvolum er desidert størst.

2.3 Praksis

- Norsk praksis er at elektriske motorvognsett noen steder hensettes forsynt fra kontaktledning og andre steder fra togvarmepost. Bane NOR har kun definert bruk av togvarmepost som tilleggstjeneste. Jernbaneforetakene betaler en årlig leie per togvarmepost.
- Ved frakopling av kontaktledningen er det praksis å koordinere eventuelle hensatte kjøretøy forsynt fra kontaktledningen, enten ved nedrigging, flytting eller tilkopling av kjøretøy til togvarmepost, eller ved endret tidspunkt for frakobling. Det praktiseres varslingstid fra infrastrukturforvalter til jernbaneforetak for frakobling av hensettingsområde opp til sju til åtte uker.
- Eksisterende praksis for utforming av togvarmeanlegg og kjøretøy krever ekstra tid for betjening.
- I mange land er praksis at elektriske motorvognsett forsynes fra kontaktledningen, passasjervogner fra togvarmepost og ikke-elektrifiserte motorvognsett forsynes fra lokal ekstern hjelpestrømforsyning.

2.4 Muligheter

- Dette arbeidets fase 1 identifiserer hensiktsmessige egenskaper til kjøretøy og strømforsyningsutstyr, eksempelvis kriterier med tanke på elsikkerhet for kjøretøy som parkeres under spenningssatt kontaktledning og automatisk gjeninnkobling av kjøretøy etter bortfall av forsyningsspenning.
- Banestrømforsyningen har normalt reservekapasitet når behovet for strømforsyning til hensatte kjøretøy er størst.
- Fremtidige kontaktledningsanlegg med autotransformatorsystem eller dobbeltspor kan øke forsyningssikkerheten til hensettingsspor forsynt fra kontaktledningen.
- Batteriløsninger i kjøretøy og infrastruktur kan påvirke behov for strømforsyning, det vil si både behov for lading av kjøretøy og at kjøretøy eller hensettingsområder kan være selvforsynte fra eget batteri.
- Økt fokus på energiøkonomisering kan redusere størrelsen på kjøretøyenes effektbehov.
- Mulighetene for sikker strømforsyning til hensettingsspor fra kontaktledningen og lokal netteier er vurdert i Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder.
- Følgende systemer for strømforsyning til hensatte kjøretøy er mulige
    - System 1 15 kV 16 2/3 Hz eller 25 kV 50 Hz: Strømforsyning fra kontaktledning til kjøretøyets strømavtaker basert på EN 50367 (7) og EN 50388 (8) opp til 1,2/2,0 MW (80 A)
    - System 2 1000 V 50 eller 16 2/3 Hz: Strømforsyning fra togvarmepost til kjøretøyet basert på UIC 552 (9) til 0,63 MW (630 A)
    - System 3 400 V 50 Hz trefase: Strømforsyning fra togvarmepost til kjøretøyet basert på TS/EN 50546 (10)[3] opp til 0,044/0,086/0415 MW (63/125/600 A)
    - System 4: Ingen ekstern strømforsyning: Kjøretøyet kan være helt uten forsyning eller selvforsynt fra energikilder ombord.

[3] TS 50546:2013 har i 2018 vært til revisjon og er foreslått utvidet og oppgradert til EN 50546.

3 ANALYSE

3.1 Mål og krav

Basert på behovene angitt i kapittel 2 og Vedlegg 1 Føringer, praksis, behov og muligheter fremkommer følgende mål/krav[4]:

Kjøretøy:

a) Kjøretøy skal ha strømforsyning for styring og kontroll (via strømavtaker fra kontaktledning) i tilstrekkelig tid for uttak og innsett.
b) Kjøretøy for persontrafikk skal ha strømforsyning for nødvendige driftsfunksjoner som pålitelig frostsikring og eventuell kjøling av matvarer ved hensetting.
c) Kjøretøy for persontrafikk skal ha strømforsyning for nødvendige servicefunksjoner som lys og stikkontakter for rengjøring under hensetting.
d) Kjøretøy for persontrafikk skal ha strømforsyning for komforttilpasning av temperatur i passasjerområder før trafikk med passasjerer.
e) Kjøretøy skal ha strømforsyning til feilsøking på og test av energikrevende teknisk utstyr i verksteder

Jernbaneinfrastruktur:

f) Jernbaneinfrastruktur (både delsystem energi, infrastruktur og annet) skal kunne vedlikeholdes forsvarlig med frakopling av spenningssatt kontaktledning om nødvendig.
g) Jernbaneinfrastruktur (både delsystemene energi, infrastruktur og annet) skal kunne vedlikeholdes med skinnegående kjøretøy tilpasset oppgaven.
h) Omgivelsene rundt infrastrukturen bør hensyntas ved at frakobling av kontaktledningsanlegget er mulig ved ulike aktiviteter nær jernbanen, for eksempel brann, arbeid på bygninger etc.

3.2 Prinsipiell analyse

Det finnes flere ulike strømforsyningsmetoder. Følgende karakteriserer de ulike metodene.

System 1a: Kontaktledning 15 kV 16 2/3 Hz

- Utnytter standard og eksisterende utrustning for kjøretøy med strømavtaker og fungerer uten videre for dobbeltsett
- Utnytter ledig kapasitet i eksisterende banestrømforsyningsanlegg (omformere)
- Mulig konflikt mellom forsyningssikkerhet og tilgang for vedlikehold av banestrekningen
- Kan vanskelig brukes for forsyning til verksteder dersom det kreves tilgang til effektkrevende teknisk utstyr på kjøretøytak

System 1b: Kontaktledning 25 kV 50 Hz

- Utnytter mulig fremtidig praksis/standard for utrustning av kjøretøy med strømavtaker og fungerer uten videre for dobbeltsett

[4] Kravene her er basert på RAM-kravene angitt i arbeidets fase 1 kapittel 2.2.1 med tillegg av behov for prøvespenning i verksteder.

- Forsyningssikkerheten er uavhengig av vedlikehold av banestrekningen
- Utnytter kontaktledningsanlegget, men mulig med noen tilpasninger
- Kan vanskelig brukes for forsyning til verksteder dersom det kreves tilgang til effektkrevende teknisk utstyr på kjøretøytak
- (Systemet er ikke vurdert teknisk slik som de andre systemene i fase 1, spesielt med tanke på depot-problemet og ubalanse)

System 2a: Togvarmepost 1000 V 16 2/3 Hz

- Krever spesialutrusning i kjøretøyene utover standard hyllevare, men nær alle eksisterende norske kjøretøy kan bruke løsningen
- Krever etablering av togvarmeanlegg, men utnytter ledig kapasitet eksisterende i strømforsyningsanlegg (omformere) og kan brukes av passasjervogner
- Mulig konflikt mellom forsyningssikkerhet og tilgang for vedlikehold av banestrekningen
- Krever flere togvarmeposter eller ekstra kabelforbindelse mellom kjøretøy i dobbeltsett
- Kan brukes for forsyning til verksteder dersom det kreves tilgang til effektkrevende teknisk utstyr på kjøretøytak

System 2b: Togvarmepost 1000 V 50Hz

- Krever spesialutrusning i kjøretøyene utover standard hyllevare, men nær alle eksisterende norske kjøretøy har allerede utrustningen
- Krever etablering av togvarmeanlegg med forsyning fra everk, men finnes på en del hensettingsområder allerede og kan brukes av passasjervogner
- Forsyningssikkerheten er uavhengig av vedlikehold av banestrekningen
- Krever flere togvarmeposter eller ekstra kabelforbindelse mellom kjøretøy i dobbeltsett
- Kan brukes for forsyning til verksteder dersom det kreves tilgang til effektkrevende teknisk utstyr på kjøretøytak

System 3a: Togvarmepost 3x400 V 63/125 A

- Ytelsesbegrensning knyttet til selve stikkontakten. En kontakt er sannsynligvis tilstrekkelig for å oppfylle a), b) og e) i 3.1, men ikke c) og d) for togsett mer enn to til tre vogner. Ved større effektbehov er det mulig å benytte to kontakter i parallell.
- Utnytter/tilpasset forventet fremtidig intern strømfordeling i motorvognsett
- Forsyningssikkerheten er uavhengig av vedlikehold av banestrekningen
- Kan brukes for forsyning til verksteder dersom det kreves tilgang til effektkrevende teknisk utstyr på kjøretøytak
- Ikke samme stikk som system 3b 3x400 V 600 A
- 125 A kan være tilstrekkelig for nattlading av batterikjøretøy

System 3b: Togvarmepost 3x400 V 600 A

- Utnytter/tilpasset forventet fremtidig intern strømfordeling i motorvognsett, men løsningen er lite utbredt fordi den er ny
- Forsyningssikkerheten er uavhengig av vedlikehold av banestrekningen
- Krever flere togvarmeposter eller ekstra kabelforbindelse mellom kjøretøy i dobbeltsett

- Kan brukes for forsyning til verksteder dersom det kreves tilgang til effektkrevende teknisk utstyr på kjøretøytak
- Ikke samme stikk som system 3a 3x400 V 63/125 A og synes svært stiv og tung å betjene.

System 4: Ingen ekstern strømforsyning

- Ikke tilstrekkelig for frostsikring, renhold, drift av kjøl/frys mm. av/i kjøretøyet.
- Temperaturregulering er kun mulig etter at kjøretøyet er opprigget og betjent av lokomotivfører, for eksempel under stillstand eller posisjonskjøring (tomtog eller skifting).
- Usikkert om ombordbatterier har tilstrekkelig kapasitet (både en natt av åtte timer til maksimum vinterforbruk på 150 kW og to døgn på årsgjennomsnittlig forbruk på 60 kW vil kreve batterikapasitet på i størrelsesorden 3 MWh som per tilgjengelig informasjon i dag er estimert til en vekt på 40 tonn).

3.3 Analyse av forsyningssikkerhet

3.3.1 16 2/3 Hz

Avbrudd i forsyningen kan oppstå av ulike årsaker og lengder:

- Kortvarige avbrudd kan være planlagte omkoplinger eller uforutsette feil som må håndteres for den umiddelbare driften av jernbanettet
- Langvarige avbrudd kan være planlagte frakoplinger for aktiviteter på eller nær ved spenningsatt kontaktledning eller uforutsette feil og skader på anleggene.

Forsyningssikkerheten til foreslåtte og eksisterende hensettingsområder via kontaktledningen (system 1a og 2a) er analysert kvalitativt i Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder. Manglende forsyning til hensettingsområder kan forventes i følgende tilfeller

- Kun en forsyningsveg til hensettingsområdet (for eksempel ensidig matet gjennom ett spor) som må frakoples (n-0): Det er svært få foreslåtte slike hensettingsområder
- To forsyningsveger til hensettingsområdet som frakobles samtidig: Det er mange slike hensettingsområder. Samtidig frakobling kan skyldes
    - Samtidig feil på begge eller fellesfeil for begge forsyningsvegene: Lite sannsynlig
    - Feil på en av forsyningsvegene samtidig med planlagt frakopling av den andre forsyningsvegen kan føre til at den planlagte aktiviteten må opphøre. Estimert til å maksimalt hende hvert 5. år til en kostnad av NOK 100 000 per tilfelle.
    - Behov for samtidig frakopling av begge forsyningsvegene. I daglig drift koordineres aktiviteter normal slik at problemet ikke oppstår. Problemstillingen er imidlertid reell i forbindelse med totalbrudd som også stopper togtrafikken og gir behov for hensetting (for eksempel arbeidshelg), eller gjentatt langvarig prosjektarbeid som fortrenger frakoblingsmulighet for normale driftsfrakoplinger. Det siste bør kunne koordineres.

Det har i dette arbeidet ikke vært mulig å angi forsyningssikkerheten kvantitativt.

Som reserveløsning for manglende 16 2/3 Hz forsyning kan følgende være aktuelt:

- Nedrigging av kjøretøyene og hensetting uten strømforsyning (system 4). Når det ikke er frostfare, kan konsekvensene for kjøretøyene være små. Eventuelle kjølevarer (matvarer) i kjøretøyene må tas hånd om.
- Tomtogkjøring for å hensette kjøretøyene på et annet hensettingsområde som ikke planlegges frakoblet.
- Bruk av togvarmeanlegg, spesielt eksisterende system 2b, kan være reserve for forsyning fra kontaktledningen der de finnes for kjøretøy som har denne muligheten.
- Reservestrømforsyning fra dieselaggregat som enten mater til kontaktledning på hensettingsområdet eller til 400 V 50 Hz trefase. Førstnevnte kan være en kostbar spesialløsning som Bane NOR kan investere i begrunnet med stor nytte for flere hensettingsområder. Sistnevnte kan leies i det åpne markedet, men krever at kjøretøyene kan motta slik spenning.

Alle reserveløsningene utenom alternativ mating av kontaktledningen krever at jernbaneforetakene varsles slik at de kan tilpasse hensettingen.

NVEs leveringskvalitetsforskrift (23) skiller mellom kortvarige og langvarige avbrudd på tre minutter. EN 50163 Annex C (24) nevner også tre minutter som en type langvarige avbrudd. Tre minutter kan være vær kort tid for å gjennomføre driftskoplinger mm. på en hensiktsmessig måte. De fleste kjøretøy i Norge i dag har automatisk gjeninnkobling etter kortvarig avbrudd og er i mellomtiden selvforsynt fra eget batteri fra en time og oppover i henhold til kartleggingen i fase 1 og kortvarig avbrudd synes mindre kritisk. Et skille mellom kortvarig og langvarig avbrudd rundt 10-15 minutter synes dermed fornuftig.

3.3.2 50 Hz

50 Hz forsyning fra ekstern netteier til system 1b, 2b og 3 har en endelig forsyningssikkerhet der feil og avbrudd reguleres av leveringskvalitetsforskriften (7) og eventuelle private avtaler. Empirisk (12 s. 80) forsyningssikkerhet til jernbaneinstallasjoner var i 2018 0,8 avbrudd per år med en gjennomsnittlig varighet på 56 minutter. Feil og avbrudd håndteres normalt via standardsatser for ikke levert energi (KILE-ordningen).

På elektrifiserte hensettingsområder er system 1 med forsyning via kontaktledningen reserveløsning for ekstern forsyning. Ved eventuelt avbrudd må kjøretøyene rigges opp og eventuell begrensende frakopling av kontaktledningen avsluttes, alternativt at avbruddet aksepteres.

3.4 Analyse av levetidskostnader

3.4.1 Premisser

For hver av de identifiserte strømforsyningsmetodene er det gjennomført en analyse av levetidskostnadene med tanke på strømforsyningsutstyr (både kontaktlednings- og togvarmeanlegg), kjøretøy og energi. Analysen presenteres som kostnader knyttet til ett elektrisk motorvognsett med tilhørende hensettingsspor på 110 m over en periode på 40 år. Underlaget for analysen er nærmere beskrevet i Vedlegg 3 Vurdering av livsløpskostnader og begrenser seg i stor grad til direkte kostnader. Kostnadene er beregnet for et hensettingsområde med seks spor og 12

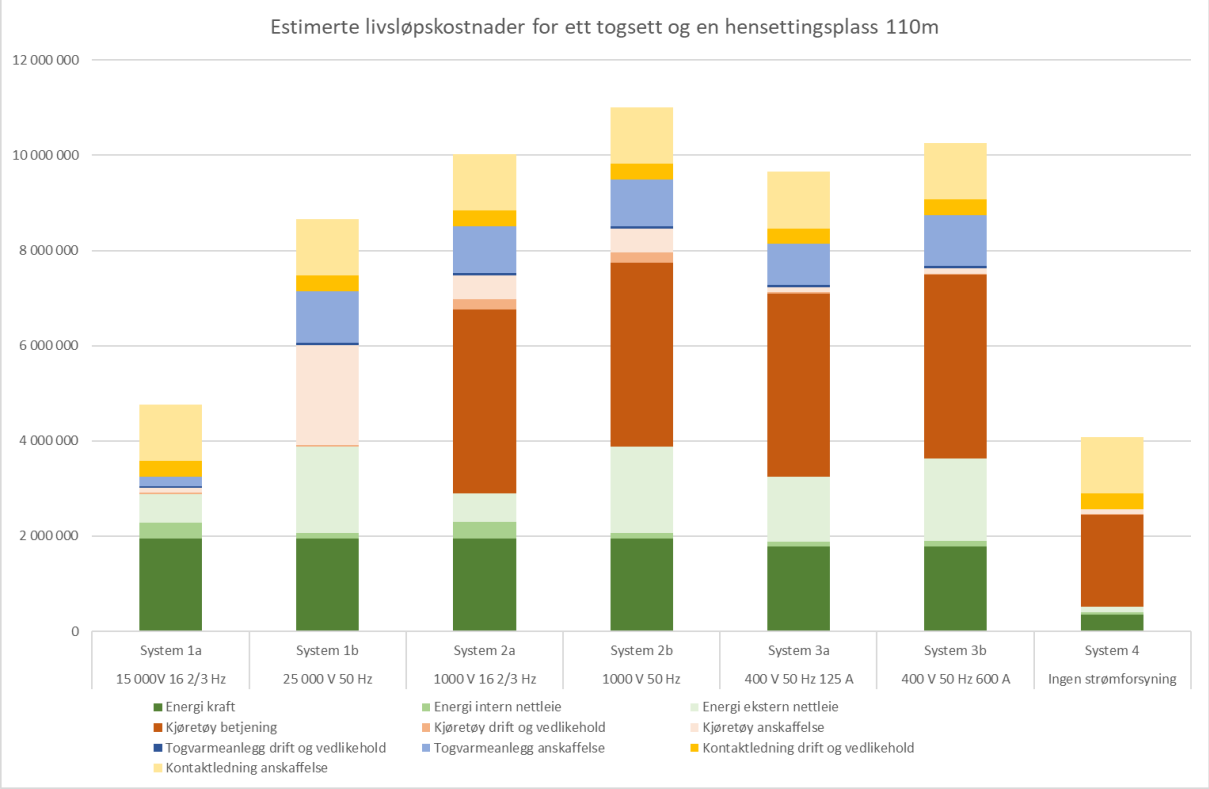
hensettingsplasser, hvorav fire av sporene er tilpasset dobbeltsett med kun en togvarmepost der det er mulig.

3.4.2 Resultat

Figur 7 viser en sammenligning av kostnadene til de ulike strømforsyningssystemene. Energikostnadene som omfatter nett- og kraftkostnader er relativt like for de ulike systemene, men lavest for 16 2/3 Hz-løsningene. Effektleddet i ekstern nettleie på 50 Hz er betydelig. Kostnaden til togvarmeanlegg er relativt lik for de ulike anleggstypene. Togvarmetilkobling for kjøretøyene for system 2 er dyrere enn for system 3. Felles for og dominerende for system 2 og 3 er betjeningskostnadene knyttet til nedrigging/opprigging og tilkobling/frakobling til togvarmepost. I sum gjør dette at system 2 og 3 fremstår nær tre ganger så kostbar som system 1a. System 1b har en estimert kostnad et sted mellom system 1a og system 2 og 3. Løsningen eliminerer sannsynligvis betjeningskostnaden, men må betale for ekstra anleggsmasse og ekstern nettleie slik som system 2 og 3.

Kostnad for system 4 (ingen forsyning) er vist for sammenligningens skyld. Kostnaden er i samme størrelsesorden som kostnaden for system 1.

Dersom kjøretøyene likevel har eget traksjonsbatteri, kan kostnaden til kontaktledningsanlegg ses bort fra.



Figur 1 Sammenligning av livsløpskostnader [NOK] for de ulike strømforsyningssystemene.

3.4.3 Usikkerheter/følsomheter

Det er knyttet følgende usikkerheter til analysen av betydning:

- Metodikken i analysen identifiserer typisk kostnad for en hensettingsplass og ett togsett på et hensettingsområde med tolv hensettingsplasser. Over

halvparten av fremtidige hensettingsområder vil være i størrelsesorden fem til 15 hensettingsplasser. For mindre anlegg vil det være færre hensettingsplasser å fordele felleskostnader på. Dette gjelder spesielt anskaffelseskostnadene for togvarmeanlegg (inklusive system 1a og 2a). Ulempene for banestrekningen ved system 1a og 2a er knyttet til hvert hensettingsområde og ikke hver hensettingsplass. For små hensettingsområder (for eksempel på fjernstrekningene) kan ulempekostnadene derfor være større enn angitt i analysen. Kostnadene for små hensettingsanlegg er derfor følsomme for felleskostnader mens kostnadene for store hensettingsanlegg er følsomme for kostnader for den enkelte hensettingsplass og togsett.

