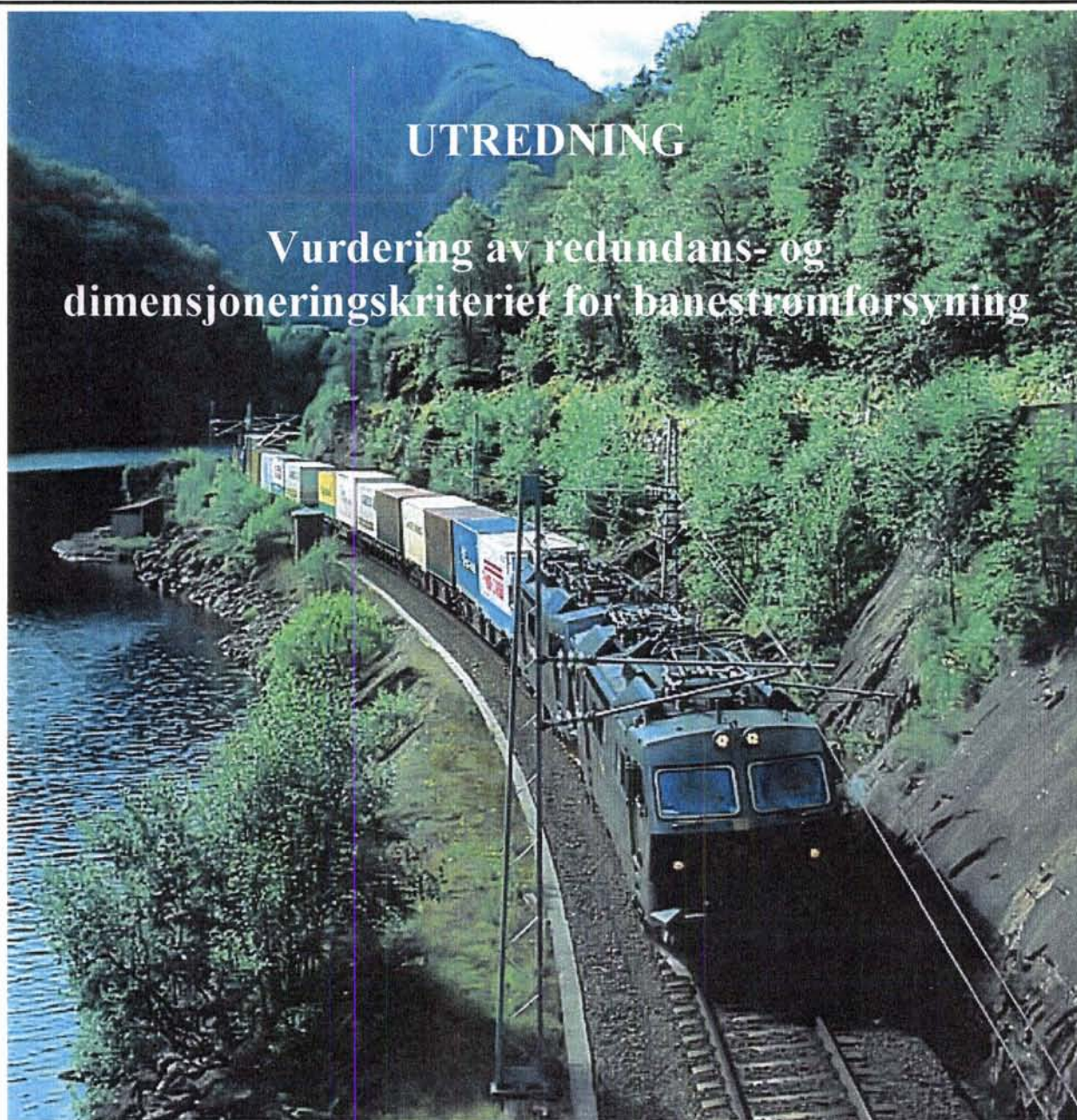


# UTREDNING

## Vurdering av redundans- og dimensjoneringskriteriet for banestromforsyning



000	Utgitt	06.12.05	SD <i>[Signature]</i>	FM+M <i>[Signature]</i>	FJ <i>[Signature]</i>
Rev.	Revisjonen gjelder	Dato	Utarb. av	Kontr. av	Godkj. av
<b>Vurdering av redundans- og dimensjoneringskriteriet for banestromforsyning</b> <b>Elkraft, banestromforsyning</b> <b>Utredning</b>		Ant. sider	Emneord1	Energiforsyning	
		119	Emneord2	Matestasjoner	
			Emneord3	Spenning	
			Produzent		
		Prod. dok. nr.			
		Erstatning for			
Erstattet av					
		Dokument nr.			Rev. <b>000</b>
 <b>Jernbaneverket</b>		Dokument nr.	<b>200404562-17X</b>		Rev.

## FORORD

Dette prosjektet ble påbegynt av Jernbaneverket Infrastruktur Utbygging Prosjektjenester (IUP) på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknikk Premiss og utvikling Elkraft (ITPE). Prosjektet ble overført fra IUP til ITPE sammen med intern overføring av ressursene. Prosjektgruppen har bestått av Frank Martinsen og Steinar Danielsen.

Oppgaven var i utgangspunktet å gjøre en overordnet vurdering av dagens kriterium for banestrømforsyningen, men har etter hvert utviklet seg til en relativt omfattende og detaljert studie på flere punkter. Å utrede krav til kvalitet og redundans i banestrømforsyningen er en kompleks og sammensatt oppgave. Det gjenspeiles også i kriteriet som er blitt relativt omfattende, men forhåpentligvis en rettsnor for hvilken kvalitet Jernbaneverket skal ha på den elektriske energiforsyningen til togframføring.

Det er arrangert høringsmøte internt i Jernbaneverket med bakgrunn i det foreslåtte kriteriet. Underlag fra møtet og kommentarer fra deltakerne er gitt i dokument 200404562-16X.