- Det har ikke vært mulig å kvantifisere ulempen manglende mulighet til frakopling av kontaktledningsanlegget fører til for aktiviteter på og nær banestrekningen. Følgende kostnader er medregnet
    - Kostnadene estimert for anbefalte tiltak for å redusere denne ulempen i hele landet i Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder er lagt til grunn.
    - Kostnad for at alle hensettingsområder har to forsyningsveger fra nærmeste banestrekning (seksjonering og kontaktledningsbrytere)
    - Kostnad for avbrutt planlagt arbeid på en forsyningsveg på grunn av feil på alternativ forsyningsveg.

  Forøvrig foreslås at vilkårene for tilleggstjenesten «forvarming av passasjertog» for system 1 oppdateres til at kortvarige frakoplinger er nødvendig og varsles ikke mens langvarige frakoblinger koordineres med hensettingen og varsles i rimelig tid.
- Kostnadene for togvarmanlegg system 2 og 3 er estimert med nedenfra og opp metoden basert på antatte enhetskostnader og er i størrelsesorden 1 MNOK per togsett. Det har resultert i lavere kostnader enn det som fremkommer i fase 1 basert på analytisk og parametrisk estimering (2 MNOK per togvarmepost). Innspill fra flere prosjekter er at kostnadene likevel ligger på 3 MNOK per togvarmepost. Det er derfor mer sannsynlig at estimatet er for lavt enn for høyt.
- Kostnaden for betjening av kjøretøy og togvarmepost er estimert basert på innspill fra flere jernbaneforetak. Noen av disse innspillene er svært høye, opptil en time per togsett per døgn. Det er sannsynlig at jernbaneforetakene estimerer betjeningstiden ut fra erfaring med eksisterende kjøretøy og togvarmeanlegg og ikke fremtidige som foreslått i fase 1. Estimatet legger derfor til grunn det laveste estimatet. Selv ved en halvering av betjeningstidene vil forholdet mellom kostnadene for system 1a og 2/3 fremdeles i størrelsesorden 1 til 2. Ved ytterligere halvering av betjeningstiden ned til 7,5 minutter per togsett per døgn er fremdeles system 2b dobbelt så kostbar som system 1a (kontaktledningsanlegget på hensettingsområdet holdt utenfor).
- For system 4 uten strømforsyning er det ikke tatt med eventuelle kostnader (ulemper) knyttet til at opprigging og klargjøring tar lenger tid og kan resultere i forsinkelser og redusert service (komfort, salg og toalett) og at kjøretøyet ødelegges pga. for lav temperatur.
- Det eksisterer allerede togvarmeanlegg og kjøretøy som kan tilkobles disse i ulike grad. For 2030 vil 60 % av togene uansett ha 1000 V tilkobling og

sannsynligvis 30 % av hensettingsplassene ha 1000 V togvarmepost 50 Hz. Over halvparten av hensettingsområdene vil ha tilstrekkelig redundant mating. Disse reduserte investeringskostnadene har ikke særlig innvirkning på de totale levetidskostnadene som er dominert av årlige kostnader.

- Fremtidig ekstern nettleie er usikker. Det er forventet at den skal øke og det er hensyntatt i estimatet.
- Det er lagt til grunn at kjøretøyene følger etablert eller anbefalt praksis for en del tekniske løsninger. Se foreslåtte tiltak i fase 1. Det innebærer blant annet automatisk gjeninnkopling ved spenningsavbrudd og diodelikeretting av nettstrømretterne for system 1. Denne praksisen er ikke dekket av internasjonale eller nasjonale krav og oppfyllelse er dermed leverandøravhengig.
- Eventuell avhendingskostnad er ikke inkludert i estimeringen. Den vil sannsynligvis være minst for system 1a ettersom dette systemet baserer seg på bruk av en anleggsmasse som likevel må eksistere for togfremføring.

3.4.4 Differensiering av systemløsning

Kostnadsanalysen identifiserer typisk kostnad for en ny hensettingsplass og et nytt kjøretøy under flere forutsetninger, blant annet at alle fremtidige hensettingsplasser og kjøretøy utrustes likt basert på Jernbanedirektoratets ønske (se sjette kulepunkt i 2.2 og 7.6). Vurderingen av usikkerhetene og følsomhetene identifiserer at det kan være forskjell på store og små hensettingsområder. Det kan derfor være interessant undersøke hvorvidt differensiering av systemløsning mellom ulike hensettingsområder kan optimere totalkostnaden. Nytten med tanke på reduserte ulemper for koordinering mot aktiviteter som krever frakopling får en imidlertid først når alle kjøretøy på et hensettingsområde frakoples kontaktledningen.

En kan se for seg å differensiere for å optimere med hensyn på:

- Trafikk (linjer med type kjøretøy): Til tross for ønsket om lik utrustning kan det likevel være naturlig å differensiere på linjer, både på grunn av geografisk distanse og at det faktisk vil benyttes ulike typer kjøretøy. For eksempel skal det mye til å sette et fjerntog fast inn i en lokaltogspendel. Den mest åpenbare differensieringen kan være å benytte system 1a for nye lokaltog tp77 ettersom majoriteten er planlagt på store hensettingsområder som Filipstad og Ski med god forsyningssikkerhet. Det kan også fungere for lokaltogene på Jærbanen hvor forsyningssikkerheten fra kontaktledningen er god.
- Eksisterende anlegg: I dag har i størrelsesorden nær alle kjøretøyene og halvparten av hensettingsplassene mulighet for system 2b 1000 V 50 Hz. I 2030 tilsvarer disse eksisterende anleggene 60 og 30 %. Som daglig hovedløsning vil fremdeles betjeningskostnaden for kjøretøyene dominere. Ulempekostnaden for infrastrukturforvalter må overstige dette for at løsningen velges. Imidlertid kan eksisterende utstyr fungere som en reserveløsning som alternativ til kostbare tiltak i kontaktledningsanlegget som forsyner hensettingsområdet. Det krever at anleggene vedlikeholdes og at jernbaneforetak varsles for omkopling ved frakopling av kontaktledningen. Men det kan være en rimelig midlertidig løsning frem til kontaktledningsanlegget en gang i fremtiden uansett skal fornyes eller oppgraderes og forsyningssikkerheten blir tilfredsstillende.
- Forsyningssikkerhet for kontaktledningsspenning: Forsyningssikkerheten til system 1 varierer mellom de ulike hensettingsområdene. Det er sannsynligvis

et fåtall hensettingsområder hvor koordineringen mellom frakopling og hensetting er et stort problem, og da relativt sjelden. Problemet er sannsynligvis avtakende på grunn av dobbeltsporutbygging og forbedring av banestrømforsyningen inklusive kontaktledningsanleggene. Et tiltak kan være å videreføre eksisterende eller etablere nytt togvarmeanlegg system 2b som langsiktig reserveløsning. Konsekvensen av dette er at alle fremtidige kjøretøy som fast hensettes på disse anleggene må forberedes for ekstern forsyning med system 2b, det vil si reduksjon i ønsket fleksibilitet eller økt investeringskostnad for alle aktuelle kjøretøy. Den kostnaden på i størrelsesorden 0,4 MNOK per togsett må ses opp imot kostnaden for fremtidig oppgradering av kontaktledningsanlegget.

Oppsummer er det vurdert at ut fra ønsket om generiske hensettingsområder er vanskelig å differensiere på de ulike systemløsningene. Det er antatt at problemer med forsyningssikkerheten for system 1 er på sikt vil løses. Inntil da kan eksisterende anlegg for system 2 benyttes som en reserveløsning.

3.5 Avgifter for tilleggstjenesten forvarming av passasjertog

3.5.1 Bruk av strømforsyningsutstyr for forvarming av passasjertog

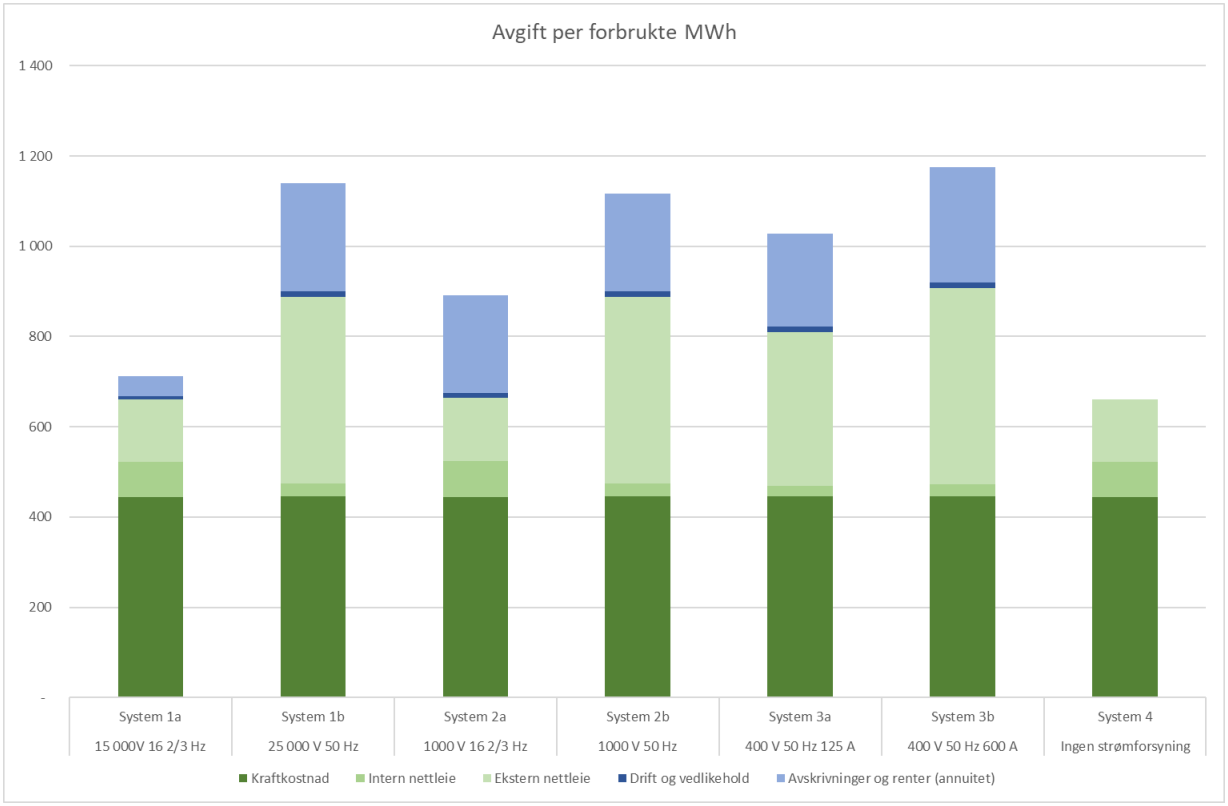
Estimater for årlig avgift per togsett for de ulike produktene (strømforsyningssystemene) er basert på analysen av levetidskostnadene i kapittel 3.4. Det er lagt til grunn avskriving og renter (annuitet, 4 % over 40 år levetid) på anskaffelseskostnaden for strømforsyningsutstyret til forvarming av passasjertog per hensettingsplass og årlig drift og vedlikehold. Kostnad til kontaktledningsanlegget på hensettingsområdet som er felles i alle tilfellene er holdt utenfor.

Resultatene er vist i Tabell 1. Avskriving og renter på anskaffelseskostnaden dominerer selvkosten som for alle systemene utenom 1a (kontaktledning 16 2/3 Hz) er i størrelsesorden 50 000 kr/år. Det er fire ganger selvkosten til forsyning via system 1a.

Tabell 1 Oversikt over årlig selvkost [NOK] med rimelig fortjeneste for bruk av strømforsyningsutstyr per hensettingsplass og spormeter

	System 1a	**System 1b**	**System 2a**	**System 2b**	**System 3a**	**System 3b**	**System 4**
	15 000 V 16 2/3 Hz	**25 000 V 50 Hz**	**1000 V 16 2/3 Hz**	**1000 V 50 Hz**	**400 V 50 Hz 125 A**	**400 V 50 Hz 600 A**	**Ingen strøm-forsyning**
Anskaffelse	198 528	1 091 673	869 176	984 657	859 987	1 066 871	0
Avskrivning og renter	9 645	53 034	42 225	47 835	41 778	51 829	0
Drift og vedlikehold	1 667	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	0
Selvkost per hensettingsplass	**11 311**	**55 534**	**44 725**	**50 335**	**44 278**	**54 329**	**0**
Selvkost per meter	**103**	**505**	**458**	**458**	**403**	**494**	**0**
Selvkost per meter inklusive fastledd og effektledd	**103**	**1 250**	**458**	**1 203**	**950**	**1 212**	**0**

Det kan være interessant å se selvkost per forbrukte MWh energi fordelt på energikostnad (kraftkostnad, intern og ekstern nettleie) sammenstilt med avgift for bruk av strømforsyningsutstyr (drift, vedlikehold, avskriving og renter) for estimatet. Det er vist i Figur 2. Energikostnaden dominerer. Selvkost per forbrukte MWh er avhengig av virkelig energiforbruk og innebærer risiko for både Bane NOR og jernbaneforetakene. Kostnaden knyttet til bruk av strømforsyningsutstyret er i stor grad fast ettersom avskriving og renter dominerer drift og vedlikehold.



Figur 2 Avgift for bruk av strømforsyningsutstyr til forvarming av passasjertog per forbrukte MWh fordelt på fem kostnadselementer.

Bruk av hensettingsplass forøvrig prises i dag med en årlig avgift per meter, eventuelt med et tillegg per time (12). Det er naturlig at bruk av strømforsyningsutstyr for de ulike systemene for forvarming av passasjertog håndteres sammen med hensettingen for øvrig. For system 2 og 3 bør det vurderes hvorvidt også fastledd og effektleddet i ekstern nettleie også bør fordeles slik. Kjøretøyenes lengde reflekterer til en viss grad kjøretøyenes effektbehov og dermed dimensjonering av strømforsyningsutstyret og effektleddet.

Kraftkostnad og energiledd i ekstern nettleie bør imidlertid belastes separat for jernbaneforetakenes insitament til energiøkonomisering og mulig fremtidig fritt valg av kraftleverandør. For system 1 og 4 kan eksisterende energimålerutrustning benyttes. For system 2 og 3 må det etableres energimålerutrustning i togvarmeposten. Ved omfattende bruk, spesielt flere jernbaneforetak på samme post, bør forenklende systemer etableres. En kan for eksempel se for seg samme løsning som ved hurtigladere for elbil ved at registrering av forbruk og styring av spenning av/på i posten gjøres gjennom en app på en håndholdt enhet.

3.5.2 Tap i strømforsyningsutstyr for forvarming av passasjertog

Kjøretøyene genererer overhamoniske strømmer og reaktiv effekt som genererer tap i strømforsyningen. Kostnaden for dette tilleggstapet er avhengig av system og kjøretøy. For 16 2/3 Hz løsningene (1a og 2a) er det lagt til grunn justering av tap i intern overføring og omforming med tanke på reaktiv energi iht. estimert effektfaktor og metodikk i Bane NORs standardvilkår for avregning av 16 2/3 Hz energi. Denne effektfaktoren må legges til grunn også i energiavregningen, enten basert på måling[5] eller estimering av en justeringsfaktor. For 50 Hz forsyning er effektfaktoren ikke hensyntatt i beregningene og kan komme i tillegg avhengig av det enkelte nettselskaps tariffstruktur.

3.5.3 Håndtering av forsyningssikkerhet

Tjenester som Bane NOR selger bør være forutsigbare for jernbaneforetakene og av en tilstrekkelig kvalitet. Forsyningssikkerheten til system 1a kontaktledning 16 2/3 Hz er under Bane NORs kontrollansvar. I estimatene for selvkost til bruk av strømforsyningsutstyr er inkludert noen tiltak for å gjøre forsyningen robust (redundant iht. n-1). Disse tiltakene antas i stor grad å gi tilstrekkelig forsyningssikkerhet. I tillegg tilkommer ikke kvantifiserte ulempekostnader knyttet til koordinering av aktiviteter som krever frakopling av forsyningsvegene til hensettingsområdet. Det er mulig dette kan håndteres som et prosentvis tillegg til hensettingsavgiften.

For å håndtere restrisikoen kan en se for seg følgende:

- Avgift for bruk av strømforsyningsutstyr til forvarming av passasjertog system 1 inkluderer både nødvendige tiltak i anlegg og koordinering av frakopling. Ved manglende forsyning kompenseres jernbaneforetakene for avbruddet etter prinsipper etablert gjennom Bane NORs ytelsesordning eller NVEs KILE-ordning. En ytelsesordning vil skape en forretningsmessig balanse gjennom insentiver.
- I tillegg eksisterer det flere anlegg av system 2b 1000 V 50 Hz som fremdeles kan fungere som reserveløsning. I så fall kan en se for seg at disse stilles til rådighet og at eventuell bruk av disse ved behov dekkes via avgiften knyttet til system 1a på samme måte som de andre reserveløsningene.

[5] Sannsynligvis mulig i nye og fremtidige elektrisitetsmålere i kjøretøyene.

4 VURDERING OG KONKLUSJON

4.1 Vurdering

4.1.1 Mulige strategier

Det finnes tre alternativer for hovedstrategier;

A. **Hovedforsyning fra kontaktledningen (system 1a)** til kjøretøy som har strømavtaker. Dette antas å være tilstrekkelig for elektriske motorvognsett som er majoriteten av kjøretøyflåten. Passasjervogner må fremdeles forsynes fra system 2 togvarmepost 1000 V som kan være 16 2/3 Hz. Tiltak for tilstrekkelig forsyningssikkerhet på enkelte hensettingsområder må utføres ved behov. Type togvarmepost i verksteder må velges mellom system 2 1000 V eller system 3 400 V.
B. **Hovedforsyning fra togvarmepost (system 2 eller 3)** for tilstrekkelig forsyningssikkerhet uavhengig av frakopling på banestrekningen. Type togvarmepost må velges mellom system 2b 1000 V 50 Hz eller system 3 400 V som også benyttes i verksteder. Passasjervogner må fremdeles forsynes fra togvarmepost system 2b 1000 V 50 Hz.
C. **Hovedforsyning fra traksjonsbatteri (system 4)** for tilstrekkelig forsyningssikkerhet uavhengig av frakopling av banestrekningen og redusert omfang av strømforsyningsanlegg (både kontaktledning og togvarmeposter) for fremtidige kjøretøy. Eksisterende kjøretøy må fremdeles forsynes etter strategi A eller B. Type togvarmepost i verksteder må velges.

4.1.2 Kvalitativ vurdering av strategiene

A. **Hovedforsyning fra kontaktledningen (system 1a**) kommer tydelig rimeligst ut i kostnadsanalysen, følger europeisk praksis og utnytter ledig strømforsyningskapasitet i eksisterende anleggsmasse. Det er fremdeles knyttet noe usikkerhet til ulempe for aktiviteter i eller nær sporet som krever frakopling av forsyningen, men vurderingene i Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder indikerer at det sannsynligvis ikke vil være et stort og generelt problem. Ettersom en forsyningssikkerhet via kontaktledningen da vil være tilstrekkelig vil det ikke være behov for togvarmeposter ved hensetting av kjøretøy med egen strømavtaker. Passasjervogner må fremdeles forsynes med togvarmepost system 2, hvorav 2a på 16 2/3 Hz som er marginalt rimeligere enn 2b på 50 Hz kan benyttes. For prøvespenning i verksteder for elektriske og ikke-elektriske motorvognsett bør system 3b 400 V 63/125 A velges. Løsningen er kapasitetsmessig tilstrekkelig, europeisk standard og rimeligst velges. Valg av 1000 V vil redusere samtrafikkevnen. Kostnaden ved å midlertidig ha både system 2 og 3 i verksteder som håndterer både eksisterende og fremtidige kjøretøy vurderes å være mindre enn at alle kjøretøy i fremtiden må spesialbestilles med system 2. 400 V 125 A kan kanskje også benyttes til nattlading av batterikjøretøy eller togvarme med begrenset ytelse. Eksisterende togvarmeposter 1000 V (system 2) kan benyttes som stedlige tiltak for bedre forsyningssikkerhet for eksisterende kjøretøy som er teknisk forenelige, dersom det er kostnadsmessig hensiktsmessig.
B. **Hovedforsyning fra togvarmepost (system 2 eller 3)** vil bare være hensiktsmessig dersom ulempen for aktiviteter i eller nær sporet som krever frakopling av forsyningen er stor eller dersom kostnaden til lokomotivførers

betjening av kjøretøy og togvarmepost kan reduseres vesentlig. Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder indikerer at det kan være ulemper for enkelte hensettingsområder, men at det generelt sannsynligvis ikke er et stort problem. Skifting, tomtogkjøring og opprigging/nedrigging av kjøretøy kan uansett medføre at spenningen på kontaktledningen ikke kan frakoples likevel. Dersom strategien likevel velges, må det velges en løsning som har tilstrekkelig kapasitet, det vil si enten system 2b 1000 V eller system 3b 400 V 600 A. Kostnadsmessig er løsningene relativt like, men 1000 V løsningen er teknisk forenelig med eksisterende kjøretøy og bør derfor velges. 400 V 600 A løsningen er foreløpig kun benyttet i Storbritannia. Løsningen krever 50 Hz forsyning ettersom 16 2/3 Hz forsyningen fra kontaktledningen ikke er tilgjengelig nok. Løsningen kan også brukes til lading av traksjonsbatteri.

C. **Hovedforsyning fra traksjonsbatteri (system 4)** synes foreløpig som for umoden teknologi til å legges generelt til grunn. Sikker forsyning om vinteren vil kreve stor batterikapasitet med det effektbehovet vi ser i dag. Det kan sannsynligvis vanskelig forsvares med hensyn på hensetting alene. For spesielle tilfeller der kjøretøyene likevel vi ha et stort nok traksjonsbatteri kan imidlertid løsningen bli interessant.

Basert på vurderingen over anbefales strategi A med hovedforsyning fra strømavtaker (system 1a). Det representerer en konsekvenstilpasning av eksisterende offisielle strategi (system 2b 1000 V 50 Hz), men en tydeliggjøring og regulering av eksisterende og varierende praksis (også system 1a). System 1a må defineres som et produkt under tilleggstjenesten «forvarming av passasjertog» på lik linje med system 2 og 3 i dag. Det må etableres vilkår og priser.

For tilstrekkelig forsyningssikkerhet er det for flere hensettingsområder behov for tiltak for bedring av forsyningssikkerhet, alternativt reduksjon av ulempene sikker forsyning påfører aktiviteter på banestrekningen som krever frakopling. Selv om gjennomsnittskostnaden er lav og hensyntatt i kostnadsanalysen kan det være enkelte hensettingsområder der tiltakene kan bli kostbare. Disse er identifisert i Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder og kostnaden må forholdsmessig dekkes av hensettingsområdet som selger tilleggstjenesten og banestrekningen forøvrig (som selger tilgangstjenester).

Tilsvarende anbefales en gradvis overgang til forsyning system 3a 400 V 63/125 A for prøvespenning i verksteder. Dette representerer en overgangsperiode for de få[6] verkstedene som allerede er utstyrt med system 2b dersom de skal håndtere flere typer kjøretøy.

Begge anbefalingene er vurdert å følge føringene angitt i 2.1 og oppfylle behovene i 2.2. Videre er det vurdert at analysen av livsløpskostnadene er så robust at den gjenværende økonomiske risikoen er akseptabel. Jernbaneforetakene skal likebehandles.

[6] Kun kjent at verkstedene Sundland og Skien har togvarmeposter for prøvespenning.

4.1.3 Jernbanesektorens vurdering

Persontrafikkjernbaneforetakene i Norge er forelagt problemstillingen i sikkerhets og kvalitetsmøte med Bane NOR. De ble forespurt om foretrukken metode for strømforsyning til hensatte kjøretøy og ga med følgende tilbakemelding:

- Flytoget: Foretrekker forsyning fra kontaktledning.
- Go Ahead: Foretrekker forsyning fra kontaktledning ved korttidshensetting og forsyning fra togvarmepost ved langtidshensetting.
- SJ: Uklart svar, synes åpen på tilpasninger til det enkelte hensettingsområde men støtter at det lages en langsiktig strategi.
- Vy: Foretrekker forsyning fra kontaktledning og ser på togvarmeposter som en reserveløsning om kontaktledningsspenning ikke er tilgjengelig. Oppgir lang betjeningstid, problemer med kjøretøy og fastfrysing av nedsenket strømavtaker som begrunnelse.

Godstrafikkjernbaneforetakene er kontaktet på epost, men ingen har gitt tilbakemelding om foretrukken metode.

Jernbanedirektoratet foretrekker den strømforsyningsmetoden som er mest hensiktsmessig i et operativt og kostnadsmessig perspektiv. Norske tog er opptatt av forenkling og standardisering av kjøretøyene.

Inntrykket internt i Bane NOR er delt. Driftsorganisasjonen synes å foretrekke togvarmeposter for enklere frakoplingsmulighet for kontaktledningen. Enkelte oppgir at denne problemstillingen uansett normalt løses ved koordinering. Den store utfordringen er langvarige brudd der flere banestrekninger stenges samtidig. Ulempen synes svært avhengig av sted og prosjekt. Kvantitativ fremstilling av ulempene har vært vanskelig å fremskaffe. Det samme gjelder forsyningssikkerheten til kontaktledningen. Prosjektorganisasjonene som bygger hensettingsanlegg synes å argumentere for lave kostnader og enkle anlegg, men er mest opptatt av hva som skal bygges avklares prosjektbestillingen og ikke blir opp til prosjektene selv å finne ut av.

4.2 Anbefaling til strategisk beslutning

Forvarming av passasjertog er etter jernbaneforskriften en tilleggstjeneste som infrastrukturforvalter kan tilby jernbaneforetakene. Basert på underlaget, analysene og vurderingene i foregående kapitler anbefales jernbanesektoren i Norge å følge europeisk praksis og foreslått standard for ekstern strømforsyning til hensatte kjøretøy. Det vil si:

- Hovedforsyning på lang sikt skal være fra kontaktledning til kjøretøy som har strømavtaker. Fremtidige investeringer i forsyningssikkerhet banestrømforsyningen og kontaktledningsanlegget skal underbygge denne hovedforsyningen. Eksisterende togvarmeanlegg kan benyttes som reserveforsyning til eksisterende kjøretøy som er forbered for dette dersom dette anses som et hensiktsmessig midlertidig tiltak frem til hovedforsyningen har tilstrekkelig forsyningssikkerhet alene.
- Hovedforsyning til kjøretøy som ikke kan motta forsyning via strømavtaker må være togvarmepost, der hvor Bane NOR har valgt å tilby dette. For passasjervogner skal det etableres togvarmeanlegg 1000 V og det åpnes for

etablering av togvarmeanlegg på 16 2/3 Hz der dette er hensiktsmessig. Andre kjøretøy bør forsynes med togvarmepost 3x400 V 50 Hz.
- Prøvespenning i verksteder skal på lang sikt være 3x400 V 50 Hz. Eksisterende verksteder og kjøretøy som benytter 1000 V beholdes uendret. Nye kjøretøy skal anskaffes for 3x400 V 50 Hz og verkstedene skal tilpasses dette.

Det betyr at:
- Avgifter for tilleggstjenesten «forvarming av passasjertog» må etableres/gjennomgås:
  - Estimatene i dette arbeidet indikerer at det er grunnlag for en avgift også for forsyning via kontaktledningen (system 1a) og at dagens avgifter på togvarmeposter (system 2 og 3) er altfor lave til å dekke avskriving og renter på anskaffelseskostnaden.
  - Avgiftene for tilleggstjenesten bør så langt som rimelig tilpasses avgiftsformatet for hensettingsområdene ellers. Direkte kostnader knyttet til energiforbruk skal fremdeles gi insitament for energiøkonomisering.
  - De faktiske avgiftene må hentes fra regnskapene til Bane NOR på samme måte som avgiftene i tjenestekatalogen ellers. For håndtering av restrisiko med tanke på forsyningssikkerhet kan Bane NOR vurdere en ytelsesordning.
- Vilkår for tilleggstjenesten «forvarming av passasjertog» må etableres/gjennomgås. Nødvendige tekniske og sikkerhetsmessige forutsetninger er etablert i (1). Spesielt for forsyning fra kontaktledning (system 1a) er følgende vilkår nødvendig:
  - Kjøretøy skal oppfylle tekniske og elsikkerhetsmessige krav. Nødvendige tiltak i hensettingsområdet og strømforsyningen til dette for å kompensere manglende tekniske eller elsikkerhetsmessige forhold ved kjøretøyet belastes bruker av tjenesten med mindre forholdet dekkes direkte gjennom Bane NORs avtaler med Jernbanedirektoratet. Eksempler på slike tiltak er forsterkning eller etablering av uavhengig mating fra omformerstasjon, etablering av områdesikring (gjerder etc.) eller vakthold for elsikkerhet.
  - Kortvarige avbrudd (eks. opptil 10-15 minutter) er nødvendig og naturlig for driften av strømforsyningen iht. EN 50163 og varsles ikke
  - Planlagte langvarige avbrudd (eks. over 10-15 minutter) varsles minimum ett døgn på forhånd. Ved identifisert behov for nærmere koordinering varsles frakoplingen opp til to uker på forhånd. Avbruddene bør legges til en årstid der behovet for ekstern strømforsyning til kjøretøyene er begrenset.
  - Ikke-planlagte langvarige avbrudd (eks. over tre minutter) søkes redusert ved omkopling og varsles snarest mulig slik at jernbaneforetaket selv kan foreta nødvendig håndtering av kjøretøyene.

4.3 Andre anbefalinger

Fremtidige kjøretøy med egen strømavtaker bør oppfylle de tekniske og elsikkerhetsmessige kravene for å kunne motta strømforsyning fra kontaktledning for å redusere kostnader til avbøtende tiltak. Andre behov bør meldes inn så tidlig som mulig slik at de kan hensyntas til så lav kostnad som mulig.

Eventuelle kostnader til tilstrekkelig strømforsyning til et hensettingsområde (uansett system) bør inkluderes i hensettingsområdets prosjektkostnad. For togvarmeposter (system 2 og 3) er dette åpenbart, men det er viktig å presisere også for forsyning fra kontaktledningen (system 1a). Tiltak i banestrømforsyningen inklusive kontaktledningen bør koordineres mot behovene og tiltak for banestrekningen ellers så tidlig som mulig. Det gjelder både om hensettingsområdet er brukerfinansiert eller dekket gjennom kontrakt med Jernbanedirektoratet. For de fleste hensettingsområdene er disse kostnadene begrenset, men for noen få hensettingsområder kan kostnadene bli betydelige.

Dersom Bane NOR Eiendom internt skal overta ansvaret for hensettingsområdene er det viktig at det etableres avtaler om forsyningssikkerhet via kontaktledningen med Bane NOR Infrastruktur. Det har i dette arbeidet vært vanskelig å fremskaffe kvantitativ informasjon om forsyningssikkerheten fra kontaktledningen. Bane NOR Infrastruktur bør vurdere å etablere slik informasjon for bedre leveranseoppfølging og tiltaksstyring.

Fremtidige kjøretøy med egen strømavtaker bør ha 400 V tilkopling med kapasitet inntil 125 A for prøvespenning i verksteder og mulig reserveforsyning på 400 V som også gjerne kan omfatte begrenset oppvarming, kjøling og lading av eventuelt traksjonsbatteri. Anbefalt plassering på kjøretøyet for koordinering med verksted og eventuelt togvarmeanlegg er fremdeles åpen. Praksis på eksisterende kjøretøy har vært nede på vognside midt på togsettet, sannsynligvis på grunn av redusert behov for påkjørselsbeskyttelse. TS 50534 figur 4 indikerer nær togsettets ender og synes rimelig ut fra et infrastruktursynspunkt for plassering av togvarmepost utenfor skifteprofil og mulighet for at togsett går feilvendt. EN 50467 (16), som er henvist til fra prEN50546:2019, angir et vidt spekter av plasseringsmuligheter. Endeplassering synes mest fleksibelt.

Det er sannsynlig at prosjektering og bygging av togvarmeanlegg på nye hensettingsområder kan gjøres rimeligere sammenlignet med seneste erfaringsprosjekter gjennom tydeligere og enklere veileder og prosesser. Ved stort forventet anskaffelsesomfang bør det vurderes rammeavtale.

Det er et stort innsparingspotensial i betjening av eksisterende kjøretøy og togvarmeanlegg. Nye kjøretøy og togvarmeanlegg bør optimeres for enklere betjening. Fase 1 av dette arbeidet beskriver identifiserte forenklingstiltak i togvarmeanleggene.

5 REFERANSER

1. **Bane NOR.** *Strømforsyning til hensatte kjøretøy.* Teknisk avdeling. 2019-01-02. EH-012458-000-002.
2. **Samferdselsdepartementet.** *Forskrift om jernbanevirksomhet, serviceanlegg, avgifter og fordeling av infrastrukturkapasitet mv. (jernbaneforskriften).* 2017-01-01. FOR-2016-12-20-1771.
3. **Statens jernbanetilsyn.** *Forskrift om samtrafikkevnen i jernbanesystemet (samtrafikkforskriften).* 19.07.2010. FOR-2010-06-16-820.
4. **Norsk elektroteknisk komite.** *Railway applications - Generic system architectures for onboard electric auxiliary power systems.* 2010. CLC/TS 50534.
5. **Jernbanedirektoratet.** *Strategi for utvikling av en nasjonal flåte av jernbanekjøretøy for persontransport 2018 - 2029.* 2018. 201701297-2.
6. —. *Hensettingskonsept Norge 2022-2035 (Første arbeidsutkast).* s.l. : Jernbanedirektoratet, 2019. 201800929-22.
7. **Norsk elektroteknisk komite.** *Jernbaneapplikasjoner - Strømforsyningssystemer: Tekniske kriterier for sammenhengen mellom pantograf og kjøreledning (for å få fri adgang).* 2012. EN 50367.
8. —. *Jernbaneapplikasjoner - Strømforsyning og rullende materiell - Tekniske kriterier for koordinering mellom strømforsyning (understasjon) og rullende materiell for å oppnå samtrafikkevne.* 2012. EN 50388.
9. **International Union of Railways.** *Electrical power supply for trains - Standard technical characteristics of the train line.* 2005. 552.
10. **Norsk elektroteknisk komite.** *Railway applications - Rolling stock. 3-phase shore (external) supply system for rail vehicles.* 2013. TS 50546.
11. **Norges vassdrags- og energidirektorat.** *Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet.* 2007-01-01. FOR-2004-11-30-1557.
12. **Norsk elektroteknisk komite.** *Jernbaneapplikasjoner - Matespenninger for jernbanenettet.* 2004. EN 50163.
13. **Norges vassdrags- og energidirektorat.** *Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer.* 1999-04-01/2019-02-18. FOR-1999-03-11-302.
14. —. *Avbrotsstatistikk 2018.* 2019. 29.
15. **Bane NOR.** *Tjenestekatalog.* 2017.
16. **Norsk elektroteknisk komite.** *Railway applikations - Rolling stock - Electrical connectors, requirements and thest methods.* 2011. EN 50467.
17. **The European Union.** *Directive 2012/34/EU of the European Parliament and of the Council of 21 November 2012 establishing a single European railway area .* 2012. 2012/34.
18. **Bane NOR.** *Strøm til hensatte tog - vurdering.* Juridisk seksjon. 2018. 201902513-2.
19. **The European Commision.** *Commission Regulation (EU) No 1302/2014 of 18 November 2014 concerning a technical specification for interoperability relating to the 'rolling stock — locomotives and passenger rolling stock' subsystem of the rail system in the European Union.* 2014. 1302/2014.
20. **Jernbanedirektoratet.** *Hensettingsmodell Noreg 2021.* 2019. 201800929-18.
21. **Jernbaneverket.** *Konseptdokument for IC-strekningene.* 2015. ICP-00-A-00004.
22. —. *Overordnet teknologisk strategi.* 2012.

23. —. *Teknologisk strategi for banestrømforsyning og kontaktledning.* Samarbeid mellom Utredning, Bane Energi og Teknikk, Premiss og utvikling. 2006-12-13. 200602559-8.
24. **Bane NOR.** Lavspenning og 22 kV/Prosjektering/Togvarme. *Teknisk regelverk.* [Internett] 11 01 2018. [Sitert: 19 06 2019.] https://trv.banenor.no/wiki/Lavspenning_og_22_kV/Prosjektering/Togvarme#Togvarmeanlegg.
25. —. 5. Tjenester. *Network Statement 2019.* [Internett] 14 01 2019. [Sitert: 07 06 2019.] http://networkstatement.jbv.no/doku.php?id=ns2019no:tjenester#hensettingsspor.
26. **Jernbaneverket.** *Sak: JBVs togvarmestrategi.* 2005. 200406315-2 og -41.
27. **Bane NOR.** *Oslo-området, Utredning av fremtidig banestrømforsyning i Oslo-området.* 2019-06-17. BE-120012.
28. —. *Veileder utforming av hensettingsområder.* 2019. IUP-00-A-00977.
29. **Norconsult på oppdrag fra Bane NOR.** *InterCity–prosjektet Vestfoldbanen Hensetting i Tønsbergområdet: Fagrapport kostnadsestimat.* 2019. ICH-30-A-10801 rev 00A.
30. **StormGeo.** *Nordic Power Marked - Outlook 2019-2045.* 2019.
31. **Norges vassdrags- og energidirektorat.** *Framskriving av nettleie for husholdninger.* 2018. 55.

6 VEDLEGGSLISTE

Vedlegg 1 Føringer, praksis, behov og muligheter
Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder
Vedlegg 3 Vurdering av livsløpskostnader

7 VEDLEGG 1 FØRINGER, PRAKSIS, BEHOV OG MULIGHETER

7.1 Tjenesten forvarming av passasjertog

Jernbaneforskriften (2) ble utgitt i 2017 og regulerer blant annet hvilke tjenester infrastrukturforvalter skal og kan levere, og hva han skal og kan ta betalt. Forskriften er basert på EUs direktiv om ett europeisk jernbaneområde (3) som ble revidert i 2012.

«Forvarming av passasjertog» er definert som en tilleggstjeneste som infrastrukturforvalter kan tilby og ta betalt selvkost pluss en rimelig fortjeneste[7]. Det vi si at Bane NOR ikke plikter å levere strøm til hensatte kjøretøy, men dersom Bane NOR tilbyr tjenesten må den ytes på lik linje til alle jernbaneforetak (på de hensettingsområdene som tjenesten ytes) (4). Bane NOR bestemmer selv på hvilken måte strøm til hensatte tog skal leveres, så lenge det skjer på minst en av de tre beskrevne måtene i den tekniske spesifikasjonen for samtrafikkevne for lokomotiver og passasjervogner (5).

«Bruk av strømforsyningsutstyr der det finnes» for togfremføring er i forskriften derimot definert som tilgangstjeneste som infrastrukturforvalter skal tilby og ta betalt for «kostnaden som oppstår som en direkte følge av den enkelte togtjeneste». Denne rapporten omhandler kun tilleggstjenesten forvarming av passasjertog.

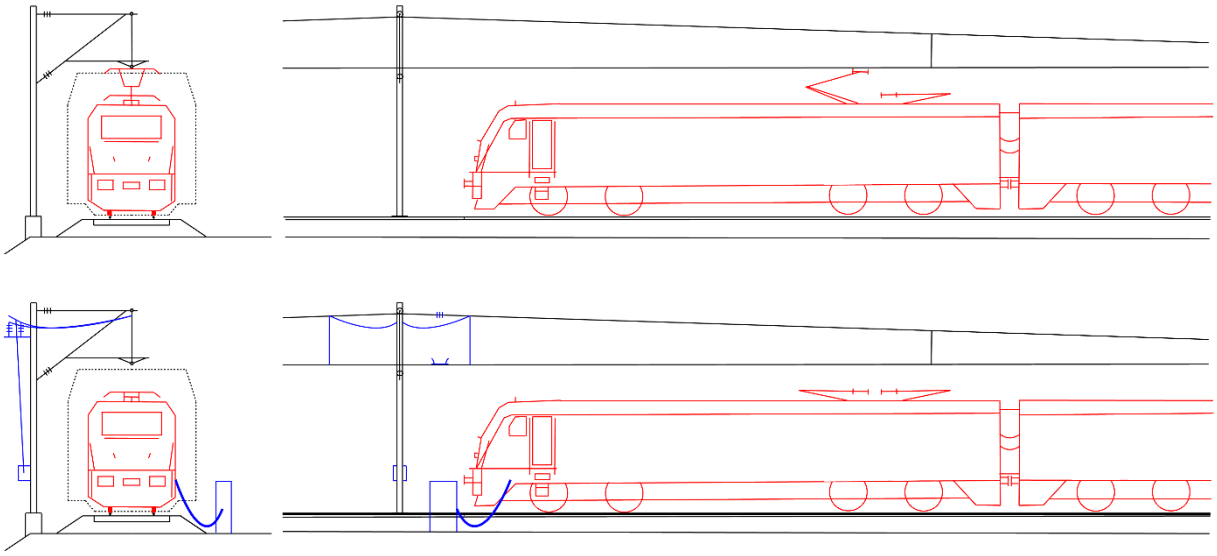
7.2 Strømforsyningsmetoder

Teknisk spesifikasjon for samtrafikkevne for lokomotiver og passasjervogner TSI LOC & PAS (5) punkt 4.2.11.6 sier at kjøretøy som skal ha strømforsyning når de er parkert, skal være kompatible med minst en av følgende strømforsyningssystemer:

1. Strømforsyningens kontaktledning
2. Strømforsyningsledning av typen UIC 552 fra togvarmepost (1 kV vekselstrøm[8])
3. Lokal ekstern hjelpestrømforsyning på 400 V via stikkontakt «3P+jord» iht. EN/IEC 60309-2:1999 fra togvarmepost[9].