2005-12-06  
Steinar Danielsen

## INNHold

<b>FORORD</b> .....	<b>2</b>
<b>INNHold</b> .....	<b>3</b>
<b>1 INNLEDNING</b> .....	<b>7</b>
1.1 BAKGRUNN.....	7
1.1.1 Dagens kriterium.....	7
1.2 MÅL OG HENSIKT.....	7
1.3 METODIKK.....	7
1.4 TERMINOLOGI.....	8
<b>2 KRAV</b> .....	<b>9</b>
2.1 OVERORDNEDE KRAV TIL INFRASTRUKTUR.....	9
2.1.1 Handlingsprogrammet.....	9
2.1.2 Sportilgangsavtalen.....	9
2.1.3 Krav i Vedlikeholdshåndboka 1B-Ve.....	9
2.1.4 Utfordringer og valg.....	9
2.2 NORMERTE KRAV TIL SPENNING.....	10
2.2.1 prEN50163:2003.....	10
2.2.2 IEC 60850:2000.....	11
2.2.3 prEN 50388:2004.....	11
2.2.4 Tolkning av normene.....	11
2.2.5 EN 50160.....	11
2.2.6 TSI (Technical Specifications for Interoperability).....	12
2.3 TREKKRAFTMATERIELLETS KRAV TIL SPENNING.....	12
2.3.1 Trekkraft som funksjon av spenning.....	12
2.3.2 Spenningsavhengig utstyr.....	13
2.4 RUTEPLANENES KRAV TIL SPENNING.....	13
2.5 LOKOMOTIVFØRERS BESKRIVELSE AV SPENNINGEN.....	14
2.6 KRAV TIL TILGJENGELIGHET.....	14
2.6.1 Krav i Teknisk Regelverk Prosjektering Banestrømforsyning JD 546.....	14
2.6.2 Krav i Teknisk Regelverk Vedlikehold Banestrømforsyning JD 548.....	14
2.6.3 Krav fra trafikkutøver.....	15
<b>3 SPENNINGENS INNVIRKNING PÅ TREKKRAFT OG FREMFØRINGSTID</b> .....	<b>16</b>
3.1 KRAV TIL REDUSERT EFFEKTUTTAK SOM FUNKSJON AV SPENNINGEN.....	16
3.2 SPENNINGENS INNVIRKNING PÅ TREKKRAFTEN.....	16
3.3 SPENNINGENS INNVIRKNING PÅ HASTIGHET OG FREMFØRINGSTID – STILISERT STUDIE.....	17
3.4 SPENNINGENS INNVIRKNING PÅ FREMFØRINGSTIDEN – MER REELL STUDIE.....	20
3.5 DISKUSJON.....	22
<b>4 EKSEMPEL PÅ ET TOGS SPENNING OG VURDERING AV DENNE</b> .....	<b>25</b>
4.1 ULIKE METODER FOR VURDERING AV SPENNING.....	25
4.1.1 Minimal spenning.....	25
4.1.2 Umeanuseful.....	26
4.1.3 Spenningsfordeling.....	26
4.1.4 Varighetskurve.....	26
4.1.5 Tidsvektet varighetskurve.....	27
4.1.6 Neseurve (PU-kurve).....	28
4.1.7 Spenning og ruteplan.....	30
4.2 VURDERING AV ULIKE METODER.....	30
<b>5 DAGENS KVALITET PÅ ENERGIFORSYNINGEN</b> .....	<b>32</b>
5.1 FORSINKELSER PÅ GRUNN AV MANGLENDE/REDUSERT ENERGIFORSYNING.....	32
5.2 EKSEMPLER PÅ SPENNINGSKVALITET.....	33
5.2.1 Oslo-området.....	33
5.2.2 Dovrebanen.....	35
5.2.3 Bergensbanen.....	35

5.2.4	Sørlandsbanen.....	36
5.2.5	Ofofbanen.....	37
5.2.6	Kort diskusjon.....	37
5.3	DAGENS PROBLEMER MED BANESTRØMFORSYNINGEN .....	38
5.3.1	El 16 på Bergensbanen .....	38
5.3.2	Type 73 på Bergensbanen.....	38
5.3.3	El 18 generelt.....	38
5.3.4	Type 72 på Jærbanen.....	39
5.3.5	El 16 på Sørlandsbanens vestre del.....	39
5.3.6	El 16 Dovrebanen.....	39
5.3.7	Bruk av RC-lokomotiver.....	39
5.3.8	Gjøvikbanen.....	39
5.4	TRAFIKKUTØVERNES ERFARINGER .....	39
5.5	TILGJENGELIGHET OG PÅLITELIGHET FOR DAGENS BANESTRØMFORSYNINGSANLEGG.....	40
5.5.1	Tilgjengelig effekt vektet på omformerytelse.....	40
5.5.2	Gjennomsnittlig utilgjengelighet.....	40
5.5.3	Alvorlige feil på aggregater og stasjoner .....	40
5.5.4	Fordeling av feilårsaker for stasjoner .....	41
5.5.5	Tid for retting av feil.....	41
5.5.6	Bortfall av trefase mating til omformerstasjoner.....	41
5.5.7	Planlagt vedlikehold .....	42
5.5.8	Redundans.....	42
5.5.9	Kort diskusjon.....	42
5.6	KORT DISKUSJON.....	42
<b>6</b>	<b>KOSTNADER VED MANGLENDE INFRASTRUKTUR .....</b>	<b>44</b>
6.1	KOSTNADER VED FORSINKELSE .....	44
6.1.1	Eksempel på forsinket godstog.....	44
6.1.2	Eksempel på isolatorfeil på Dovrebanen.....	45
6.2	KOMPENSASJONSORDNINGER VED MANGLENDE INFRASTRUKTUR.....	45
6.2.1	KILE.....	45
6.2.2	Dagens sportilgangsavtale.....	45
6.2.3	Til vurdering i ny sportilgangsavtale.....	46
6.2.4	Ytelsesordning.....	46
6.2.5	Konklusjon .....	46
<b>7</b>	<b>KOST/NYTTEVURDERING AV KVALITET PÅ ENERGIFORSYNINGEN .....</b>	<b>48</b>
7.1	ENKEL VURDERING AV KRAV TIL SPENNING .....	48
7.1.1	Inndata.....	48
7.1.2	Resultater .....	49
7.1.3	Diskusjon.....	50
7.2	ENKEL TILLEGGSVURDERING AV KRAV TIL REDUNDANS PÅ FJERNSTREKNINGER .....	51
7.3	ENKEL TILLEGGSVURDERING AV KRAV TIL REDUNDANS I OSLO-OMRÅDET.....	52
7.3.1	Sannsynlighet for sammenbrudd.....	52
7.3.2	Kostnader ved sammenbrudd.....	53
7.3.3	Kostnader for å unngå sammenbrudd.....	53
7.3.4	Diskusjon og konklusjon .....	54
<b>8</b>	<b>BEHOV FOR EFFEKT .....</b>	<b>56</b>
8.1	EFFEKTBEHOV .....	56
8.2	FREMTIDIG TRAFIKK .....	56
8.2.1	Terminologi.....	56
8.2.2	Ruteplanlegging.....	57
8.2.3	Utvikling av strekninger.....	57
8.2.4	Kapasitet .....	58
8.3	FREMTIDIG TREKKRAFTMATERIELL .....	58
<b>9</b>	<b>KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN .....</b>	<b>60</b>
9.1	GRUNNLEGGENDE KRAV TIL SPENNING .....	60
9.1.1	Krav til normal spenning for tog.....	61
9.1.2	Redusert krav til spenning for tog.....	62
9.1.3	Oppsummert og konkretisert.....	62