Figur 3 illustrerer de tre ulike strømforsyningssystemene. Kontaktledningen (system 1) på et hensettingsområde forsynes fra banestrømsomformerne som forsyner banestrekningen for fremdrift av togene. Togvarmepostene forsynes enten fra kontaktledningen (system 2a ved forsyning på 16,7 Hz) eller fra ekstern stedlig strømforsyning 50 Hz (system 2b ved forsyning på 50 Hz og system 3).

[7] Gjelder i et marked med bare en leverandør. I et marked med flere leverandører reguleres avgiften av markedet.
[8] UIC 552 angir både 16 2/3 Hz og 50 Hz
[9] I Sverige omtales denne forsyningsløsningen ofte som «lokvarmepost»



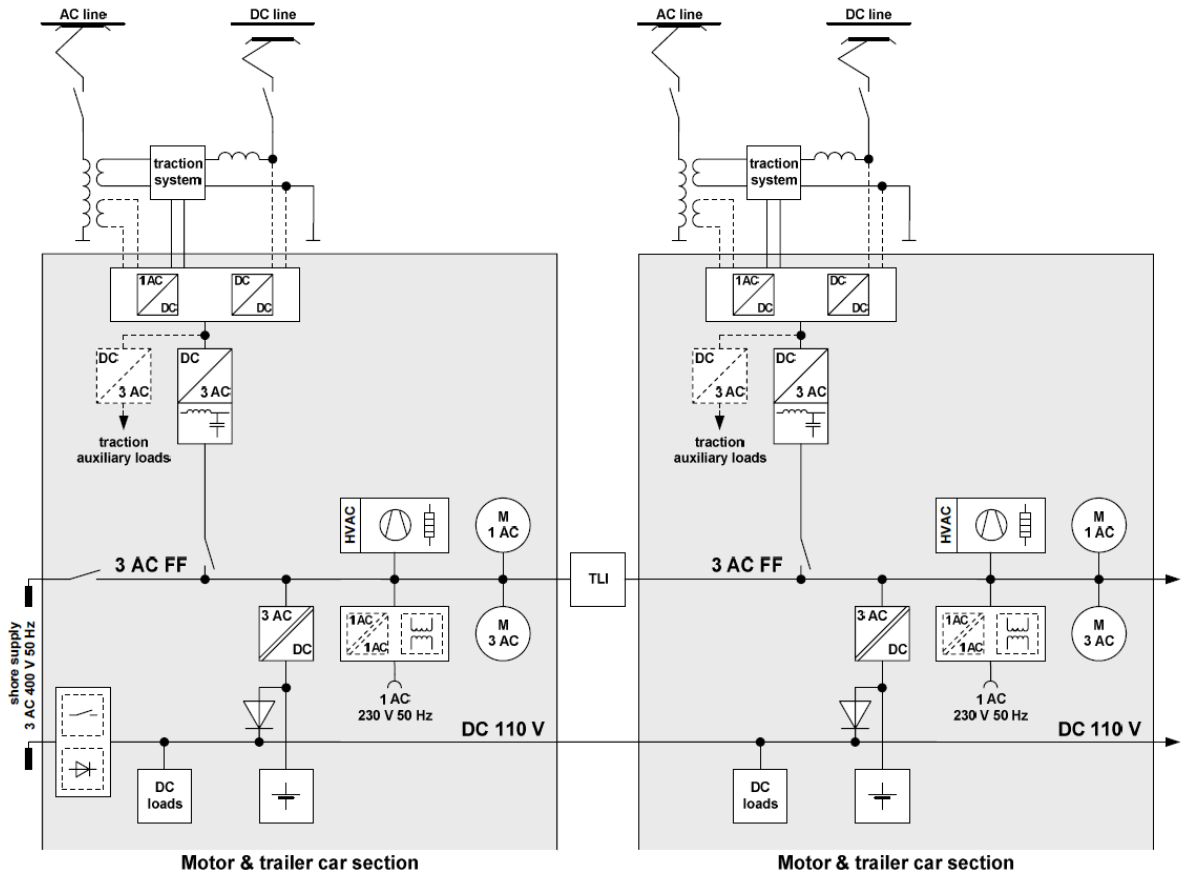
Figur 3 Øverst: Forsyning av hensatt kjøretøy vi strømavtaker fra kontaktledningen (system 1). Nederst: Forsyning av hensatt kjøretøy fra togvarmepost og med mulighet for frakobling av kontaktledningen (system 2 og 3). Merk at arbeidet i fase 1 har redusert behovet for seksjonsisolator og kontaktledningsbryter for hver hensettingsplass for system 2 og 3.

I praksis kan alle kjøretøy med egen strømavtaker, det vil si elektriske lokomotiver og motorvognsett, benytte system 1. Mesteparten av motorvognsett og alle passasjervogner i Norge i dag kan benytte system 2[10]. System 3 er det svært få kjøretøy i Norge i dag som kan benytte.

I 2004–2008 gjennomførte EU et prosjekt MODTRAIN ("Innovative Modular Vehicle Concepts for an Integrated European Railway System") med hensikt å definere og beskrive nødvendige funksjonelle, elektriske og mekaniske grensesnitt for utskiftbare moduler som kan danne grunnlag for neste generasjons intercitytog og universallokomotiver. Delprosjektet MODPOWER håndterte strømforsyning om bord og resulterte i et rammeverk av spesifikasjoner og standarder utgitt av Cenelec. Følgende generiske arkitektur er beskrevet i TS 50534:2010 (9):

- I lokomotivtrukne passasjertog fordeles den elektriske energien mellom kjøretøyene via det eksisterende konseptet med gjennomgående UIC train line.Hvert kjøretøy ellers er uavhengig av de andre. Dette er system 2 over.
- I elektriske motorvognsett, både med konsentrert og distribuert trekkraft, fordeles den elektriske energien via trefase vekselstrøm med fast frekvens, hvorav en av to muligheter er 400 V 50 Hz som vist i Figur 4. Dette er system 3 over. Løsningen er i grensesnittet infrastruktur – kjøretøy foreløpig kun standardisert for små og mellomstore effekter, henholdsvis 63 og 125 A, det vil si 44 og 86 kW. TS 50546:2013 (10) er imidlertid under revisjon for blant annet å standardisere en høyeffektløsning på 600 A, det vil si 400 kW, men med en annen tilkoblingsstikk. Frem til nå virker det som om bare 63 A løsningen har vært benyttet. Det er mulig å parallellkople to forsyninger ved større effektbehov.

[10] Tp69 har noen begrensninger.



Figur 4 Kopi av figur 4 i TS 50534:2010 som viser foreslått akitektur for fordeling av elektrisk energi i et motorvognsett. Merk at det er har vært vanligere i Norge å sammenkoble motorvognene via høyspenning på taket til en felles strømavtaker fremfor flere strømavtakere per togsett.

7.3 Behov for strømforsyning

Foruten energi til togenes fremdrift har kjøretøy (motorvogner, lokomotiver og passasjervogner) behov for elektrisk energi til funksjoner knyttet til

1. styring og kontroll av kjøretøyet (kommunikasjon, fremføring (regulering, lys, bremser, etc.), overvåking, dører etc.)
2. nødvendige driftsfunksjoner og servicefunksjoner for kjøretøyet (trykkluftkompressorer, minimum kupelys, frostsikring, toaletter, stikkontakter, kjøling av matvarer, batterilading etc.)
3. passasjerkomfort (oppvarming, ventilasjon og kjøling[11])

Under hensetting må en forvente at både energi- og effektforbruket til disse funksjonene er lavere enn i trafikk. Sannsynligvis kan nødvendige funksjoner i kategori 1 og kanskje også 2 dekkes av kjøretøyets interne avbruddsfrie strømforsyning (batteri) i flere timer, alternativt dager. Dette er avhengig av omgivelsestemperatur og grad av avstenging av kjøretøyet[12]. Passasjerkomfort i kategori 3 er så energikrevende at det må dekkes av ekstern strømforsyning. Norsk praksis er også at kjøretøyene renholdes innvendig under hensetting med behov for temperatur over 18 °C.

[11] Også omtalt som HVAC (heating, ventilation and air conditioning)
[12] Også kalt «energy management»

I fremtiden kan en forvente kjøretøy med eget traksjonsbatteri for fremdrift på ikke-elektrifiserte eller delvis elektrifiserte strekninger. Dersom disse batteriene skal lades under hensetting behøves strømforsyning. Det finnes foreløpig ikke ramme-betingelser (for eksempel internasjonalt regelverk) for dette.

Kjøretøy på verksted har også behov for strømforsyning for feilsøking og test på utstyr i alle kategoriene, spesielt kategori 3. Praksis i dag er at teknisk utstyr, spesielt HVAC, plasseres på taket for å frigjøre plass til større passasjerkapasitet og muliggjøre lavgulvløsninger. Tilgang til taket nær kontaktledningen nødvendiggjør frakobling av denne og forsyning via togvarmepost for såkalt prøvespenning.

Fase 1 av dette arbeidet kartlegger effektbehovet for hensatte kjøretøy. Installert effekt i norske kjøretøy er typisk 50–60 kW/personvogn. Dette stemmer med typisk ytelse oppgitt i TS 50534:2010 tabell B.2. Normalt forbruk er imidlertid lavere, typisk 15–25–40 kW, avhengig av utetemperatur.

7.4 Forutsetninger for bruk av strømforsyningsmetoder

I dette arbeidets fase 1 er det undersøkt juridiske, tekniske og sikkerhetsmessige forhold ved de ulike metodene for strømforsyning til hensatte kjøretøy. Risikoene knyttet til de ulike metodene er funnet å være akseptable gitt følgende tiltak:

- Elsikkerhet: Tredjeparts mulighet for klatring på kjøretøy og å komme nær spenningssatt kontaktledning reduseres ved en kombinasjon av sikring av kjøretøyene og hensettingssporet gjennom avstand, avsperring og advarselskilt.
- Teknisk forenelighet: Oppfyllelse av tekniske krav til både kjøretøy og strømforsyning.

Tiltakene er forutsetninger for bruk av strømforsyningsmetoden. De fleste forutsetningene er basert på krav i internasjonale standarder eller etablert internasjonal praksis. Der det ikke, eller i liten grad, finnes relevante internasjonale krav er strategien å påvirke standardiseringen i vår ønsket retning. Det gjelder spesielt elsikkerhet[13].

Kjøretøy som ikke er vanskelig å klatre på krever ekstra sikring av hensettingsområdet for å kunne hensettes under spenningssatt kontaktledning. Alternativt kreves spenningsløs kontaktledning og forsyning fra togvarmepost. Følgende kjøretøy er foreløpig vurdert som vanskelig å klatre på[14]:

- Elektriske motorvognsett: Tp71, tp 73, tp 74, tp 75[15]
- Elektriske lokomotiver: El18, El19

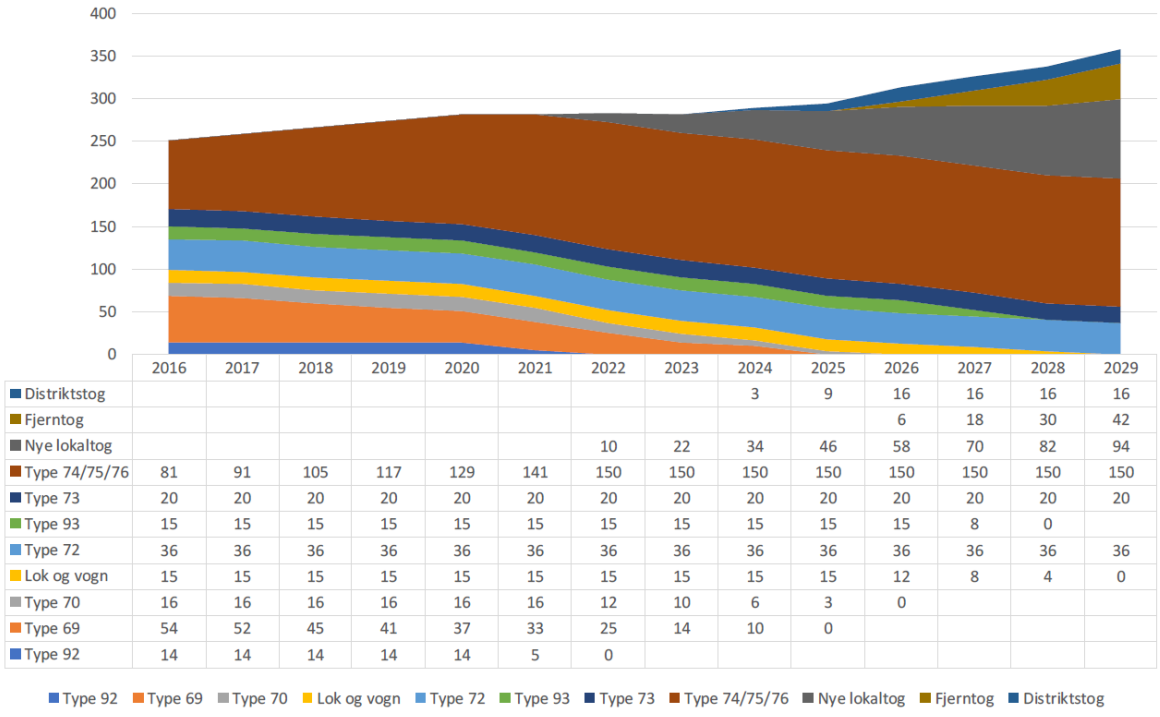
[13] Tilleggsopplysning: Bane NOR arbeider internasjonalt for å påvirke utvikling av standarder og andre kravkilder slik at elsikkerhetsutfordringer og teknisk forenlighet best mulig sikres der hvor det er mest hensiktsmessig, dvs. i standarder og TSIer.
[14] Vurderingene av kjøretøy lagres fortløpende på EH-012458 i systemarkivet med bladnummer lik de tre siste sifrene i kjøretøyets EVN-nummer.
[15] Tp69 er vurdert og vurdert til ikke å være vanskelig å klatre på.

7.5 Materiellbehov og utvikling

Jernbanedirektoratet utarbeidet i 2018 en strategi for utvikling av den nasjonale flåten av jernbanekjøretøy til persontransport (8). I avsnitt 4.5.5 om standardiserte infrastrukturforutsetninger angis at «Jernbanedirektoratet vil overfor Bane NOR arbeide for standardiserte infrastrukturforutsetninger. Dette skaper fleksibilitet i forhold til hvor de ulike materiellтypene kan benyttes. Slik standardisering gjelder plattformlengder og -høyder, hastighetsstandarder, sporlengder på parkeringsområder, utrustning av serviceanlegg, energiforsyning samt spesifikasjon og bruk av varmeposter».

Figur 5 viser scenario for fornyelse og vekst i kjøretøyflåten til Norske tog frem til 2029. Hovedpunktene er:

- Lokomotivtrukne tog utfases 2026–2028 og erstattes av nye fjerntog. Det er ikke avgjort om disse vil være motorvognsett eller lokomotiv og vogner.
- Elektriske motorvognsett tp69 utfases 2021–2025 og erstattes av nye lokaltog tp 77 (med mulighet for traksjonsbatteri for skifting).
- Elektriske motorvognsett tp 70 utfases 2025–2026.
- Dieselmotorvognsett tp92 utfases 2020–2021 og erstattes av bimodale tp76 (både elektrisk, diesel og med traksjonsbatteri[16]).
- Dieselmotorvognsett tp93 utfases 2025–2027



	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
Distriktstog									3	9	16	16	16	16
Fjerntog											6	18	30	42
Nye lokaltog							10	22	34	46	58	70	82	94
Type 74/75/76	81	91	105	117	129	141	150	150	150	150	150	150	150	150
Type 73	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Type 93	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	8	0	
Type 72	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
Lok og vogn	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	8	4	0
Type 70	16	16	16	16	16	16	12	10	6	3	0			
Type 69	54	52	45	41	37	33	25	14	10	0				
Type 92	14	14	14	14	14	5	0							

Figur 5 Scenario fornyelse og vekst i antall kjøretøy i (8).

7.6 Hensettingsbehov

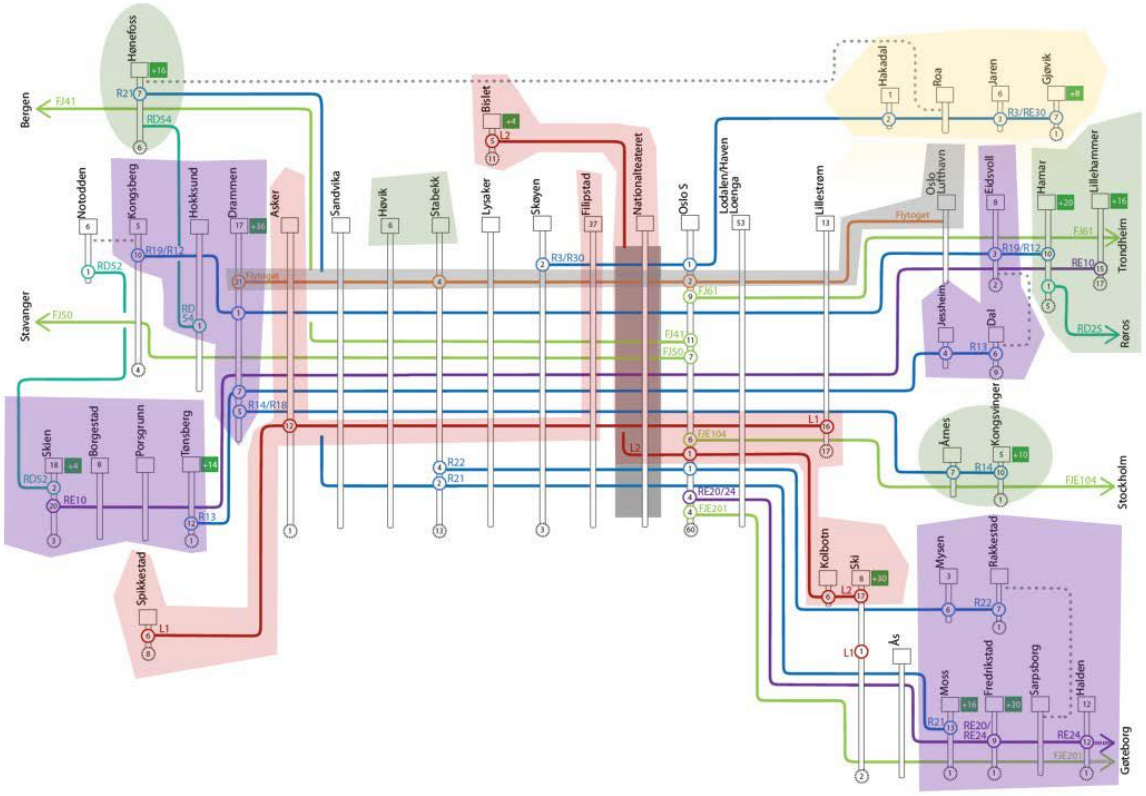
Jernbanedirektoratet gjennomfører i 2019 prosjektet «Strategi for hensetting» som vil angi forventet hensettingskonsept og -behov på kort og lang sikt.

[16] Kapasitet p.t. ukjent, men større enn rent «last mile» batteri.

Føringen er at hensettingsområder og verksteder skal utformes mest mulig universelt og fleksibelt, men at det er ønskelig at jernbaneforetak og deres underleverandør(er) skal få optimalisere driften av hensettingsområdet og eventuelt tilhørende verksted innenfor de ulike trafikkpakkene. Derfor bør hensettingsområder i samme trafikkategori ses i sammeheng, se eksempel for Oslo-området i Figur 6.

Prosjektet skisserer foreløpig følgende kategorier hensettingsanlegg hvorav kun de to første skal tilby strømforsyning til hensatte kjøretøy:

C. Hensettingsanlegg uten servicefunksjoner og på ubestemt tid (områdesikring mot skadeverk fra uvedkommende)
B. Hensettingsanlegg noen servicefunksjoner (som C pluss inspeksjonsmulighet, strømforsyning og egnet adkomst for personell)
A. Hensettingsanlegg med servicefunksjoner (som B pluss innvendig vask av kjøretøy og avfallshåndtering. Mulighet for kloakktømming, vannpåfylling, utvendig vask og dieselpåfylling vurderes)



Figur 6 Eksempel fra (8) med linjer, stasjoner og hensettingsområder med farger som illustrer linjer som må ses i sammenheng.

Hensettingsmodell 2021 (9) for persontrafikk angir at det på kort sikt er behov for 216 hensettingsplasser à 110 m på Østlandet og 75 plasser i landet ellers, til sammen 291. Første utkast til hensettingskonsept for 2027 og 2035 antyder behov for henholdsvis 260 og 323 plasser på Østlandet. Dette er i hovedsak hensettingsanlegg i kategori A og B over. Opplysninger om resten av landet på lang sikt kommer tidligest 6. september. Det er og planlegges med større hensettingskapasitet enn behovet for fleksibilitet.

Hensettingsområdene er stedfestet til nærhet til jernbanestasjoner og vurderes blant annet ut fra behov for tomtogkjøring. Inkludert de hensettingsanlegg som er under utarbeidelse er det på kort sikt overskudd på hensettingsplasser.

7.7 Jernbaneinfrastrukturens behov

Jernbaneinfrastrukturen har behov for både forebyggende og korrektivt vedlikehold. Deler av vedlikeholdet av både kontaktledningsanlegget og andre anlegg eller aktiviteter nær dette krever at spenningen frakobles. Det vil i stor grad si at slike aktiviteter kun kan gjennomføres når det er liten eller ingen togtrafikk i såkalte «hvite tider». Vedlikeholdskonseptet til Bane NORs intercity-satsing baserer seg på at vedlikeholdet i størst mulig grad gjennomføres uten at det berører planlagt trafikk (9). Det innebærer blant annet utnyttelse av tider der det kun er trafikk på ett av to spor der det er mulig. og Videre må en utnytte hvite tider i så stor utstrekning som mulig for vedlikehold som krever stenging av begge spor på dobbeltspor.

I tillegg gjennomføres det en rekke prosjekter som krever frakobling på samme sted over lengre tid, for eksempel i alle hvite tider over en lengre tidsperiode.

7.8 Føringer i Bane NOR

Jernbaneverkets overordnede teknologiske strategi fra 2012 (19) gir følgende 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

7.9 Praksis i Norge i dag

Teknologisk strategi for banestrømforsyning og kontaktledning fra 2006 (6 s. 21) angir at «uttak av energi fra kontaktledningen til andre formål enn togfremføring og reservestrøm til kritiske infrastrukturanlegg (sikrings-, tele- og fjernstyringsanlegg) skal så langt som mulig unngås». Begrunnelsen er at mange og store slike tilleggsuttak kan føre til problemer for togfremføringen, begrense muligheter for frakopling for vedlikehold av kontaktledningen og vil kreve større batteripakker for reservestrøm. Strategien anerkjenner imidlertid at strømforsyning til hensatte kjøretøy fra kontaktledning til strømavtaker er svært vanlig og fortsatt bli vil benyttet. Det problematiseres også at kjøretøy som kommer fra utlandet sannsynligvis ikke kan motta 50 Hz togvarme.

Teknisk regelverk for prosjektering av togvarme (4) angir at nye og oppgraderte togvarmeanlegg skal prosjekteres med 1000 V 50 Hz forsyning. Det betyr imidlertid ikke at Teknisk regelverk krever at det skal bygges togvarmeanlegg.

Network statement om tjenester (5) angir at «kjørestrøm ikke skal benyttes ved hensetting, med mindre hensettingsområdet ikke har togvarmepost tilpasset materiellet». Det er i dag jernbaneforetak som motsetter seg denne bestemmelsen og i tillegg krever syv uker varsel før frakopling av kontaktledningen. Praksis er at bestemmelsen bare i begrenset grad følges. Bruk av togvarmeposter belastes med et fastbeløp for å dekke kapitalkostnader og normalt vedlikehold av posten i tillegg til

kraftpris og ekstern nettleie (23). Forsyning fra kontaktledningen belastes derimot kun med energipris og nettleie som ved togfremføring.

Det er disse bestemmelsene og denne praksisen beskrevet over som er under revurdering i dette arbeidet. Det er grunn til å tro at både tjenester, vilkår og avgifter må oppdateres i lys av føringene og krav i Jernbaneforskriften, samt jernbanesektorens behov og muligheter.

7.10 Praksis og strategier andre steder

Praksis og strategier i andre infrastrukturforvaltere Bane NOR samarbeider tett med er forespurt med følgende tilbakemelding (oppsummert i Tabell 2):

- **Sverige**: Praksis er at elektriske kjøretøy forsynes enten med system 1 eller 2 (16,7 Hz). Ikke-elektriske motorvognsett forsynes med system 3 (63 A).
- **Tyskland**: Praksis er at nasjonale elektriske kjøretøy forsynes med system 1 som er foretrukket, kun redusert antall internasjonale kjøretøy forsynes med system 2 (16,7 Hz). Ikke-elektrifiserte lokomotiver og vogner forsynes med system 2 (50 Hz). System 3 benyttes til batterilading, men ikke i tillegg til system 1 og 2 der dette finnes.
- **Finland**: Praksis er at elektriske kjøretøy forsynes med system 1. Passasjervogner forsynes med system 2. Ikke-elektriske (og sannsynligvis delvis elektrifiserte) forsynes med metode 3 (32 eller 63 A).

Tabell 2 Praksis for strømforsyningssystemer brukt i naboforvaltninger i dag.

	Elektriske kjøretøy	Delvis elektriske kjøretøy	Ikke-elektriske kjøretøy	Passasjer-vogner
Sverige	1: 15 kV 16,7 Hz 2: 1000 kV 16,7 Hz		3: 3x400 V 50 Hz 63 A	2: 1000 V 16,7 Hz
Tyskland	1: 15 kV 16,7 Hz 3: 3x400 V 50 Hz		2: 1000 V 50 Hz 3: 3x400 V 50 Hz	2: 1000 V 16,7 Hz
Finland	1: 25 kV 50 Hz 3: 3x400 V 50 Hz 63 A til f.eks. restaurantvogner	(1: 25 kV 50 Hz) (3: 3x400 V 50)	3: 3x400 V 50 Hz 32/63 A	2: 1500 V 50 Hz

Østerrike og Sveits har muntlig bekreftet tilsvarende praksis som Tyskland.

Merk at det kan være ulike rammebetingelser i ulike forvaltninger som gir ulike løsninger.

7.11 Muligheter

For løsning av problemstillingen om valg av strømforsyningsmetode åpner det seg flere muligheter som kort introduseres:

7.11.1 Reservekapasitet i banestrømforsyningen

Banestrømforsyningen dimensjoneres for fremføring av tog i rushtid. Når passasjertogkjøretøyene hensettes, er effektbehovet til fremføring flere steder lavt og anleggene har betydelig reservekapasitet. Investeringene i disse anleggene kan utnyttes fremfor å etablere parallelle strømforsyningsanlegg til hensetting.

7.11.2 Fremtidig banestrømforsyning

For fremtidig utvikling av banestrømforsyningen er elektrisk kontaktledningsutforming type E foretrukket på enkeltspor. Den gir mulighet for forbimating av frakoblet kontaktledning via egne autotransformatorledere og dermed bedre tilgjengelighet for spenning andre steder på banestrekningen. Andre steder utvides banestrekningene fra enkeltspor til dobbeltspor som også ved andre elektriske utforminger vil gi alternative forsyningsveger til et hensettingsområde.

7.11.3 Banestrømomformere med batterimating

Batterier kan også brukes som lokale energilagre i omformerstasjoner og dermed øke ytelsen eller robustheten til stasjonen. For hensettingsområder kan dette potensielt bety mulighet for små enkle innmatinger til kontaktledningen. Disse kan forsyne området når kontaktledningen på den matende banestrekningen på utsiden er frakoblet. Slike systemer er ikke benyttet i dag, men en ser på mulighetene.

7.11.4 Del-elektriske kjøretøy

Det finnes allerede kjøretøy, som er blant annet bestilt til Norge, som i tillegg til elektrisitet levert fra kontaktledning har mulighet for fremdrift basert på energi som medbringes (tp 76). Det kan være skifteløsninger («last mile») eller mer fullverdige fremføringsløsninger. Spesielt er det store forventninger til batteriutviklingen på kort sikt. Det gir mulighet for delvis elektrifisering, både av hensettingsområder og verksteder som ikke trenger kontaktledning, og av banestrekninger der kontaktledningen kun bygges som ladeseksjoner der det er behov. Batteriene kan lades fra kontaktledningen og levere traksjonseffekt eller tilleggseffekt til toget når ekstern strømforsyning mangler, planlagt eller ikke. For hensettingsområder kan dette bety både økt behov for togvarmeposter eller redusert behov for robust ekstern forsyning avhengig av hvilken løsning som velges. Jernbanedirektoratet har i 2019 et prosjekt der potensialet og mulighetene undersøkes.

7.11.5 Energy management

Det blir stadig mer fokus på energiøkonomisering i kjøretøyene og de ulike leverandørene implementerer energistyring. Jernbanedirektoratet skriver i materiellstrategien at «Ved nyanskaffelser av kjøretøy og drift av disse vil Jernbanedirektoratet vektlegge redusert energiforbruk og strømbesparende løsninger ved hensetting». Det kan gjøre at det kartlagte effektbehovet i fase 1 spørsmål 3 reduseres. Blant annet kan det føre til at system 3 med 125 A løsning kan være tilstrekkelig for forsyning til motorvognsett. Ved behov kan effekt for endring fra hensettingstemperatur til komforttemperatur forsynes fra kontaktledning når togsettet likevel er tilkoblet kontaktledning (eks. ved opprigging, klargjøring eller tomtogkjøring).

7.11.6 Bruk av 25 kV 50 Hz

Nye kjøretøy dimensjoneres sannsynligvis for 25 kV 50 Hz kontaktledningsspenning, enten fordi de er tosystemskjøretøy eller som en forenkling ved at kjøretøy for begge systemer deler utforming og bruk av komponenter. Blant annet gjelder det siste til en viss grad for tp 74, 75, 76 og 77.

7.11.7 Mulige tiltak mot frakobling av kontaktledningen

Følgende tiltak er identifisert for bedre forsyningssikkerheten via kontaktledningen til hensettingsområder:

7.11.7.1 Koordinering av frakoblingsbehov og hensetting

Slik som kontaktledningsanlegget er utført i dag er det begrensninger i hvor mange forsyningsveger som kan frakoples samtidig. Antall og lengde av frakoblingene kan reduseres ved bruk av flere arbeidslag på samme strekning. Dette kan fungere i daglig drift (forebyggende og mindre korrektivt vedlikehold), men være begrensende i tilfeller der flere banestrekninger stenger (eks. arbeidshelg) eller der en banestrekning stenges over lengre tid (eks. infrastrukturprosjekter). Sannsynligvis rimelig tiltak, men vanskelig å kvantifisere kostnaden. Krever rimelig varsling av jernbanefortakene i forkant av frakoplingen.

7.11.7.2 Togvarmepost 50 Hz (system 2 og 3)

Gjør hensettingsområdet uavhengig av banestrekningen som brukt flere steder i dag. Antatt kostbart å etablere nye anlegg, men bruk av eksisterende anlegg kan være rimelig tiltak dersom kjøretøyene kan motta strømforsyning på denne måten. Krever rimelig varsling av jernbanefortakene.

7.11.7.3 Hensetting uten strømforsyning (system 4)

Nedrigging av kjøretøyene slik at de i frakoblingsperioden ikke mottar strømforsyning. Må koordineres mot frostskader, behov for arbeidstemperatur for innvendig renhold og eventuelle matvarer i kjøleskap. Krever rimelig varsling av jernbanefortakene. Kjøretøyene kan ha egne tilstrekkelige batteriløsninger som kan gjøre metoden mer fleksibel, for eksempel traksjonsbatteri som kan brukes til eget forbruk om bord.

7.11.7.4 Forbimating av frakobling

Forbigangsledning, mateledning fra omformerstasjon/koblingshus eller autotransformatorledninger tilhørende elutforming E på høye master kan brukes for forbimating av frakoblet kontaktledning. Rimelig tiltak dersom kontaktledningsanlegget på banestrekningen fornyes/oppgraderes likevel. Kostnaden avhenger sterkt av avstanden. Parallelle spor på dobbeltspor kan også brukes til forbimating.

7.11.7.5 Lokal mating av hensettingsområdet

Kontaktledningsanlegget på hensettingsområdet kan mates lokalt fra en mindre omformer eller batteriløsning, permanent eller midlertidig, slik at kjøretøyene fremdeles kan forsynes via strømavtaker. Relativt kostbar løsning, men kan være aktuelt dersom flere hensettingsområder kan dele på en mobil løsning. Kan være mulig med andre matespenninger en 15 kV 16,7 Hz, men det krever tilpasninger av kjøretøyene.

7.11.7.6 Utkjøp av tog

Avhenger av Bane NORs policy

7.11.7.7 Dieselaggregat

Vanlig reservestrømforsyningsløsning hos elektrisitetsverk. Mating til kontaktledning (system 1) krever spesialbestilling og tilpasning av aggregat. Strømforsyning på 400

V 50 Hz (System 3) er standard og kan leies i det åpne markedet i ulike størrelser. Hensettingsanlegget (/-ene) må anskaffe tilstrekkelige kabler og for tilkobling til kjøretøyene.

En kan også se for seg at delvis elektrifiserte lokomotiver med dieselmotor kan tilpasses slik at dieselgeneratoren via strømavtaker kan forsyne kjøretøy på et hensettingsområde med kontaktledningsspenning.

Som alternativ til 1000 V togvarme (system 2a) finnes allerede i dag jernbanevogner med dieselaggregat for forsyning av passasjervogner i tog trukket av lokomotiver som ikke har forsyningskapasitet nok (eks. såkalte finkevogner på Nordlandsbanen).

Alle dieselløsninger vil sannsynligvis generere støy.

7.11.7.8 Elektrifisering av hensettingsområder med 25 kV 50 Hz

Dersom kjøretøyene kan motta 25 kV 50 Hz via kontaktledningen kan hensettingsområder elektrifiseres med det matesystemet og forsynes lokalt. Det vil kreve en systemskilleseksjon mellom banestrekningen og hensettingsområdet samt en lokal transformatorstasjon med tilstrekkelige vern- og koblingsfunksjoner.

7.11.7.9 Redusert frakopling pga. omorganisering

Pågående endret organisering av driftsapparatet kan gi endret behov for frakopling. Blant annet kan en se for seg at flere arbeidslag jobber samtidig på en frakoplet strekning (eks.ved tilstandskontroll) og dermed reduserer behovet for antall frakoplinger. Flere samtidig arbeidslag kan muliggjøres ved at de ulike områdene støtter hverandre eller ved egne omreisende arbeidslag.

7.12 Hvordan påvirker strømforsyningsløsningene operativ drift?

Nedenfor beskrives kort identifiserte konsekvenser bruk av de ulike strømforsyningssystemene har for den operative driften av jernbanen.

7.12.1 System 1 Kontaktledning

- Kan kreve at flere driftssystemer i kjøretøyet er i drift og dermed høyere energiforbruk og støy[17]. For eksempel at kompressor starter for å sikre tilstrekkelig kraft fra strømavtaker til kontakttråd med tilhørende støy.
- Behov for manuell innkobling av enkelte kjøretøytyper dersom kontaktledningsspenningen frakobles kortvarig (gjelder få kjøretøy i Norge[18]).
- Behov for koordinering av (langvarig) frakopling av banestrekningens kontaktledning for arbeid i eller nær ved. Minimum ett døgns varsel er nevnt fra noen jernbaneforetak.
- Kun frakobling av kontaktledningen på en side av hensettingsområder som ligger langs linjen. Det vil si tilpasning av arbeidsområder og signalplassering dersom hensettingsområdet ikke er tilknyttet en jernbanestasjon.
- Oppriggning/nedrigging og skifting (tomtog, til/fra togvaskemaskin, verksted etc.) gjør også bruk av kontaktledningen og krever koordinering av (langvarig) frakopling av kontaktledningen. Behovet for kontaktledningsspenning til

[17] Det er rapportert om tilbakemelding fra naboer om støy ved hensetting på Voss og Borgestad.
[18] Kun tp72 av motorvognsettene i dag.

skifting reduseres dersom kjøretøyet har eget traksjonsbatteri eller annen energikilde om bord.
- For 50 Hz forsyning må det etableres rutiner for systemskille, både i drift av strømforsyning og fremføring samt betjening av kjøretøyene.

7.12.2 System 2 Togvarmepost 1000 V

- Kan føre til at strømavtaker fryser fast i nedsenket stilling ved store snøfall. Det kreverbehov for personell med utstyr og kompetanse til å løsne den (per i dag kun personell fra Bane NOR, ikke jernbaneforetakene). Det er foreløpig uklart hvor omfattende problem dette faktisk er.[19]
- Hensetting av dobbeltsett krever tilkobling av begge motorvognsettene til togvarmepost, enten hver sin togvarmepost eller sammenkobling av 1000 V mellom togsettene.
- Eksisterende energiavregningsmetode har begrenset fleksibilitet/kapasitet dersom bruken av togvarmepost øker og flere jernbaneforetak benytter samme post.
- Ved langvarig avbrudd i ekstern 50 Hz forsyning må kjøretøyene rigges opp for forsyning fra kontaktledningen. Eventuelt begrensende frakopling av kontaktledningen må avsluttes.

7.12.3 System 3 Togvarmepost 400 V

- Kan føre til at strømavtaker fryser fast i nedsenket stilling ved store snøfall.Det kreverbehov for personell med utstyr og kompetanse til å løsne den (per i dag kun personell fra Bane NOR, ikke jernbaneforetakene). Det er foreløpig uklart hvor omfattende problem dette faktisk er.
- Hensetting av dobbeltsett krever tilkobling av begge motorvognsettene til togvarmepost, enten hver sin togvarmepost eller sammenkobling av 400 V mellom togsettene.
- 600 A kabel og tilkoplingen synes svært stiv og tung å betjene. Det er foreløpig ukjent hvordan dobbelt motorvognsett kan forsynes fra en togvarmepost.[20]
- Eksisterende energiavregningsmetode har begrenset fleksibilitet/kapasitet dersom bruken av togvarmepost øker og flere jernbaneforetak benytter samme post.
- Ved langvarig avbrudd i ekstern 50 Hz forsyning må kjøretøyene rigges opp for forsyning fra kontaktledningen. Eventuelt begrensende frakopling av kontaktledningen må avsluttes.

7.12.4 System 4 Uten strømforsyning

- Manglende strømforsyning kan føre til skader på toget ved for lav temperatur (det er begrenset hvor lav temperatur utstyr inni toget tåler), ødelagte

[19] Meldt inn av Vy. Undersøkelser indikerer at dette var en hendelse i 2013/2014 som skyldes en underdimensjonert ventil som nå er byttet.
[20] 400 V 600 A løsningen er foreløpig bare kjent brukt i Storbritannia for diesel-elektriske motorvogner. Kabelen og plugg er stor og betjenes bare av dedikert personell, ikke lokomotivfører. Kobler ikke sammen flere motorvognsett, men løsningen brukes internt i en fast sammensetning av kjøretøy.

kjølevarer, lengre tid for opprigging og klargjøring som kan gi forsinkelse samt redusert kundetilbud (komfort, salg og toaletter).

- Komforttilpasning av temperaturen må foregå enten ved tidligere oppmøte fra lokomotivfører eller under posisjonering (skifting og tomtogkjøring).
- Forsyning fra internt traksjonsbatteri i kjøretøyet krever at batteriet har kapasitet nok og er ladet ved hensetting.

8 VEDLEGG 2 VURDERING AV FORSYNING TIL HENSETTINGSOMRÅDER

Strømforsyning til eksisterende og planlagte hensettingsområder i 2030-2035 vurderes i dette vedlegget både for 16 2/3 Hz forsyning og 50 Hz forsyning. Hensikten er å identifisere hensettingsområder der sikker forsyning via kontaktledning eller ekstern trefasenett er spesielt kostbar.