9.1.4	Diskusjon.....	63
9.2	SITUASJONER MED ULIKE KRAV TIL SPENNING.....	65
9.2.1	Normal driftsituasjon og normal driftsituasjon med avvik som ofte kan forventes med normalt krav til spenning.....	65
9.2.2	Avvikssituasjoner med redusert krav til spenning.....	66
9.2.3	Unormal driftsituasjon med redusert krav til spenning.....	66
9.2.4	Unormal driftsituasjon uten krav til spenning.....	67
9.2.5	Diskusjon av krav til håndtering av avvikssituasjoner.....	68
9.2.6	Diskusjon av kravet til redundans.....	68
9.3	TILGJENGELIGHET.....	70
9.3.1	Krav til tilgjengelighet mot enkelthendelser.....	70
9.3.2	Overordnet krav til tilgjengelighet.....	72
9.3.3	Diskusjon av tilgjengelighet.....	72
9.4	INNDATA OG MARGINER.....	73
9.4.1	Inndata.....	73
9.4.2	Marginer.....	74
9.4.3	Diskusjon av ruteplaner.....	75
9.4.4	Diskusjon av marginer i drift og dimensjonering.....	75
<b>10</b>	<b>FORSLAG TIL NYTT KRITERIUM I JD 546.....</b>	<b>76</b>
10.1	OVERORDNET KRAV.....	76
10.2	SPENNINGSKRAV.....	76
10.3	KRAV TIL BEHANDLING AV DRIFTSITUASJONER (REDUNDANSKRAV):.....	77
10.4	TILGJENGELIGHETSKRAV.....	79
10.5	BELASTNINGSKRAV (STRØM-/EFFEKTKRAV).....	80
10.6	TRAFIKKRAV.....	81
<b>11</b>	<b>FORSLAG TIL NY TEKST I JD 548.....</b>	<b>82</b>
11.1	ENERGIFORSYNINGENS KVALITET.....	82
<b>12</b>	<b>FORSLAG TIL VIDERE ARBEID.....</b>	<b>83</b>
12.1	OVERORDNET KRAV TIL INFRASTRUKTUR TILGJENGELIGHET.....	83
12.2	VIDERE UNDERSØKELSER AV STRØM- OG TEMPERATURBEGRENSERE.....	83
12.3	KOORDINERING AV KRAV OG TEKST.....	83
12.4	REAKTIV KOMPENSERING.....	83
<b>13</b>	<b>KILDER OG REFERANSER.....</b>	<b>84</b>
<b>14</b>	<b>VEDLEGG.....</b>	<b>87</b>
<b>VEDLEGG 1 EPOSTKORRESPONDANSE MED MARKUS MEYER.....</b>	<b>88</b>	
EPOST 1 – SPØRSMÅL.....	88	
EPOST 2 – SVAR.....	89	
EPOST 3 – TILLEGGSPØRSMÅL.....	90	
EPOST 4 – UTDYPENDE SVAR.....	91	
<b>VEDLEGG 2 PARAMETERE FOR MODELL MED LOKOMOTIV.....</b>	<b>93</b>	
<b>VEDLEGG 3 VARIGHETSKURVE FOR EFFEKTUTTAK FOR STILISERT SIMULERING AV TOG 5705.....</b>	<b>95</b>	
<b>VEDLEGG 4 FREMFØRINGSTID TOG 5705 MED EL14 OG EL16.....</b>	<b>96</b>	
<b>VEDLEGG 5 FREMFØRINGSTID TOG 5705 MED EG 3100 OG SVAKT NETT.....</b>	<b>98</b>	
<b>VEDLEGG 6 FORSINKELSER PÅ GRUNN AV BANESTRØMFORSYNINGEN.....</b>	<b>100</b>	
<b>VEDLEGG 7 NØKKELTALL FOR FORSINKELSESKOSTNADER.....</b>	<b>104</b>	
<b>VEDLEGG 8 KOSTNADER VED ULIKE SPENNINGSKRAV.....</b>	<b>105</b>	
V8.1 KOSTNADER FOR KONVENJONELT SYSTEM FOR BANESTRØMFORSYNING.....	105	

V8.1.1 Spenning 14-15 kV for konvensjonelt anlegg.....	105
V8.1.2 Spenning 13 – 13,5 kV for konvensjonelt anlegg.....	106
V8.1.3 Spenning 12 – 12,5 kV for konvensjonelt anlegg.....	107
V8.1.4 Kostnader for å unngå feil i konvensjonelt anlegg og normal spenning 14 – 15 kV.....	107
V8.1.5 Kostnader for å unngå feil i konvensjonelt anlegg og normal spenning 13 – 13,5 kV.....	108
V8.1.6 Kostnader for å unngå feil i konvensjonelt anlegg og normal spenning 12 – 12,5 kV.....	108
V8.2 KOSTNADER FOR AT-SYSTEM.....	108
V8.2.1 Spenning 14 – 15 kV for AT-system.....	109
V8.2.2 Spenning 13 – 13,5 kV for AT-system.....	110
V8.2.3 Spenning 12 – 12,5 kV for AT-system.....	110
V8.2.4 Kostnader for å unngå feil i AT-system og normal spenning 14 – 15 kV.....	111
V8.2.5 Kostnader for å unngå feil i AT-system og normal spenning 13 – 13,5 kV.....	112
V8.2.6 Kostnader for å unngå feil i AT-system og normal spenning 12 – 12,5 kV.....	112
V8.3 OPPSUMMERING OG KOSTNAD PÅ KM.....	112
V8.4 REFERANSER.....	112
<b>VEDLEGG 9 INNDATA FOR OG UTREGNING AV KOST/NYTTEVURDERING.....</b>	<b>113</b>
<b>VEDLEGG 11 REDUNDANS I ANDRE JERNBANETEKNISKE ANLEGG.....</b>	<b>114</b>
SIGNAL.....	114
TELE.....	114
BANE.....	115
OPPSUMMERING.....	115
<b>VEDLEGG 12 BERGNING AV TOTAL NEDETID.....</b>	<b>116</b>
<b>VEDLEGG 13 PROSJEKTFORSLAG OVERORDNET INFRASTRUKTUR TILGJENGELIGHET ...</b>	<b>118</b>

Forsidefoto: Kjell Hegna: Godstog 5502 med dobbel E116 ved Dalevågen juli 2004.

## 1 INNLEDNING

### 1.1 Bakgrunn

Teknisk Regelverk prosjektering banestrømforsyning (JD 546) stiller krav til dimensjonering og redundans i banestrømforsyningen kalt redundans- og dimensjoneringskriteriet. ITPE ønsker en gjennomgang av dette kriteriet og en eventuell oppdatering i forbindelser med et kommende behov for reinvestering og forsterkning av den elektriske energiforsyningen til togframføring.

#### 1.1.1 Dagens kriterium

Dagens redundans- og dimensjoneringskriterium er å finne i JD 546 kap. 5 pkt. 2.