Som underlag er det benyttet følgende

- Jernbanedirektoratets ferdige og foreløpige rapporter fra prosjekt hensetting, dvs. (10) og (9): Hensettingskonsept T2035 om mulig med tanke på plassering og antall hensettingsplasser.
- Bane NOR Energis teknisk-økonomiske utredning av fremtidig banestrømforsyning i Oslo-området (16): Situasjon ved fullførelse av ytre InterCity i 2030-2035.
- Bane NOR Energis forslag kraftsystemutredning versjon 001 som sendt til høring: Situasjon for 2030 andre steder enn Oslo-området.
- Oversikt over eksisterende togvarmeanlegg fra Network Statement 2020.

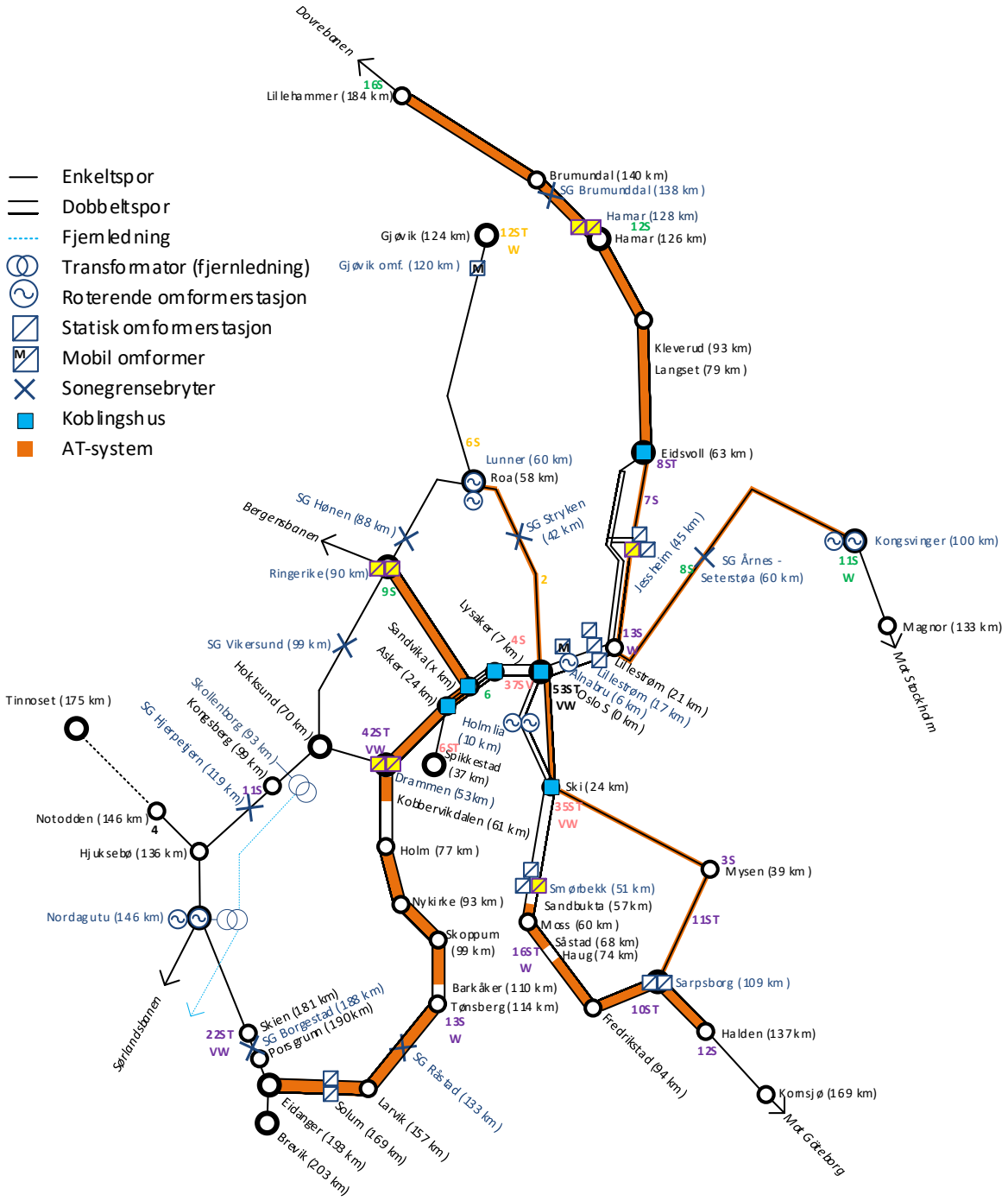
Figur 7 viser en sammenstilling av foreslått banestrømforsyning og hensettingskonsept for Oslo-området i 2035. Frem til all infrastruktur (hensettingsanlegg, dobbeltspor og banestrømforsyning inklusive kontaktledning) er som angitt kan det være mellomperioder hvor risikoen knyttet til forsyningssikkerhet er høyere eller lavere. For flere hensettingsområder er nærmere lokasjon ikke bestemt utover nærhet til jernbanestasjon.

I vurderingene av belastning er det lagt til grunn vinterbehov på maksimalt kontinuerlig 150 kW per hensettingsplass. For forsyning fra kontaktledning er det lagt til grunn en effektfaktor på 0,8 og kontaktledningsspenning på 15 kV.

Forslaget til banestrømforsyning inneholder både behov for strømforsyningsanlegg (omformerstasjoner, autotransformatorsystem for kontaktledningen) og tiltak i eksisterende fornyelsesplaner (autotransformatorsystem for kontaktledningen) uten forutgående teknisk behovsvurdering.

For banestrekninger i ytre InterCity-område (Tønsberg-Skien, Hamar-Lillehammer og Moss-Halden) pågår nå vurderinger av innsparingstiltak, det vil si tiltak som gir redusert utbyggingskostnad uten at det går særlig utover planlagt togproduksjon. Det kan resultere i at planlagte dobbeltspor ikke blir bygget og at det kan gjenstå parseller med enkeltspor. Slik endring kan likevel påvirke strømforsyningens kapasitet og tilgjengelighet til hensettingsområder negativt.

En oversikt over vurdering av forsyningen til hensettingsområdene er gitt i Figur 8.



Figur 7 Sammenstilling av foreslått banestrømforsyning for Oslo-området og første arbeidsutkast til hensettingskonsept i 2035. Hensettingsområder er angitt med tekst i lilla, grønn, rosa, gul eller sort etter mønser fra (8) figur 5-2. Tallet angir antall hensettingsplasser og S=servicefunksjoner type A, T=togvaskemaskin, V=verksted og W=toalettømming

8.1 16 2/3 Hz forsyning

Kostnaden med sikker forsyning 16 2/3 Hz til hensettingsområdene er vurdert ut fra

- Antall uavhengige forsyningsveger fra omformerstasjon eller større koblingshus
- Strømbelastning av hver enkelt forsyningsveg under antakelse at hensettingsområdet forsynes bare av denne ene alene

- Eventuelle mulige tiltak for å forbedre forsyningssikkerheten

Følgende belastningsgrenser er lagt til grunn for kontaktledningsanlegget:

- Enfase: Elutforming C (BT-system) med system 20 med kontinuerlig strømføringsevne på 600 A
- Tofase: Elutforming F (AT-system) med system 20 med kontinuerlig strømføringsevne på 1438 A

Merk at det er gode marginer i vurderingen. Den angitte maksimalbelastningen vil sannsynligvis kun oppstå når det er kaldt og behov for omfattende oppvarming. Da har kontaktledningsanlegget høyere strømføringsevne enn det som er lagt til grunn over.

Følgende fargekoder er benyttet for kontaktledningen dersom all strømmen går gjennom denne forsyningsvegen:

- Grønn: under 85 % belastet
- Gul: mellom 85 og 100 % belastet
- Rød: over 100 % belastet

I kolonne «Forsyningsveger 1-5» er de ulike forsyningsvegene angitt med «1» for enkeltspor og «2» for dobbeltspor, «BT» for elutforming A-D og «AT» for elutforming E-F, til hensettingsområder med følgende fargekoder:

- Grønn: Tilstrekkelig strømføringsevne i ett spor
- Gul: Behov for forsyning via to parallelle spor eller at ett spor er høyt belastet (85-100 %)
- Rød: Forsyningsvegen overbelastes selv når eventuelt begge spor i dobbeltspor fører strømmen

Ved vurdering av forsyningsvegene er det angitt hvor mange forsyningsveger som tåler forventet belastning:

- Grønn: flere enn to uavhengige eller dersom begge to er elutforming E med forbimatingsmulighet (bedre enn n-1)
- Gul: 2 uavhengige forsyningsveger (tilsvarer (n-1)
- Rød: færre enn to uavhengige forsyningsveger med mindre annet er oppgitt (oppfyller ikke n-1)

Det er kun for forsyningene til hensettingsanlegg i Drammen, Filipstad og OsloS/Haven/Lodalen det er identifisert belastningsstrøm i gul eller rød sone. For Filipstad og OsloS/Haven/Lodalen forventes ingen endring i hensettingskapasiteten sammenlignet med i dag.

Følgende hensettingsområder kommenteres spesielt:

- Drammen: Stort hensettingbehov og sannsynlig sted er mellom Drammen og Hokksund forsynt via enkeltspor BT-system som er over 85 % belastet. Mulig tiltak kan være forsterkningsleder eller egen avgang fra Drammen koblingshus med mateledning til hensettingsområdet/-ene for tilstrekkelig ytelse og uavhengighet fra banestrekningen. Estimert kostnad er 10 MNOK, men billigere om tiltaket hensyntas i eksisterende prosjekter. Dersom Drammen

omformerstasjon bygges i nærheten bør direkte mating til hensettingsområdet/-ene vurderes.

- Spikkestad: Hensettingsområdet for lokaltogene vil være ensidig matet fra Asker omformerstasjon. Denne omformerstasjonen blir sannsynligvis redusert til et koblingshus. Den ensidige matingen kan begrense tilgang til arbeid i eller nær ved spenningsatt kontaktledning og kreve frakobling. Investering i enten togvarmeanlegg eller mateledning til i størrelseorden 10 MNOK synes som en høy kostnad sammenlignet med nytten. Koordinering av vedlikeholdet med nedrigging av kjøretøyene i sommerhalvåret synes som rimelig løsning.
- Lillehammer: Hensettingsområdet flyttes til Hove 3 km fra Fåberg omformer. I utgangspunktet kan eksisterende enkeltspor med BT-system ha tilstrekkelig ytelse alene, men en må også hensynta godstrafikken som er stor på natten. Økt ytelse i Fåberg omformerstasjon og egen avgang til hensttingsområdet bør vurderes. Estimert kostnad er 7 MNOK for avgang og mateledning. Økt ytelse i Fåberg omformer kommer i tillegg.
- Ski: Det planlegges et omfattende hensettingsområde med opptil 55 hensettingsplasser for lokaltogene. På grunn av omfanget og redusert avhengighet mot banestrekningene anbefales egen avgang med mateledning fra Ski koblingshus til hensettingsområdet (eventuelt sammen med ett av sporene på det korte dobbeltsporet mot Kråkstad) med reservemulighet fra banestrekningen (eventuelt annet spor). Estimert kostnad er 7 MNOK, men billigere om tiltaket hensyntas i eksisterende prosjekter
- Moss/Sarpsborg/Fredrikstad: Flere hensettingsområder planlegges samtidig som det undersøkes innsparingsmuligheter i redusert omfang av dobbeltspor. Det reduserer strømføringsevnen og tilgjengeligheten. Mulig tiltak kan være å oppgradere kontaktledningsanlegget til autotransformatorsystem elutforming E med høye master for forbimating. Kostnad ikke estimert fordi anleggene nå planlegges nær Sarpsborg og ikke i Fredrikstad.
- Halden: Uendrede forhold sammenlignet med i dag, men endring av eksisterende mateledning fra Sarpsborg til autotransformatorsystem elutforming E kan redusere forbimatingsmuligheten dersom det ikke tillates å forsyne kun gjennom negativfasen.

8.2 50 Hz forsyning

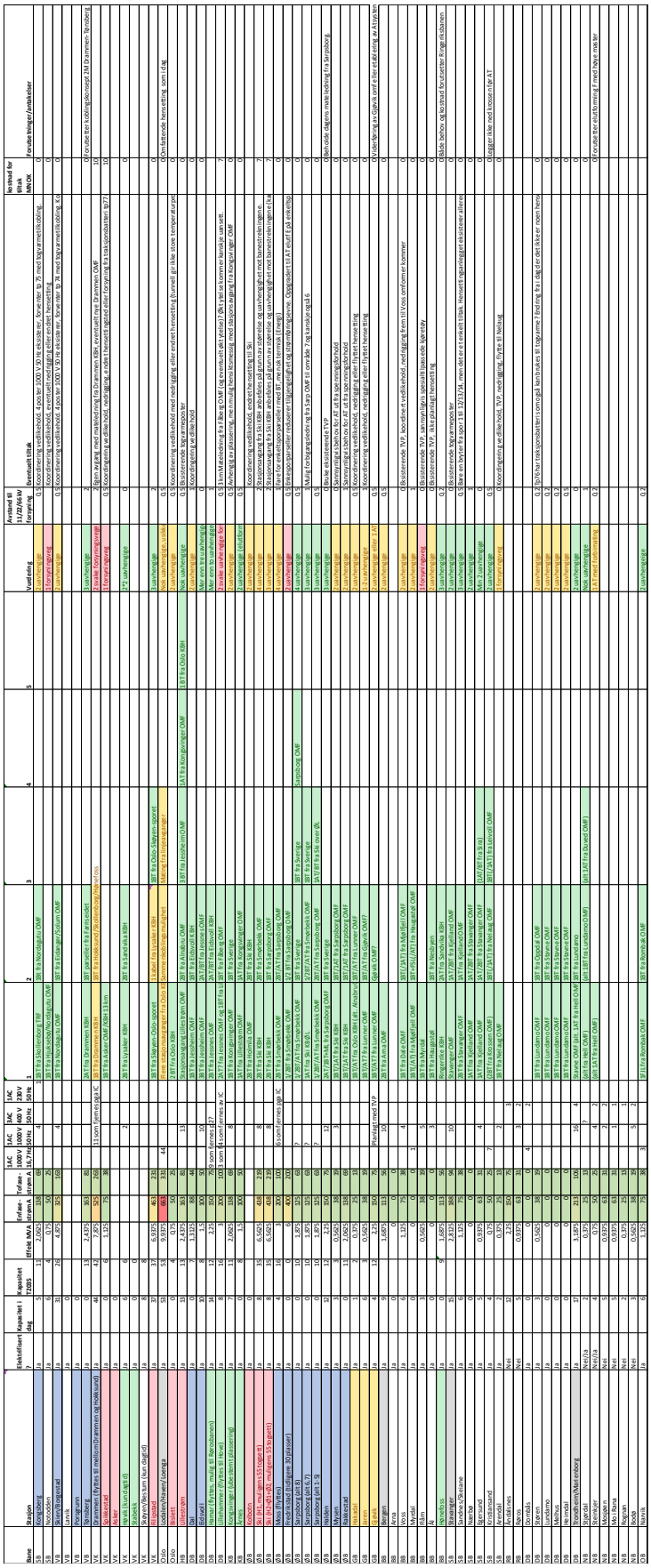
Kostnaden med forsyning 50 Hz til hensettingsområdene er vurdert basert på avstand fra antatt hensettingssted til nærmeste 11/22/66 kV trefaseforsyning. Det er lagt til grunn at 50 Hz togvarme vil utløse behov for tilknytning til nettnivå 3 alternativt 2 på grunn av togvarmeanlegget[21]. Avtanden er estimert ut fra NVEs kartkatalog over nettanlegg. Flere steder er registringene i katalogen svært mangelfull og det har vært nødvendig å estimere avstanden basert på sannsynligheten for utbygd 22 kV nett ut fra omgivelsene. Ved noen få anlegg er det tilgang til 22 kV-nett svært nær, for andre er det antatt opp til 2 km. For hensettingsanlegg med eksisterende 50 Hz togvarmeanlegg er avstanden satt til 0. Gjennomsnittlig avstand trefaseforsyning er basert på disse estimatene funnet til 600 m.

Bane NOR etablerer på noen banestrekninger egen langsgående infrastruktur-forsyning på 22 kV. Denne kan også være aktuell for forsyning av hensatte kjøretøy,

[21] For hensettingsområder uten togvarmeanlegg er det da implisitt i denne sammenligningen antatt at strømforsyningen på nettnivå 4 eller 5 på 400 V er tilstrekkelig for de øvrige elektriske installasjonene

men er ikke vurdert nærmere her. Det valget må tas av det enkelte prosjekt avhengig av kostnaden for tilstrekkelig kapasitet levert gjennom egen forsyning eller eksternt fra.

8.3 Oversikt over vurderinger



Figur 8 Oversikt over vurdering av forsyning til hensettingsområder.

9 VEDLEGG 3 VURDERING AV LIVSLØPSKOSTNADER

Dette vedlegget dokumenterer vurderingene som er lagt til grunn for kostnadssammenligningen av de ulike strømforsyningssystemene.

9.1 Generelt

Det legges til grunn en analyseperiode på 40 år og en kalkulasjonsrente på 4 %. I tillegg forenkles analysen ved å legge til grunn en levetid på anleggene lik analyseperioden. Vanligvis er det vanlig å regne levetid for jernbaneinfrastruktur er 70 år og jernbanekjøretøy 30 år. Diskontert restverdi ved analyseperiodens slutt vil da typisk være under 10 % ved lineær avskriving, hvilket her neglisjeres. Avhendingskostnader er ikke vurdert.

En sammenstilling av kostnadsestimatene er gitt i Figur 9.

9.2 Strømforsyningsutstyr til togvarme

Kostnaden for togvarmeanlegg ble estimert i fase 1 av arbeidet ved hjelp av mengder og nøkkeltall på overordnet nivå (analog og parametrisk estimering) basert på tidligere prosjekter. Det var imidlertid grunn til å mistenke overestimering på grunn av begrenset utvalg prosjekter tilgjengelig, uklar kostnadsavgrensning, mulig overdimensjonering og etablering av funksjoner det ikke er lenger vil være bruk for (jf. fase 1). Derfor er kostnad her estimert ved hjelp av nedenfra og opp-tilnærming.

Kostnaden er estimert ved hjelp av nedenfra og opp ressursbasert metode for et hensettingsområde med seks spor av 220 m, det vil si tolv hensettingsplasser.

For estimeringen er det lagt til grunn et dimensjonerende kontinuerlig effektforbruk på 150 kW per togsett (hensettingsplass) som i fase 1 ble funnet til å være typisk maksimalt vinteruttak.

Oppsummert kostnadsestimat er vist i Figur 10 og underlaget er beskrevet i de etterfølgende avsnittene.

9.2.1 System 1

9.2.1.1 Felles

Det er ikke tatt med kostnader til endring av eksisterende energiavregningssystem for å kunne skille mellom energi og effektforbruk ved togfremføring og hensetting i tilfelle ulike avgifter for de to tjenestene.

Det er forutsatt at fremtidige kjøretøy utformes slik at de er vanskelige å klatre på for tredjepart, alternativt at hensettingsområdet sikres tilstrekkelig. Da forventes det ikke høyspenningsulykker og konsekvensen av dem er derfor ikke tatt med i estimatet. En vanlig måte å hensynta slik risiko på er å anføre kostnaden av en forsikringspolise. Bane NOR har en ansvarspolise hvor risikoen ved eksisterende kjøretøy og hensettingsområder er omfattet. Egenandelen er 20 MNOK per skadetilfelle. Det er etter samtaler med forsikringsansvarlig avklart at reduksjon av risikoen ikke vil gi endring i forsikringspremien. System 1a 16 2/3 Hz

Strømforsyning til hensatte kjøretøy fra kontaktledning via strømavtaker utnytter i utgangspunktet eksisterende strømforsyningsutstyr benyttet til togfremføring og skifting. Banestrømforsyningen dimensjoneres for rush-perioder for persontrafikk og godstrafikk. Hensetting av persontogskjøretøy foregår utenfor persontrafikkens rush, men kan om natten sammenfalle med godstrafikkens rush.

I Vedlegg 2 Vurdering av forsyning til hensettingsområder estimeres nødvendige kostnader for sikker forsyning 16 2/3 Hz:

- Drammen: 10 MNOK
- Spikkestad: 10 MNOK
- Lillehammer: 7 MNOK
- Ski: 7 MNOK

Totalt estimeres tiltak (investeringskostnader) for 34 MNOK for landets 567 hensettingsplasser.