*Ved forsterkning av energiforsyningen på en gitt strekningen skal følgende ivaretas og dokumenteres:*

1. Det skal utarbeides trafikkprognose for de neste 5-10 år. Trafikkprognosen skal godkjennes av Jernbaneverket Hovedkontoret.
2. Energiforsyningen skal dimensjoneres slik at spenningen på strømvaktaker ikke underskrider 13,5 kV i en normal driftssituasjon\*.
3. Energiforsyningen dimensjoneres slik at utfall av en mateenhet\*\* i én matestasjon ikke fører til overbelastning av andre mateenheter i samme stasjon eller nabostasjoner. I Oslo-området\*\*\* skal energiforsyningen dimensjoneres slik at det ikke fører til overbelastning av mateenheter i matestasjonene med en mateenhet planlagt ute av drift i en matestasjon og samtidig utfall av en mateenhet i en annen matestasjon. Dimensjonerende belastning\*\*\*\* legges her til grunn.
4. Energiforsyningen dimensjoneres slik at spenningen på strømvaktaker ikke underskrider 12,0 kV ved utfall av en mateenhet\*\* i en matestasjon. Dersom stasjonen kun består av en mateenhet vil kravet ikke gjelde.

\* Med normal driftssituasjon menes her belastning etter utarbeidet trafikkprognose og uten utfall av mateenheter\*\* i en matestasjon.

\*\* Med mateenhet menes her en omformerenhet i en omformerstasjon eller en transformator i en transformatorstasjon i forbindelse med en fjernledning.

\*\*\* Med Oslo-området menes her banestrekningene med baneprioritet 1 i østlandsområdet.

\*\*\*\* Med dimensjonerende belastning menes her høyeste påregnelige timelast, høyeste påregnelige 6 min verdi og høyeste påregnelige 2 s verdi, angitt av utarbeidet trafikkprognose inkludert et ytterligere påslag i belastningen på +20 %.

### 1.2 Mål og hensikt

Hensikten med dette arbeidet er å skaffe til veie fakta som underlag for en gjennomgang av kriteriet. Det skal også lages et konkret forslag til nytt kriterium som skal diskuteres internt i Jernbaneverket.

### 1.3 Metodikk

Arbeidet har for det meste gått ut på å skaffe til veie underlag nok til å foreslå et eventuelt nytt kriterium. I prosessen har en både utført små undersøkelser selv og vært i kontakt med ulike enheter i Jernbaneverket og hos trafikkutøverne som kan sitte med nyttige opplysninger eller meninger.

En har sendt epost med spørsmål til NSB AS, Flytoget AS, CargoNet AS og Ofotbanen AS (ikke svart), samt avholdt møte med CargoNet AS.

Det er naturlig at redundans- og dimensjoneringskriteriet ses i sammenheng med en del andre krav til energiforsyningen i teknisk regelverk, for eksempel krav til tilgjengelighet for matestasjoner.

Rapporten er bygd opp rundt flere små undersøkelser som danner grunnlag for utarbeidelse av nytt kriterium. For hver av undersøkelsene finnes et diskusjonsavsnitt som tar for seg den konkrete undersøkelsen. Til slutt finnes et kapittel som tar for seg nytt kriterium og som diskuterer dette.

## **1.4 Terminologi**

Det er generelt forsøkt å benytte de definisjonene og den terminologien som gjelder for Teknisk Regelverk.

Spesielt har en brukt ordet ”energiforsyning” i den hensikt å omtale leveransen av elektrisk energi helt fram til forbruker/trafikkutøver (det vil i praksis si tog) og ikke bare leveranse til kontaktledningsnett slik som definert i teknisk regelverk i dag. Med andre ord ser en banestrømforsyningsanlegg og kontaktledningsanlegg under ett.



## 2 KRAV

### 2.1 Overordnede krav til infrastruktur

Det er i dag begrenset hvilke overordnede konkrete krav som stilles til Jernbaneverkets infrastruktur. Flere av kravene som stilles er ikke systematisk delt i fagfelt.

Tilgjengelighetsmålene i forhold til forsinkelse omfatter både feil på infrastruktur, trafikkstyring og forsinkelse forårsaket av trafikkutøvere.

#### 2.1.1 Handlingsprogrammet

I foreliggende utkast til "Handlingsprogram for Jernbaneverket 2006-2015" ([15]) lese følgende på side 21: *"Strømforsyningen må bygges ut i takt med resten av infrastrukturelementene slik at den ikke blir en flaskehals for fremføring av lengre og tyngre godstog"*.

#### 2.1.2 Sportilgangsavtalen

I sportilgangsavtalen ([19]) som Jernbaneverket tegner med trafikkutøvere, finner en følgende: *"Det jernbanenett som stilles til TUs disposisjon skal være i en slik stand at rullende materiell kan fremføres uten å bli påført skade eller unødvendig slitasje. Jernbanenettet skal videre være i en slik stand at trafikken kan avvikles i samsvar med den til enhver tid gjeldende ruteplan og/eller de til enhver tid gjeldende ruteplanforutsetninger."*

#### 2.1.3 Krav i Vedlikeholdshåndboka 1B-Ve

Jernbaneverkets vedlikeholdshåndbok (1B-Ve) kapittel 3 definerer begrepet "god infrastruktur" som *"pålitelige anlegg som ikke gir store tidstap med forsinkelser, og som gir lave avvikskostnader"*. "God infrastruktur" karakteriseres gjennom en del måltall for de ulike anleggene og fagområdene. For elkraft er det bare kontaktledning som er tatt med. Et godt kontaktledningsanlegg har mindre enn 0,2 feil med driftsforstyrrelse per mil per år.

Generelt skal infrastrukturen vedlikeholdes slik at:

- Tidstap på grunn av planlagte arbeider og ikke planlagte saktekjøringer er mindre enn 1 minutt per 10 mil
- Forsinkelser på grunn av feil i infrastrukturen er mindre enn 50 timer per million togkilometer per år

#### 2.1.4 utfordringer og valg

I en rapport oversendt samferdselsdepartementet med overorde valg for jernbanesektoren ([31]) er det i kapittel 4.7.2 "Sårbarhet og beredskap" sagt følgende om krav til redundans og tilgjengelighet:

*"I innstilling S.nr.9 (2002-2003) fra forsvarskomiteen og justiskomiteen – Veien til et mindre sårbart samfunn, legger komiteene vekt på transportsektorens store samfunnsmessige betydning. Komiteen sier i sin innstilling at transport er et viktig vurderingstema både i forhold til ulykker og i forhold til hvilke tjenester som skal ytes i kriser og krig."*

*At Norge har ulike transportmidler er i seg selv en redundans for at samfunnet skal kunne fungere mest mulig normalt under en krise som oppstår plutselig eller som utvikler seg over tid. Når en regional krise oppstår er det av vital betydning at øvrige geografiske områder av landet fungerer tilnærmet normalt. Innen jernbanesektoren vil dette være et aktuelt spørsmål*