For sikker forsyning til alle hensettingsområder er det lagt til behov for tre fjernstyrte kontaktledningsbrytere, 1 km forbigangsledning og seksjonering av banestrekningens kontaktledning med seksjonsfelt. Det er mulig dette er løsninger som ville vært valgt uansett eller som på flere steder finnes allerede (ca halvparten).

I tillegg kommer eventuell driftskostnad for koordinering mellom hensetting og behov for frakobling på de stedene hvor forsyningssikkerheten er vurdert som tilstrekkelig (gul). Denne kostnaden er vanskelig å kvantifisere. Alternativkostnaden ved ingen koordinering og frakoblet kjøretøy er også vanskelig å kvantifisere (eks. kaldt, ikke rengjort togsett, tomt for vann og med ødelagt kjølemat settes forsinket i trafikk). Siden dette gjelder hensettingsområder med minimum tosidig mating gjør problemstillingen seg mest gjeldende i forbindelse med større avbrudd (arbeidshelger mv.) som er sjeldne (en til to ganger i året) og som må håndteres spesielt uansett. Det er derfor lagt til grunn en feil på redundant forsyningsveg samtidig med planlagt frakobling hvert 5. år som gjør at frakoplingen må avbrytes til en kostnad av 100 000 kr per tilfelle.

Ved å ikke bygge togvarmeposter kan det være et sparepotensiale i å redusere sporavstanden fra 5,1 til 4,7 m. Det er knyttet usikkerheter til dette estimatet på grunn av behov for sporavstand fra andre installasjoner og skifteprofil. Kostnaden er også vanskelig å estimere både pga. tomtepris og mulighet for utnyttelse. Denne innsparingsmuligheten er derfor ikke med i estimeringen.

9.2.1.2 System 1b 50 Hz

For system 1b med lokal strømforsyning på 25 kV 50 Hz på hensettingsområdet er det lagt til grunn følgende:

- Kostnad for selve kontaktledningsanlegget er lik som for 15 kV 16 2/3 Hz. Høyere isolasjonsnivå er antatt kompensert av større marked for 25 kV 50 Hz komponenter.
- Kostnader til forsyning fra distribusjonsnett 22 kV som omfatter koblingsanlegg, 0,6 km kabel i grøft, skillebryter og måler, samt behov for forsterkningstiltak på 1 MNOK/MW dimensjonerende effekt for 50 Hz forsyning.

- Lokal mating via 5 MVA transformator fra 22 kV 50 Hz linjespenning til 25 kV fasespenning med effekt og skillebryter på jernbanesiden (kanskje tilstrekkelig med lastskillebryter dersom effektbryteren i 22 kV koblingsanlegg kan benyttes. 5 MVA er vesentlig mer enn behovet, men er foreløpig lagt til grunn for å håndtere lavere overharmoniske fra diodelikeretting. For mer informasjon «depot problem» med tanke på overharmoniske og dynamiske fenomener som beskrevet i fase 1.
- Systemskilleseksjon type kort (8 meter) i tilførselsporet mellom banestrekningen (15 kV 16 2/3 Hz) og hensettingsområdet (25 kV 50 Hz) med fjernstyrt topolt lastskillebryter i parallell (en pol til sammenkobling og en pol til spenningsetting av nøytral seksjon). Kun statiske signaler 65 B og C ettersom skilleseksjonen normalt er ute.
- Begrensning på effektuttak ved skifting etc. på 1 MW per skift.

9.2.2 System 2 og 3

9.2.2.1 Felles

Togvarmeanlegg for tolv hensettingsplasser er estimert basert på

- Teknisk regelverk Lavspenning Prosjektering Togvarme og Felles elektro prosjektering
- Anbefalinger fra fase 1 av arbeidet, det vil si
    - Ikke behov for koordinering mellom togvarmeanlegg og kontaktledningsanlegg (eks. seksjonering og forrigling)
    - Automatisk gjeninnkobling av togvarmepost og overvåking av anlegget med varsel fjernt.

Estimatet er basert på et hensettingsområde med seks spor av 260 meter som vist på eksempelfigur 2-3 til 2-4 i (16), det vil si for tolv hensettingsplasser. Utformingen foreslår åtte togvarmeposter, det vil si fire spor med en post hver som forsyner ett dobbeltsett hver og to spor med to poster hver som kan forsyne enkeltsett. Dobbeltsettene foreslås sammenkoblet ved hjelp av løs togvarmekabel der det er mulig. Dette er rimeligere enn en ekstra togvarmepost.

Som et gjennomsnitt er det lagt til grunn

- Kostnader til forsyning fra distribusjonsnett 22 kV som omfatter koblingsanlegg, 0,6 km kabel i grøft, skillebryter og måler, samt behov for forsterkningstiltak på 1 MNOK/MW dimensjonerende effekt for 50 Hz forsyning.
- 100 m kabelføring fra togvarmetransformator til togvarmepost ved plassering av posten i enden av hensettingssporet og 200 m kabelføring ved plassering midt i hensettingssporet.
- Togvarmetransformator, inntaksmodul og fordelingsmodul i en typisk nettstasjonskiosk ved enden av hensettingssporene.
- Priser for arbeid når et nytt hensettingsområde etableres. Togvarmeanlegg på eksisterende hensettingsanlegg kan være mer kostbare på grunn av konflikt med drift av og eksisterende teknisk anlegg på området.

Det er ikke tatt med kostnader til utvikling og idriftsettelse av et energiavregningssystem for togvarmepostene.

Det er lagt til grunn tid for nedrigging/opprigging av ett togsett og tilkobling/frakobling av ett togsett til togvarmepost eller annet togsett på 15 minutter utført av lokfører til 1250 kr/time. Vy estimerer 30 minutter og Go Ahead 15-20 minutter for denne aktiviteten. Det synes mye og kan være basert på erfaring med eksisterende kjøretøy og togvarmeanlegg som kan være tungvinne å betjene. Det er videre lagt til grunn at hvert togsett hensettes seks ganger per uke. For system 4 uten strømforsyning er det lagt til grunn halvparten av betjeningstiden for kun nedrigging/opprigging.

For drift og vedlikehold er det lagt til grunn to dagsverk til gjennomsnittlig årlig vedlikehold (to personer bruker en dag inklusive transport) til hvert togvarmeanlegg. I tillegg kommer en utrykning en halv dag for to personer for feilretting eller nullstilling av alarm mv. Utdrag regnskapet i Tabell 3 viser 0,327 MNOK til forbyggende vedlikehold og fornyelse av 255 togvarmeposter i 2018. Det utgjør 1280kr per togvarmepost per år i tillegg til drift og feilretting.

Tabell 3 Drift, vedlikehold og fornyelseskostnader togvarmeanlegg

	2017	**2018**	**2019**
Drift og feilretting	Ikke mulig å identifisere for denne anleggstypen		
Forebyggende vedlikehold[22]	129 170	166 874	144 905
Fornyelse[23]		160 126	
Sum		**327 000**	

9.2.2.2 System 2 1000 V 16 2/3 Hz

Estimatet legger til grunn åtte togvarmeposter forsynt fra en 15/1 kV transformator på 2 MVA. Togvarmetransformatoren forsynes med 0,2 km kabel gjennom redundant tilkobling til banestrekningens kontaktledning som beskrevet for System 1. Hver togvarmepost dimensjoneres for 300 A. Dobbeltsett kobles sammen ved hjelp av løs togvarmekabel.

9.2.2.3 System 2 1000 V 50 Hz

Estimatet legger til grunn åtte togvarmeposter forsynt fra en 22/1,7 kV transformator på 2 MVA med tre inntaksmoduler. Alternativt kunne det vært brukt 22/1 kV transformator dimensjonert for skjevlast og kun to inntaksmoduler. Der er antatt at prisen er relativt lik. Hver togvarmepost dimensjoneres for 300 A. Dobbeltsett kobles sammen ved hjelp av løs togvarmekabel.

9.2.2.4 System 3 400 V 50 Hz 125 A

Estimatet legger til grunn tolv togvarmeposter forsyning fra en 22/0,4 kV transformator på 1 MVA med en inntaksmodul. 125 A (86 kW) er sannsynligvis for liten kapasitet til å forsyne ett togsett en vinternatt. Derfor får hvert togsett sin egen togvarmepost.

9.2.2.5 System 3 400 V 50 Hz 600 A

Estimatet legger til grunn tolv togvarmeposter forsynt fra en 22/0,4 kV transformator på 2 MVA med en inntaksmodul. Løsningen er ny og det er ikke kjent hvorvidt

[22] Aktivitet 525010 i regnskapet
[23] Prosjekt 829244, 896184 og 896190 i Drage

dobbeltsett kobles sammen på 400 V nivå. Derfor antas at hvert togsett krever egen togvarmepost.

9.2.3 System 4

Ingen etablering av togvarmeanlegg.

9.3 Strømforsyningsutstyr kontaktledningsanlegg

Hensettingsområder bygges i dag med kontaktledningsanlegg for strømforsyning til skifting mm. Fremtidige batteriløsninger i kjøretøy (traksjonsbatteri også kalt «last mile batteri») kan muliggjøre at skiftene er selvforsynt med energi og det ikke er behov for kontaktledningsanlegg på hensettingssporene og sporviften.

For å legge til rette for sammenligning med batteriløsninger om bord i kjøretøyene er kostnaden ved kontaktledningsanlegget estimert basert på estimatene for Tønsberg hensetting (17). Til 14 hensettingsplasser (sju hensettingsspor for dobbeltsett) er det estimert 5,3 km kontaktledningsanlegg uten tilpasning til togvarmeanlegg. Om lag 4 km av den lengden går til hensettingssporene og sporviften, resten er til ventespor, vaskespor og normalt tilkoblingsspor. Totalkostnaden for kontaktledningsanlegget er 13 MNOK pluss andel felleskostnader, totalt 22 MNOK. Det tilsvarer om lag 1,2 MNOK per hensettingsplass.

Årlig drift og vedlikehold av kontaktledningsanlegget på hensettingsområdet er antatt til 0,2 MNOK.

9.4 Kjøretøy

For kostnader til kjøretøy er fire europeiske kjøretøyprodusenter kontaktet. Tre av dem har svart og en av dem har kvantifisert kostnader. Felles for produsentene er at kjøretøyene utrustes etter kundens spesifikasjoner og prises deretter.

Teknisk økonomisk levetid for et jernbanekjøretøy er i størrelsesorden (JDIR) 30 år.

Det er lagt til grunn at kjøretøyene følger anbefalt praksis for tekniske løsninger som identifisert som tiltak i fase 1. Det gjelder spesielt automatisk gjeninnkopling ved avbrudd og diodelikeretting av nettstrømretterne for system 1. Disse egenskapene er ikke etablert som internasjonale eller nasjonale krav. Kjøretøyenes egenskaper vil variere fra leverandør til leverandør dersom det ikke stilles krav.

9.4.1 System 1

Forsyning via strømavtaker til hensatte kjøretøy utnytter samme elektriske utstyr som ved togfremføring og er derfor standardutrustning. Derfor estimeres ingen kostnad til dette.

Videre anses det som vanlig at kraftkrevende utstyr monteres på taket for å legge til rette for lavgulvsløsninger og størst mulig passasjerkapasitet. Intern fordeling av energi i kjøretøyene forventes iht. arkitekturen i TS 50534:2010. Det vil si at kjøretøy sannsynligvis leveres med 3x400 V uansett, det vil si system 3.

For forsyning på fra både 15 kV 16 2/3 Hz (system 1a) og 25 kV 50 Hz (system 1b) må kjøretøy håndtere begge systemer. Det er antatt en gjennomsnittlig ekstrakostnad

per kjøretøy på 2 MNOK ved nyanskaffelse. Eventuell ekstrakostnad vil variere for de ulike anskaffelsene og tilbyderne. For endring av eksisterende kjøretøy vil kostnaden sannsynligvis være høyere, minimum 3–4 MNOK.

9.4.2 System 2

1000 V togvarme 50 eller 16 2/3 Hz er ikke standard for motorvognsett og blir en spesialbestilling. Det eksisterer flere ulike løsninger:

- Transformering:
  - Kjøretøyets hovedtransformator har egen 1000 V vikling som spenningsetter transformatoren fra togvarmetilkoblingen. Denne løsningen har tradisjonelt vært benyttet og gir tomgangstap på 2–10 kW/transformator.
  - Kjøretøyet har egen togvarmetransformator som transformere til intern distribusjonsspenning uten å spenningssette hovedtransformatoren. Togvarmetransformatoren har mindre tomgangstap, men krever plass og har en vekt. Denne løsningen er bare kjent på tp74/75 og leverandørberegninger og interne simuleringer og viser at vekten på 2 tonn fører til 0,5–0,6 % økt energiforbruk for togfremføring.
- Fordeling:
  - Energien distribueres i togsettet via UIC 1000 V train line direkte til varmemotstander i hver vogn og til strømrettere for omforming til annet forbruk. Benyttet blant annet på tp74/75
  - Energien omformes via nettstrømretter eller egen strømretter til annet forbruk enn traksjon for fordeling på 400 V til forbrukere i kjøretøyet.
  - Blanding av de to løsningene over.

En av leverandørene har estimert en materialkostnad for 1000 V forsyning på 25–35 kEUR per togsett for løsningen med togvarmetransformator eller for forsyning fra 1000 V vikling på en hovedtransformator. I tillegg kommer engineering og arbeid. Det legges derfor til grunn et estimat på 0,5 MNOK per togsett i investeringskostnad.

Etter konferering med Norske tog er det lagt til grunn et vedlikeholdsbehov på 3 timer per år for togvarmeløsningen på tp74/75. Tiden domineres av vedlikeholdsbehov for togvarmetransformatoren.

I 2029 (se Figur 5) vil 230[24] eksisterende kjøretøy ha løsningen for system 2 og det må anskaffes 152 nye kjøretøy med løsningen.

9.4.3 System 3

400 V shore supply angis som standard arkitektur i TS 50534:2010. prEN 50546:2018 angir følgende tre ytelser, henholdsvis 63 A (lav), 125 A (medium) og 600 A (høy effekt). 63 A og 125 A løsningene har samme tilkoblingsplugg.

En av leverandørene har estimert en materialkostnad for 400 V 63 A eller 125 A løsning til 6–10 kEUR per togsett. I tillegg kommer engineering og arbeid. Dette synes høyt sammenlignet med prisen for system 2. Likevel legges til grunn et estimat på 0,1 MNOK per togsett i investeringskostnad. For 600 A løsning økes estimatet med 10 %.

[24] 206 eid av Norske tog + 24 flytogsett

Det er antatt et vedlikeholdsbehov tilsvarende en time per år.

Ingen kjøretøy i dag har denne løsningen med unntak av tp78 som utrustes med 2 stk 63 A tilkoblinger i parallell.

9.4.4 System 4

Uten strømforsyning ved hensetting må kjøretøyene eventuelt være selvforsynte, det vil si ha energilager eller -kilde om bord. Flere leverandører tilbyr traksjonsbatterier for skifting etc. på elektriske motorvognsett og større kapasitet er under utvikling for togfremføring. Tp76 vi ha batterikapasitet til togfremføring og kan dermed også benyttes ved hensetting for kortere tid.

For hensetting en vinternatt er det behov for i størrelsesorden 150 kW i åtte timer. Det tilsvarer 1,2 MWh og vil kreve et batteri i størrelsesorden 2 MWh.

9.5 Energi

9.5.1 Forbruk

9.5.1.1 Effektforbruk

Energiforbruk i hensatte motorvognsett varierer som vist i fase 1 svært mye basert på ute/innetemperatur, type togsett osv. Vy oppgir følgende erfaringstall for ulike typer motorvognsett forsynt via strømavtaker i perioden 2016-2018 for hensetting og driftspauser:

- Tp69: 51 kW
- Tp70: 71 kW
- Tp72: 104 kW
- Tp73: 130 kW
- Tp74: 59 kW
- Tp75: 61 kW

På lang sikt er det kjøretøy tp74/75 og nyere som kommer til å dominere persontrafikken og energiøkonomisering vektlegges i fremtidige anskaffelser. Derfor legges et gjennomsnittlig forbruk på 60 kW per togsett til grunn for analysen forsynt via strømavtaker (system 1).

Ved system 4 (ingen strømforsyning) er det lagt til grunn et effektbehov på 250 kW for temperaturregulering i en halv time seks dager i uken. Dette representerer et åpenbart overestimat.

9.5.1.2 Brukstid

Hensettingsgraden, som er andel tid over året til hensetting og driftspauser,, er lagt til grunn for det gjennomsnittlige effektforbruket i kapittel 9.5.1.1 varier mellom 49 og 81 %.For tp 74/75 er denne typisk rundt 60 %. Del av hensettingsgraden antas som så korte driftspauser (vending mv.) hvor det ikke er aktuelt å benytte togvarmeanlegg og hvor kjøretøyet likevel vil være forsynt fra kontaktledningen (system 1). I beregningene er det lagt til grunn 42 % brukstid av togvarmeanlegg basert på snittet av ett togsett som hensettes 8 timer per døgn og ett togsett som hensettes 8 timer per døgn på hverdager og 24 timer per døgn i helgene.

9.5.1.3 Tap

De ulike forsyningsmetodene kan gi ulike tap i kjøretøyet. System 1 forutsetter spenningssetting og tomgangstap i hovedtransformator samt at noen støttesystemer er aktive, for eksempel kompressor for trykkluft for å holde strømavtaker oppe. Dette er inkludert i tallene for gjennomsnittlig effektforbruk i kapittel 9.5.1.1.

For system 2 finnes iallfall to ulike utforminger med ulike tap:

- 1000 V vikling: Antar 5 kW tomgangstap per hovedtransformator og 1 % belastningstap, og hensettingsgrad 42 % gir årlige tap på 17 MWh. Under forutsetning av at forbruk ved system 1 og 2 er likt, er disse tapene inkludert i tallene for gjennomsnittlig effektforbruk i kapittel 9.5.1.1, på samme måte som for system 1.
- Egen togvarmetransformator med vekt på 2 tonn, 1 kW tomgangstap og 5 % belastningstap. Den økte vekten bidrar til økt energiforbruk i trafikk (0,5 %) og ved kjørte 250 000 km per år til 35 Wh/Btkm utgjør det 14 MWh økt energiforbruk per år. Transformatortapene representerer i tillegg 14 MWh.

Differansen mellom de to metodene er 11 MWh per år. Siden det generelt legges tp74/75 til grunn i kostnadsestimeringen er tilsvarende energiforbruk lagt til grunn som en årlig driftskostnad.

For system 3 tilkommer ingen ekstra vekt eller transformator som gir tap. Ved å legge til grunn samme gjennomsnittlige effektforbruk som for system 1 i kapittel 9.5.1.1 bør en kunne trekke fra tomgangstapene. For system 3a kan fratrekket kun gjøres når forbruket er under 125 A, men for enkelthets skyld er det ikke gjort.

Nyere kjøretøy optimeres mtp. energiforbruk gjennom livstiden gjennom valg av tekniske løsninger og energistyring av disse i drift. Derfor er det lagt til grunn at kun en av eventuelt flere hovedtransformatorer spenningsettes ved system 1 og 2. For eldre kjøretøy har det vært vanlig at det er noen støttesystemer som er aktive ved system 1 som ikke er aktive ved system 2. Dette er ikke hensyntatt i beregningene for fremtidige kjøretøy som her.

9.5.1.4 Effektfaktor

Ved hensetting med forsyning via strømavtaker synes det som i diodelikeretting av strømretterne med en induktiv effektfaktor på 0,8. Dette er «state of the art» for å redusere tap, overharmoniske og dynamiske fenomener. Effektfaktoren kan forbedres dersom varmemotstandene forsynes direkte fra hovedtransformatoren og ikke via en strømretter. Slik er det løst på tp 74/75, men ikke mulig etter arkitekturen gitt i TS 50543:2010. Derfor legges 0,8 til grunn for system 1.

Variasjonene i 1000 V utforming gir tilsvarende mulighet for å forsyne varmemotstander direkte eller via strømretter. Arkitekturen i TS 50543:2010 krever omforming, men 1000 V er uansett utenfor standarden. UIC krever høyere effektfaktor enn 0,85 og dette legges til grunn for system 2.

For forsyning på 400 V angir arkitekturen i TS 50543:2010 direkte tilkobling av HVAC. Varmemotstandene kan derfor være direkte tilkoblet. Derfor legges effektfaktor 0,9 til grunn for system 3.