*i forbindelse med trafikkstyring og strømforsyning. 80% av togproduksjonen er basert på elektrisk drift, mens dieseldrevet togdrift bare utgjør ca. 20%. Dette er derfor en kritisk situasjon dersom strømforsyning for togdrift faller ut i større regioner eller hele landet. Det samme gjelder trafikkstyring som er en vital funksjon for fremføring av tog. Trafikkstyringen må fungere selv om man mister forbindelsene mellom landsdelene.*

*Når man skal vurdere trussel innen jernbanesektoren generelt opp mot samfunnets behov for transporttjenester er det først og fremst tjenester knyttet til nasjonale, regionale og lokale sivile kriser som må vurderes. Jernbanesektorens betydning under krigstrussel eller krig er i de senere år sterkt nedtonet. Hovedmålet med samferdselsberedskap er å få samfunnets sivile behov til å fungere så godt som mulig.*

*Det er viktig for beredskapen at hver landsdel hver for seg, kan være lokalt styrt og ha tilstrekkelig kunnskap, ressurser og tekniske muligheter til drive togproduksjon under en krise i andre landsdeler eller regioner. Rent nasjonalt og militært er forbindelsen fra Østlandet til Trondheim, Nord-Norge, Bergen, Stavanger og utlandet av størst betydning. Naturskapte hendelser som ras, flom store snøfall osv. i ulike dalfører og fjellområder er årvisse hendelser. Jernbanenettet, togene og driftsopplegget må ha tilstrekkelig robusthet og beskyttelse for å tåle vinterforhold, uvær, vanskelig topografi og glatte kjøreveger.”*

## 2.2 Normerte krav til spenning

### 2.2.1 prEN50163:2003

Normen EN 50163 ([1]) omtaler krav til spenning på togets strømtakere. prEN 50163:2003 stiller følgende:

- Varigheten av spenning mellom  $U_{\min 1}$  og  $U_{\min 2}$  skal ikke overstige 2 minutter.
- Varigheten av spenning mellom  $U_{\max 1}$  og  $U_{\max 2}$  skal ikke overstige 5 minutter.
- Spenningen på matestasjonens samleskinne skal være mindre eller lik  $U_{\max 1}$ .
- I normal drift skal spenningen ligge mellom  $U_{\min 1}$  og  $U_{\max 1}$ .
- Under unormal drift skal ikke spenning mellom  $U_{\min 1}$  og  $U_{\min 2}$  forårsake skader eller feil
- Dersom spenningen kommer opp mellom  $U_{\max 1}$  og  $U_{\max 2}$ , skal den være mindre enn eller lik  $U_{\max 1}$  for et uspesifisert tidsprom. Spenning mellom  $U_{\max 1}$  og  $U_{\max 2}$ , skal bare forekomme under midlertidige betingelser som ved regenerativ bremsing eller speningsregulering som for eksempel ved trinnkopling på transformatorer.
- Under unormal drift er  $U_{\min 2}$  den laveste spenning som rullende materiell er bygd for å operere under.

De ulike spenningsnivåene er gitt i tabell 2-1. Normal drift er definert som trafikk med rutetabell, togsammensetning/-vekt og trekraftmateriell som er lagt til grunn for dimensjonering av banestrømforsyningen og at banestrømforsyningens komponenter belastes i henhold til respektive standarder for belastning.

Tabell 2-1: Spenningsnivåer i normer

Betegnelse	Spenning	Beskrivelse
$U_{\min 2}$	11 000 V	Minimal midlertidig spenning
$U_{\min 1}$	12 000 V	Minimal permanent spenning
$U_n$	15 000 V	Nominell spenning
$U_{\max 1}$	17 250 V	Maksimal permanent spenning
$U_{\max 2}$	18 000 V	Maksimal midlertidig spenning

Maksimal spenning og overspenninger er ikke tema i denne vurderingen.

### 2.2.2 IEC 60850:2000

IEC 60850:2000 ([2]) forholder seg til de samme spenningsgrensene (tabell 2-1) som prEN 50163:2003, men stiller litt ulike krav:

- Varigheten av spenning mellom  $U_{\min 1}$  og  $U_{\min 2}$  kan maksimalt være 10 minutter.
- Varigheten av spenning mellom  $U_{\max 1}$  og  $U_{\max 2}$  kan maksimalt være 5 minutter.

Det er antatt, selv om en ikke finner det skrevet noe sted, at denne normen egentlig er erstattet av EN 50163.

### 2.2.3 prEN 50388:2004

prEN 50388:2004 benytter EN 50163 som underlag, men definerer gjennomsnittsspenningen  $U_{\text{mean useful}}$  for et tog og et område som en metode for å bestemme kvaliteten på spenningen. Metoden for beregning av gjennomsnittsspenningen er hentet fra et dokument hos UIC ([4]).

$U_{\text{mean useful}}$  (område/Zone) er en gjennomsnittsverdi av spenningen for alle tog i et geografisk område i den perioden hvor trafikken er størst. Alle tog tas med enten de står stille, trekker effekt, bremses regenerativt eller "coaster". Størrelsen gir en indikasjon på spenningskvaliteten for et helt område.

$U_{\text{mean useful}}$  (tog/train) er gjennomsnittsverdien av spenningen for hvert enkelt tog i samme simulering, men beregnes bare for den tiden toget trekker effekt. Det vil si at tiden det står stille, bremses regenerativt og "coaster" ikke tas med. Det toget med den laveste gjennomsnittsspenningen er det toget som har mest restriksjoner for å akselerere på grunn av lav spenning og kalles for det dimensjonerende toget.

Akseptanskriteriet er at  $U_{\text{mean useful}}$  både for et tog og et område er minimum 13 500 V for "classical lines" som de fleste av våre jernbanestrekninger faller inn under. I tillegg skal spenningen ikke underskride  $U_{\min 1}$  i tabell 2-1. For høyhastighetsbaner og oppgraderte linjer vil tilsvarende krav til  $U_{\text{mean useful}}$  være 14 200 V.

### 2.2.4 Tolkning av normene

I forbindelse med dette arbeidet er en blitt litt i tvil om hvordan prEN 50388 skal tolkes og hvilke vurderinger som ligger bak kravene til spenning og automatisk strømbegrensning (se kapittel 2.3.1). En har derfor vært i kontakt med Markus Meyer som satt i arbeidsgruppen WG C11 for EN 50388. Epostkorrespondansen finnes i vedlegg 1. Følgende kan punktvis oppsummeres:

- Konseptet med  $U_{\text{mean useful}}$  er kun et minimumskrav, ikke noe designkriterium.
- Infrastruktureier kan gjerne sette strengere krav til spenningen, spesielt dersom lav spenning for konsekvenser for togframføringen.
- Kravet til  $U_{\text{mean useful}}$  er koordinert med kravet til automatisk strømbegrensning som gir ca 1/3 reduksjon i trekraften.