9.5.2 Kraftkostnader

9.5.2.1 Kraftpris

Uansett strømforsyningssystem som legges til grunn oppgir StormGeos utsikter for det nordiske kraftmarkedet 2019-2045 (16) en gjennomsnittlig kraftpris på 41 EUR/MWh som en forenkling (og som også er estimert som kraftprisen i 2035). Virkelig utsikt er tilnærmet lineær økning fra 37 i 2020 til 48 i 2045. I mangel av annen kvalifisert input antas at dagens kronekurs rundt 10 NOK/EUR vil holde seg. Det gir en kraftpris på 410 kr/MWh.

9.5.2.2 Administrasjonskostnad

Energi Marked foreslår å videreføre dagens tariff for administrasjon av krafthandel på

- 4 kr/MWh for 16 2/3 Hz
- 6 kr/MWh for 50 Hz

9.5.3 Nettkostnader

9.5.3.1 Ekstern nettleie omformerstasjoner

Ekstern nettleie for omformerstasjoner avhenger av blant annet stedlig tilknytning til netteier og nettnivå (0, 1, 2 og 3). Siden 16,7 Hz nettet er samkjørt er tariffen for jernbaneforetakene lik i hele nettet. Den er over doblet siden 2013 til 120,3 kr/MWh i 2019. Energi Marked forventer at nettleien minimum vil holde seg på dette nivået og 2019 prisen legges derfor til grunn i analysen. Ved en fremtidig utvikling til færre og større omformerstasjoner tilknyttet på høyt nettnivå kan nettleia reduseres, men det hensyntas ikke.

9.5.3.2 Ekstern nettleie togvarmeanlegg

På samme måte som for omformerstasjoner varierer den stedlige eksterne nettleia av tilknytningspunktet til netteier. Seneste år NVE ga ut statistikk over nettleie var i 2013. Typisk nettleie for 2019 er funnet som et gjennomsnitt av de sju største netteierne langs jernbanen. NVE forventer at nettleien for husholdningskunder øker med 30 % (nominelt) fra 2017 til 2025 (28). Derfor er det estimert med gjennomsnittspris vinter for 2019 pluss 30 %, det vil si:

- Fastledd: 22 638 kr/tilknytningspunkt/år
- Effektledd: 890 000 kr/MW/år
- Energiledd: 42,4 kr/MWh

Siden effektleddet ofte bestemmes per måned er det lagt til grunn fire vintermåneder per år med maksimalforbruk på 150 kW og resterende åtte måneder med maksimalforbruk på 60 kW.

Det hefter betydelig usikkerhet rundt dette estimatet.

9.5.3.3 Tap i kontaktlednings-, matestasjons- og fjernledningsanlegg

For analysen legges det til grunn gjeldende tariff for 2019 for Sør-Norge:

- Omformingstap 10 %
- Overføringstap 3 %

Disse tapssatsene ga balanse i avregningen for 2018. Fremtidig er det forventet at andel energiforbruk som overestimeres via bruttotonnkilometerrapportering reduseres og at tapssatsen derfor vil øke. Samtidig kan fremtidig utvikling av banestrømforsyningen til statiske omformere og autotransformatorsystem påvirke tapene.

9.5.3.4 Tap togvarmeanlegg

Tapene i et togvarmeanlegg domineres av hovedtransformatoren mellom nettspenning og togvarmespenning. Tabell 4 viser tap i togvarmetransformatorer lagt til grunn for de ulike systemene. For enkelthets skyld er det regnet lineær og ikke kvadratisk fordeling av belastningstapene. Det representerer en overestimering.

Tabell 4 Tap i togvarmetransformatorer

	System 2 16 2/3 Hz	System 2 50 Hz	System 3 50 Hz
Tomgangstap [kW]		2,5	1,2
Belastningstap [kWtap/kVAbelast, %]		0,70	0,85
Verdiene er basert på		2,5 MVA 22kV/1kV togvarmetransformator i Flåm 4 MVA 22kV/1730 V togvarmetransformator Eidsvoll hensetting	2MVA 22kV/415V Møre Trafo OTW81078

9.5.3.5 Administrasjonskostnad

Energi Marked foreslår å videreføre dagens tariff for administrasjon av nett på

- 11 kr/MWh for 16 2/3 Hz
- 5 % av ekstern nettleie (fastledd, effektledd og energiledd) for 50 Hz

9.6 Sammenstilling

			System		**System 1a**	**System 1b**	**System 2a**	**System 2b**	**System 3a**	**System 3b**	**System 4**
			Strømforsyning		**15 000V 16 2/3**	**25 000 V 50 Hz**	**1000 V 16 2/3 H**	**1000 V 50 Hz**	**400 V 50 Hz 12**	**400 V 50 Hz 60**	**Ingen strømfo**
			Spesifikasjon		**med kl**	**med kl**	**med kl**	**med kl**	**med kl**	**med kl**	**med kl**
Strømforsyningsutstyr				**kr**	**1 384 512**	**2 277 656**	**2 170 641**	**2 170 641**	**2 045 971**	**2 252 855**	**1 185 984**
				kr/år	**18 333**	**19 167**	**19 167**	**19 167**	**19 167**	**19 167**	**16 667**
			Antall hensettingsplasser		495	12	12	12	12	12	12
			Timepris vedlikeholdspersonell	kr/h	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250
	Kontaktledningsanlegg										
		Basiskostnad anskaffelse		kr	1 185 984	1 185 984	1 185 984	1 185 984	1 185 984	1 185 984	1 185 984
		Årlig drift og vedlikehld		kr/år	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667	16 667
	Togvarmenalegg										
		Basiskostnad anskaffelse		kr	198 528	1 091 673	984 657	984 657	859 987	1 066 871	-
		Årlig drift og vedlikehold		kr/år	1 667	2 500	2 500	2 500	2 500	2 500	-
			Tid per togvarmeanlegg	h/år	-	24	24,0	24,0	24,0	24,0	0
	Anskaffelsesandel				39 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
			Eksisterende		23	-	200	131	-	-	1
			Må anskaffes		15	1	271	340	1	1	-
Kjøretøy				**kr**	**100 000**	**2 100 000**	**500 000**	**500 000**	**100 000**	**110 000**	**100 000**
				kr/år	**1 250**	**1 250**	**206 019**	**206 019**	**196 250**	**196 250**	**98 750**
			Timepris lokfører/togelektriker	kr/h	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250	1 250
	Basiskalkyle anskaffelse ekstern strømforsyni			kr	100 000	2 100 000	500 000	500 000	100 000	110 000	100 000
	Basiskalkyle anskaffelse ombordbatteri			kr	-	-	-	-	-	-	-
	Drift og vedlikehold			kr/år	1 250	1 250	11 019	11 019	1 250	1 250	1 250
			Tid	h/år	1	1	3	3	1	1	1
			Tillegg energiforbruk for økt vekt	MWh/år	0	0	11	11	0	0	0
	Betjening (tillegg togvarmepost)			kr/år	-	-	195 000	195 000	195 000	195 000	97 500
			Tid	h/gang	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
			Betjening	ganger/år	312	312	312	312	312	312	312
	Anskaffelsesandel			%	0 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %
			Eksisterende	antall	1	0	230	230	0	0	1
			Må anskaffees	antall	0	1	152	152	1	1	0
Energikostnad				**kr/år**	**145 879**	**196 022**	**146 573**	**196 022**	**163 756**	**183 504**	**25 772**
			Innstallert effekt	MW	4,5	4,5	0,25	0,25	0,09	0,25	4,5
			Maksimalforbruk	MW	0,15	0,15	0,15	0,15	0,09	0,15	0,25
			Gjennomsnittsforbruk	MW	0,06	0,06	0,06	0,06	0,055	0,055	0,25
			Hensettingsgrad/Brukstid	%	42 %	42 %	42 %	42 %	42 %	42 %	2 %
			Effektfaktor	%	80 %	80 %	85 %	85 %	90 %	90 %	80 %
			Årsforbruk	MWh/år	221	221	221	221	202	202	39
			Antall måneder med vintertariff	mnd/år	4	4	4	4	4	4	4
	Nettkostnader			*kr/år*	*47 865*	*97 567*	*48 559*	*97 567*	*73 505*	*93 253*	*8 456*
		Nettleie eksternt nett		kr/år	30 581	91 489	30 729	91 489	68 902	87 710	5 403
			Fastledd	kr/år		1 887		1 887	1 887	1 887	
			Effektledd	kr/MW/år		890 000		890 000	890 000	890 000	
			Energiledd	kr/MWh	120,3	42,4	120,3	42,4	42,4	42,4	120,3
		Nettleie internt nett		kr/år	17 284	6 078	17 829	6 078	4 603	5 543	3 053
			Energiavhengige tap	%	0,15	0,01	0,16	0,01	0,01	0,01	0,15
			Tomgangstap	MW		0,000208333	0	0,000208333	0,0001	0,0001	
			Administrasjonskostnad	kr/MWh	11		11				11
			Administrasjonskostnad	%		5 %		5 %	5 %	5 %	
		Tap		MWh	33	3	35	3	3	3	6
	Kraftkostnad			*kr/år*	*98 014*	*98 455*	*98 014*	*98 455*	*90 251*	*90 251*	*17 316*
			Kraftpris	kr/MWh	410	410	410	410	410	410	410
			Administrasjonskostnad	kr/MWh	4	6	4	6	6	6	4
			Opprinnelsesgaranti	kr/MWh	30	30	30	30	30	30	30
		Total kraftpris		kr/MWh	444	446	444	446	446	446	444
Sum engangskostnader				kr	1 484 512	4 377 656	2 670 641	2 670 641	2 145 971	2 362 855	1 285 984
Sum årlige kostnader					165 462	216 439	371 758	421 208	379 172	398 921	141 189
			Kalkulasjonsrente	%	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %	4 %
			Analyseperiode	år	40	40	40	40	40	40	40
Totalkostnad (nåverdi)				**kr**	**4 759 467**	**8 661 584**	**10 028 769**	**11 007 517**	**9 650 842**	**10 258 599**	**4 080 504**

Figur 9 Sammenstilling av kostnadsestimering

Anleggsdel	Komponent	Beskrivelse	Merkedata	Enhet	Materiell og Kilde	System 1	15 000V 16 2/3		System 3b		25 000 kV 50		System 2a		1000 V 16 2/3		System 2b		1000 V 50 Hz		System 3a		400 V 50 Hz		System 3b		400 V 50 Hz		System 4		Ingen strøm	
						Mengde	Kostnad		Mengde		Kostnad		Mengde		Kostnad		Mengde		Kostnad		Mengde		Kostnad		Mengde		Kostnad		Mengde		Kostnad	
Strømforsyning																														
Høyspentinnganlegg																														
	Redundant forsyning fra banens kontaktledningsanlegg	Fjernstyrt lastskillebryter	1x15 kV 16 2/3 Hz	stk	113 000 Koblingskonsept	3,0	339 000		1,0	113 000			3,0	339 000																
		Føringsrer fjernstyrt lastskillebryter		km	472 675 Antatt som for 22 kV kabel	0,5	236 338		1,0	472 675																				
		Seksjonsfelt kontaktledning	1x15 kV 16 2/3 Hz	stk	281 000 Kobligskonsept	1,0	281 000						1,0	281 000																
		Kabel 15 kV	1x15 kV 16 2/3 Hz	km	293 529 Antatt som for 22 kV kabel		-			-			0,2	58 706																
		Grøft for kabel		km	472 675		-			-			0,2	94 535																
		Overspenningsvern kabel	1x15 kV 16 2/3 Hz	stk	19 140 Koblingskonsept		-			-			1,0	19 140																
		Forbigangsledning	1x15 kV 16 2/3 Hz	km	183 290 Koblingskonsept for Negativleder 300 mm2 Al i travers og isolato	1,0	183 290		0,1	18 329			1,0	183 290																
		Nettforsterkning for øvrig	1x15 kV 16 2/3 Hz	stk	68 687 Vedlegg VURDERING AV FORSYNING TIL HENSETTINGSOMRÅDER	12,0	824 242			-			12,0	824 242																
		Systemskilleseksjon	1x15 kV 16 2/3 Hz 1x25 kV 50 Hz	stk	2 000 000		-		1,0	1 000 000																				
							-			-																				
		Innføring fra distribusjonsnettet	Nettforsterkning for øvrig	3x22 kV 50 Hz	MW	1 000 000 Antatt		-		5,0	5 000 000						2,0	2 000 000	1,0	1 000 000	2,0	2 000 000								
			Koblingsanlegg tilkobling (1 EB og 2 SB)	3x22 kV 50 Hz	stk	200 000 Tilbud på Høvik (172 000-232 000)		-		1,0	200 000						1,0	200 000	1,0	200 000	1,0	200 000								
			Kabel 22 kV	3x22 kV 50 Hz	km	293 529 Plankok for TSLE/TSLF 3x150 mm2 Al		-		0,6	176 117						0,6	176 117	0,6	176 117	0,6	176 117								
			Grøft for kabel		km	472 675 Plankok for forstad		-		0,6	283 605						0,6	283 605	0,6	283 605	0,6	283 605								
			Skillebryter og måler	3x22 kV 50 Hz	stk	50 000 Antatt		-		1,0	50 000						1,0	50 000	1,0	50 000	1,0	50 000								
							-			-																				
	Lavspenningsanlegg	Lavspenningsfordeling	Med installasjon i kiosk	3x0,4 kV 50 Hz	stk	100 000 Antatt		-	0,5	50 000			1,0	100 000			1,0	100 000	1,0	100 000	1,0	100 000								
		Lavspenningsforsyning	Lokal transformator eller fra teknisk hus	3x22/0,4 kV 50 Hz	stk	200 000 Antatt ut fra Planbok		-	1,0	200 000			1,0	200 000			1,0	200 000												
							-			-																				
Togvarmeanlegg							-			-																				
Transformator																														
	Transformator		1x15/1kV 16 2/3 Hz 2 MVA	stk	1 000 000 Antatt, spesialbestilling som sikkert er dyrere enn 50 Hz		-			-			1,0	1 000 000																
	Transformator		2x22/1x25 kV 50 Hz 5 MVA	stk	2 000 000 Antatt, spesialbestilling		-		1,0	2 000 000																				
	Transformator		3x22/1,7 kV 50 Hz 2 MVA	stk	600 000 Erfaring Lillestrøm hensetting og Estimert basert på REN Planbok		-			-							1,0	600 000												
	Transformator		3x22/0,4 kV 50 Hz 1 MVA	stk	430 000 Estimert basert på REN Planbok		-			-								-			1,0	430 000								
	Transformator		3x22/0,4 kV 50 Hz 2 MVA	stk	600 000 Estimert basert på REN Planbok		-			-								-				-			2,0	1 200 000				
	Effektbryter		1x15 kV eller 1x1 kV 16 2/3 Hz	stk	393 000 Gjennomsnitt tilbud tidligere prosjekter		-			-			1,0	393 000			1,0	393 000												
	Effektbryter med skillefunksjon		1x25 kV 50 Hz	stk	393 000 Antatt lik pris som 16 Hz, masseproduseres nok for andre land		-		1,0	393 000																				
	Effektbryter		3x22 kV 50 Hz	stk	100 000 Antatt		-			-											1,0	100 000			1,0	100 000				
							-			-																				
Fordelingsskap																														
	Inntaksmodul	Inntaksmodul (SB, jord og SSK)	1x1 kV 16 2/3 Hz	stk	265 400 Antatt		-			-			1,0	265 400																
		Inntaksmodul (SB, jord og SSK)	3x1,7 kV 50 Hz	stk	265 400 Gjennomsnitt tidligere prosjekter		-			-							3,0	796 200												
		Inntaksmodul (SB, jord og SSK)	3x0,4 kV 50 Hz for 125 A	stk	100 000 Antatt		-			-								-			1,0	100 000								
		Inntaksmodul (SB, jord og SSK)	3x0,4 kV 50 Hz for 600 A	stk	150 000 Antatt		-			-								-				-			1,0	150 000				
	Fordelingsmodul	Fordelingsmodul (LB, jord, SRO inkl vern	1x1 kV 16 2/3 Hz 150 A	stk	151 200 Antatt som 50 Hz		-			-			8,0	1 209 600																
		Fordelingsmodul (LB, jord, SRO inkl vern	1x1 kV 50 Hz 150 A	stk	151 200 Gjennomsnitt tilbud tidligere prosjekter		-			-							8,0	1 209 600												
		Fordelingsmodul (LB, jord, SRO inkl vern	3x0,4 kV 50 Hz 125 A	stk	95 000 Antatt ut fra listepriser		-			-								-			12,0	1 140 000								
		Fordelingsmodul (LB, jord, SRO inkl vern	3x0,4 kV 50 Hz 250 A	stk	110 000 Antatt ut fra listepriser		-			-								-				-			12,0	1 320 000				
		Funksjoner energimåling og SRO		RS	100 000		-		1,0	100 000			1,0	100 000			1,0	100 000			1,0	100 000								
		Fjernstyring (deler kost med SPV-varme)		RS	100 000 Antatt		-		1,0	100 000			1,0	100 000			1,0	100 000			1,0	100 000								
							-			-																				
Togvarmepost																														
		Kabel 1000 V	1x1 kV 50 Hz el 16 2/3 Hz 300 A	km	87 000 Bruker 12 kV PEX isolert 240 mm2 Al som masseproduseres til 87 kr/m		-			-			1,0	87 000			1,0	87 000												
		Returleder 1000 V	1x1 kV 50 Hz el 16 2/3 Hz 300 A	km	87 000 Bruker 12 kV PEX isolert 240 mm2 Al som masseproduseres til 87 kr/m		-			-			1,0	87 000			1,0	87 000												
		Kabel 400V 125 A	3x0,4 kV 50 Hz + nøytral 125 A	km	115 702 Planboka for TKXP 1 kV 50 mm2		-			-								-			1,8	208 264								
		Kabel 400V 600 A	3x0,4 kV 50 Hz 250 A	km	200 000 Antatt		-			-								-				-			1,8	360 000				
		Grøft for kabel		km	472 675 Som for 22 kV kabel		-			-			1,0	472 675			1,0	472 675			1,8	850 815			1,8	850 815				
		Styrekabel	Alle strømsystemer	km	250 000 Skippenud		-			-			1,0	250 000			1,0	250 000			1,8	450 000			1,8	450 000				
		Togvarmepost med betjening	Alle strømsystemer	stk	150 000 Billigste tilbud tidligere 148 000, Ski 2012 160 000		-			-			8,0	1 200 000			8,0	1 200 000			12,0	1 800 000			12,0	1 800 000				
		Fleksikabel med plugger)	Alle strømsystemer	stk	15 000 Antatt		-			-			8,0	120 000			8,0	120 000			12,0	180 000			12,0	180 000				
		Sammenkoblingskabel dobbeltsett med	Alle strømsystemer	stk	20 000 Antatt		-			-			4,0	80 000																
							-			-																				
Bygning																														
	Kiosk			stk	100 000 Eks Mære teknikkhus		-		1,0	100 000			1,0	100 000			1,0	100 000			1,0	100 000			1,0	100 000				
	Ringgjerd			RS	10 000		-		1,0	10 000			1,0	10 000			1,0	10 000			1,0	10 000			1,0	10 000				
	Fundament			RS	50 000		-		1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000				
	Grunnarbeider			RS	50 000		-		1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000				
	Inngjerding		Ekstrakostnad ved økt høyde fra 1,8 til 2,5 m med piggtråd	m	588 Energi erfaring 2300 kr/m justert med høydeforhold 1,8/2,5		-			-								-				-				-				
							-			-																				
Øvrig prosjekt																														
	Entreprenørkostnader	Prosjektering, bygg, rigg etc.		RS	1 000 000	0,1	100 000		0,5	500 000			1,0	1 000 000			1,0	1 000 000			1,0	1 000 000			1,0	1 000 000			-	-
	Test og idriftsettelse			RS	50 000 Ski hensetting	0,1	5 000		1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000			1,0	50 000			-	-
Sum							1 968 870			10 916 726				8 726 588				9 765 197				8 826 802				10 580 537				
	Byggherrekostnader	Prosjektledelse		%	10		196 887			1 091 673				872 659				976 520				882 680				1 058 054				
	Uspesifiserte kostnader			%	10		216 576			1 091 673				959 705				1 074 172				938 148				1 163 859				
Basiskalkyle							2 382 333			13 100 072				10 556 752				11 815 889				10 319 949				12 802 450				
Antall kjøretøy/kost per kjøretøy						12,0	198 528		12,0	1 091 673			12,0	879 729			12,0	984 657			12,0	859 987			12,0	1 066 871			12,0	-
Antall togvarmepost/kost per togvarmepost						-	#DIV/0!		-	#DIV/0!			8,0	1 319 594			8,0	1 476 986			12,0	859 987			8,0	1 600 306			8,0	-

Figur 10 Kostnadsestimat strømforsyningsutstyr til togvarme