### 2.2.5 EN 50160

EN 50160 er en norm som beskriver krav til spenning for offentlige energiforsyningsleveranser for spenningsnivå opp til 35 kV. Normen er ikke utarbeidet med tanke på jernbane, men enkelte trafikkutøvere synes å ha vurdert å likevel stille tilsvarende krav til Jernbaneverkets energiforsyning. Derfor tas dette med i denne rapporten. For spenningsnivå 1-35 kV stilles det krav til at 95 % av 10 minutters middelvei av spenningen for en uke i

normal drift skal være innenfor nominell spenning  $\pm 10\%$ . Med andre ord kan spenningen for et tog være under 13,5 kV i 5 % av tiden (det vil si 1,2 timer i døgnet eller 8,4 timer i uka).

## 2.2.6 TSI (Technical Specifications for Interoperability)

I skrivende stund er arbeidet med TSI for energiforsyningen som også omfatter såkalte "conventional lines" i oppstartsfasen, men ikke formelt startet. Resultatene er vanskelig å forutsi, men det skal mye til at det er store avvik fra europanormene.

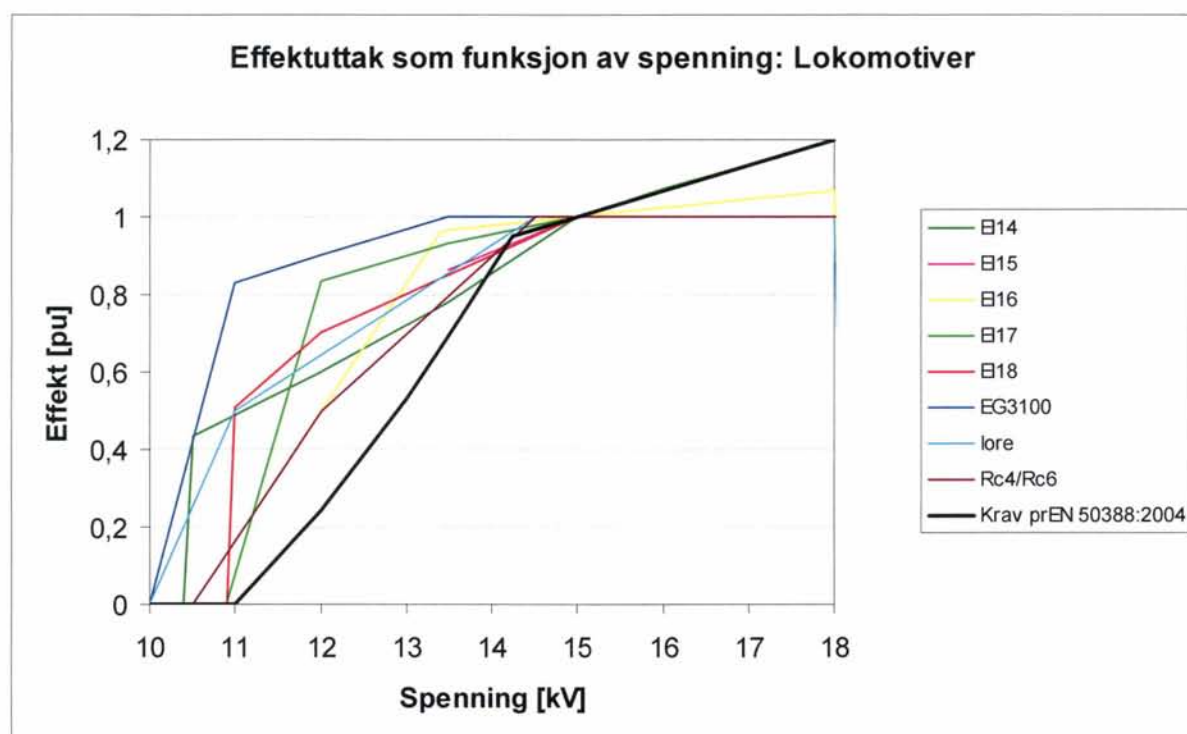
## 2.3 Trekkraftmateriellets krav til spenning

### 2.3.1 Trekkraft som funksjon av spenning

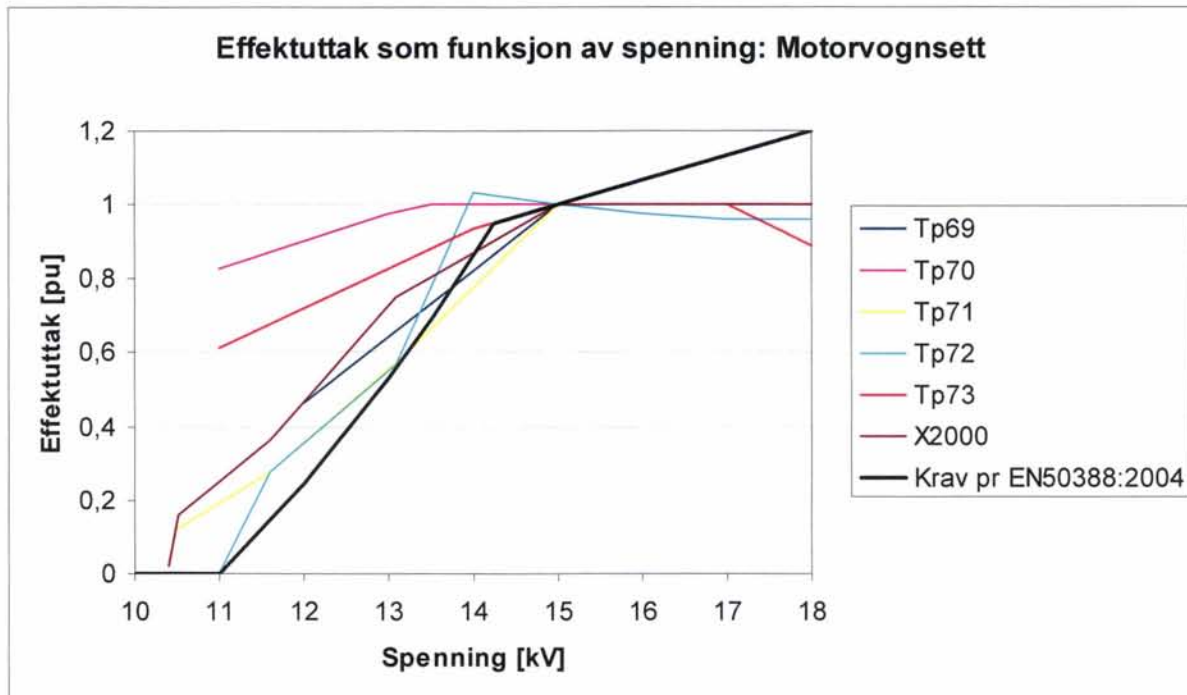
Trekkraftmateriellets prestasjonsevne reduseres normalt når spenningen minker. For eldre materieltyper vil trekkraftreduksjonen være direkte definert av fysiske og elektriske begrensninger i traksjonsutrustningen. For nyere materiell vil fremdeles fysiske og elektriske begrensninger være gjeldende, men kun indirekte da spenningsavhengigheten gjerne defineres gjennom enhetens programvare.

PrEN 50388:2004 pkt. 7 stiller krav til spenningsavhengighet på nytt trekkraftmateriell. Dette for å ivareta stabile driftsbetingelser i svak banestrømforsyning eller i unormale driftssituasjoner. Begrensningen skal være automatisk.

Figur 2-1 og figur 2-2 viser maksimalt effektuttak (gjennom strømavtaker) som funksjon av spenningen for et utvalg lokomotiver og motorvogner som trafikkerer (eller kan være aktuelle for) norske spor. Kurvene er hentet ut fra inputdata til modellene i simuleringsverktøyet SIMPOW/SIMTRAC og forutsetter at virkningsgrad og tilleggsuttak holdes konstant. Inntegnet er også prEN 50388:2004 sitt krav til effektbegrensning som funksjon av spenningen for nytt materiell. Kravet i prEN 50388:2004 er omregnet fra strøm til effekt.



Figur 2-1: Effektuttak som funksjon av spenningen for lokomotiver.



Figur 2-2: Effektuttak som funksjon av spenningen for motorvognsett.

### 2.3.2 Spenningsavhengig utstyr

I tillegg til reduksjon i trekraften kan det være annet utstyr om bord i det rullende materiell som er avhengig av spenningen. En oversikt over det utstyr som er kartlagt/oppgitt av trafikkutøverne følger i tabell 2-2. En har imidlertid grunn til å tro at listen ikke er fullstendig og heller ikke nødvendigvis er helt korrekt på grunn av motstridende opplysninger.

Tabell 2-2: Oversikt over spenningsavhengig utstyr i rullende materiell.

Utstyr/anlegg	Hendelse	Ved spenning [kV]	Gjelder materiell
Høyspentbryter	Faller	10-11	Alt
Kompressorer	Overbelastes	10-12	Vekselspenningsslok (EI 14 osv.)
Trekraft	Utfall av trekraft/banemotor	<12	EI18 ved tungt tog
Batterilading	Stopper	<13,5	Tp73

EN 50163 ([1]) anbefaler at underspenningsvern i rullende materiell bør stilles inn på 0,85 til 0,95 ganger  $U_{min2}$ , det vil si 9,35 til 10,45 kV.

## 2.4 Ruteplanenes krav til spenning

Det oppgis fra ruteplanleggerne at de legger til grunn 15 kV for kjøretidsberegningene, med andre ord gode spenningsforhold hele veien. Koordinering av kryssing med andre tog avgjør hvor stram ruten til slutt blir.

For øvrig legges det i beregning av kjøretid i programmet TogKjør inn adhesjon i henhold til Curtius og Kniffers formel, etter hva en forstår på samme måte som i SIMPOW/SIMTRAC. Når rutene så legges gis et tillegg på 4 % i kjøretid for å ta høyde for noe dårligere forhold og noen uforutsette hendelser.

For øvrig tar ikke ruteplanlegger andre hensyn til energiforsyningen enn det som eventuelt måtte stå av restriksjoner i driftshåndboken.

## 2.5 Lokomotivførers beskrivelse av spenningen

Ut i fra diskusjoner med trafikkutøverne (både muntlig på telefon og i møter samt basert på opplysninger per epost) og lokomotivførere sitter en igjen med et inntrykk av at spenning rundt 13-13,5 kV oppfattes som lavt og problematisk. Helst bør spenningen ikke lenger ned enn 14-15 kV. Lokomotivfører følger ofte med på spenningen og justerer pådraget deretter. Dersom det er flere tog i nærheten oppfattes denne justeringen som vanskelig da spenningen er avhengig av pådraget til de andre togene. Koordinering av effektuttaket ble iallfall en tid gjort ved kommunikasjon mellom lokomotivførerne.

## 2.6 Krav til tilgjengelighet

### 2.6.1 Krav i Teknisk Regelverk Prosjektering Banestrømforsyning JD 546

Teknisk regelverk prosjektering (JD 546 kap. 5 pkt. 3) definerer og setter krav til tilgjengeligheten for en matestasjon. Det skilles på to typer feil, feil og alvorlige feil. *"Med feil menes driftsforstyrrelser der matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut minst 100 % av installert effekt for matestasjonen på alle utgående kabelavganger. Med alvorlig feil menes driftsforstyrrelser der matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut minst 50 % av installert effekt for matestasjonen på alle kabelavganger."* Kravene er gjengitt i tabell 2-3.

Tilgjengeligheten berøres ikke av godkjente vedlikeholds- og revisjonsplaner for anlegget.

En forstår det slik at kravene til tilgjengelighet her gjelder for matestasjonsanleggene. Ytterligere utilgjengelighet for energiforsyningen kan forventes på grunn av det matende trefasenettet.

**Tabell 2-3: Krav til tilgjengelighet for matestasjon i teknisk regelverk prosjektering banestrømforsyning.**

Feiltype	Tilgjengelighet	Tillatt nedetid per år	MTBF <sup>1</sup>	MTTR
Alvorlig feil	99,99 %	52 minutter	4000 timer	4 timer
Feil	99,50 %	44 timer	2000 timer	4 timer
Alle alvorlige feil	-	-	1000 timer	-

For en matestasjon med to mateenheter kan følgende derfor være tilfelle:

- 0 % kapasitet i 0,01 % av tiden
- 50 % kapasitet i 0,49 % av tiden
- 100 % kapasitet i 99,50 % av tiden

Det gir en tilgjengelighet på hver av de to mateenhetene på 99,75 % med tilhørende tillatt nedetid på 22 timer per år.

### 2.6.2 Krav i Teknisk Regelverk Vedlikehold Banestrømforsyning JD 548

Teknisk regelverk vedlikehold (JD 548 kap. 18. pkt 3.1) stiller krav til matestasjoners og energiforsyningens tilgjengelighet. Matestasjoner skal ikke ha lavere tilgjengelighet enn tilgjengeligheten de ble prosjektert og bygd med. Energiforsyningen som system inkludert kontaktledningen bør ha en tilgjengelighet per matestrekning gitt i tabell 2-4.

<sup>1</sup> For feil hvor nedetiden er mer enn 5 minutter.

Med tilgjengelighet menes her at en skal kunne framføre elektriske tog i henhold til ruteplanen. Feil og avbrudd som kan lastes trafikkutøver og dennes aktivitet regnes ikke med i beregningen av tilgjengeligheten.

**Tabell 2-4: Krav til tilgjengelighet for energiforsyningen i teknisk regelverk vedlikehold**

Baneprioritet	Tilgjengelighet	Tillatt nedetid per år
1	99,97 %	2 timer
2	99,95 %	4 timer
3	99,90 %	8 timer
4	99,86 %	12 timer
5	99,73 %	24 timer

I JD 548 kapittel 4 punkt 2.6 stilles krav til komponenter og systemer i normal drift ikke bør belastes mer enn 80 % av hva de er dimensjonert for å redusere slitasje og aldringsprosessen samt for å ta høyde for kortvarige belastningstopper.<sup>2</sup>

### 2.6.3 Krav fra trafikkutøver

Jernbanemagasinet presenterer oversikter over punktlighet for en del ulike trafikkutøvere og togtyper. Målet på 90 % av togene i rute (3 minutter for lokaltog og flytog, alle andre tog 5 minutter) er Jernbaneverkets mål og ikke nødvendigvis i samsvar med mål hos den enkelte trafikkutøver. Det er ikke spesifisert på forsinkelsesårsaker. Banestrømforsyningen må derfor dele denne potten med alle andre årsaker, også trafikkutøvernes egne.

CargoNet har som mål at 92 % av togene skal være i rute hvor ”i rute” defineres som 0 minutter forsinket. Det aksepteres ikke forsinkelse verken ved endestasjon eller ved utlevering av gods til kunde.

CargoNet ønsker at banestrømforsyningen dimensjoneres slik at Jernbaneverket kan utføre nødvendig vedlikehold på matestasjonene uten at det medfører restriksjoner for togtrafikken.

<sup>2</sup> Det er usikkert om det ble tenkt på matestasjoner og andre komponenter i primærkretsen da dette kravet ble stilt.

### 3 SPENNINGENS INNVIRKNING PÅ TREKKRAFT OG FREMFØRINGSTID

For å få bedre innsikt i hva kontaktledningsspenningen har å si for et lokomotivs trekkraft og togets fremføringstid er det utført noen enkle simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC. En tar utgangspunkt i et godstog med 1200 tonn lastvekt trukket av et asynkronlokomotiv litra EG (6-akslet lokomotiv levert fra Siemens til DSB ved åpningen av Øresundsforbindelsen). Lokomotivet er utstyrt med en strømbegrensning som funksjon av spenningen som gitt av kravet i pr EN 50388 og illustrert i figur 2-1 (sort kurve). Parametre for modellen i SIMPOW/SIMTRAC er gitt i vedlegg 2.

Kravet til redusert effektuttak ved lavere spenninger begrunnes i nyere materiells problemer ved transiente endringer i frekvensen, hvilket kan være tilfelle ved varierende laster og svak mating. Svakt nett er imidlertid ikke nødvendigvis det samme som lav spenning, og motsatt.

Simuleringene i kapittel 3.2 og 3.3 er utført med høy adhesjonskoeffisient slik at adhesjonen ikke skal påvirke resultatene. Lav adhesjon kan redusere effektbehovet på grunn av sluring.

#### 3.1 Krav til redusert effektuttak som funksjon av spenningen

Kravet i prEN 50388 til redusert effektuttak som funksjon av spenningen er vist i figur 2-1 og figur 2-2 og gjengitt i tall i tabell 3-1. Kravet er at strømmen toget totalt kan trekke fra kontaktledningen skal holdes konstant ned til 14,25 kV. Fra 14,25 til 11 kV skal strømmen reduseres lineært fra maksimal strøm til kun nødvendig strøm for å dekke togets tilleggsuttak (togvarme, lys, togdatamaskin og så videre.)

Tabell 3-1: Krav til reduksjon i effektuttak som funksjon av spenningen.

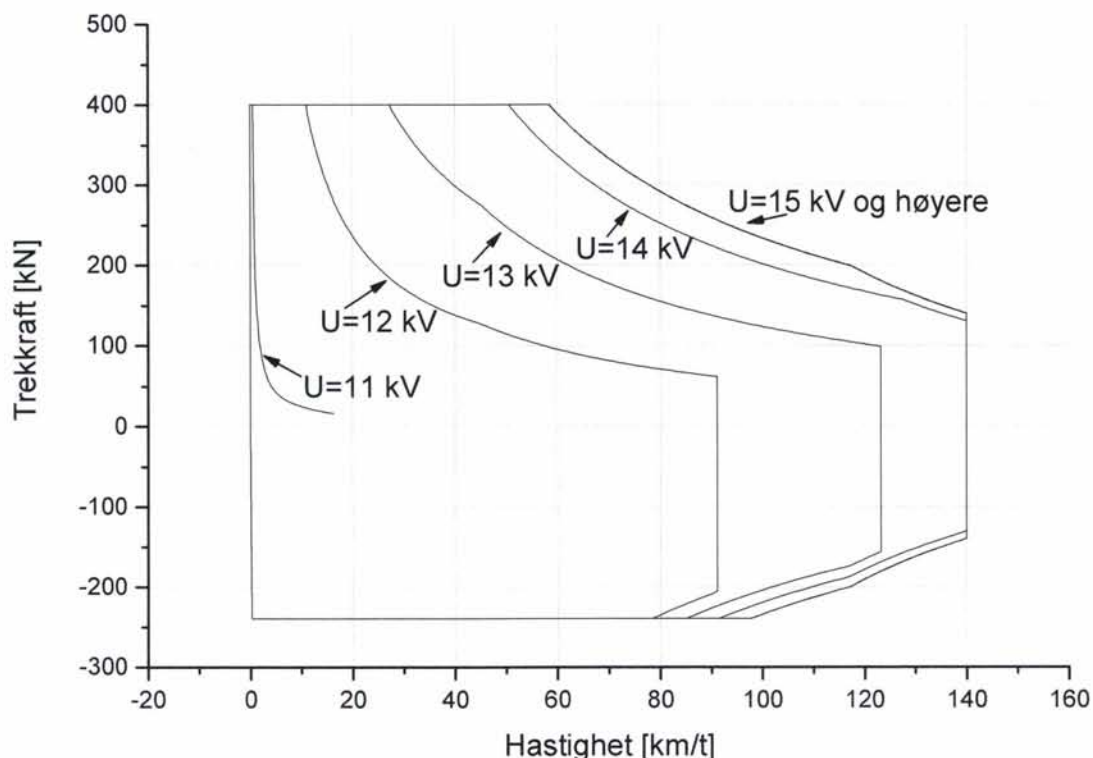
Spenning	Maksimalt effektuttak	Effektreduksjon
[kV]	[pu]	
10,0	0	100 %
10,5	0	100 %
11,0	0	100 %
11,5	0,12	88 %
12,0	0,24	76 %
12,5	0,39	61 %
13,0	0,53	47 %
13,5	0,69	31 %
14,0	0,86	14 %
14,25	0,95	5 %
14,5	0,97	3 %
15,0	1,00	0 %
15,5	1,03	-
16,0	1,07	-
16,5	1,10	-
17,0	1,13	-
17,5	1,17	-
18,0	1,20	-

#### 3.2 Spenningens innvirkning på trekkraften

Figur 3-1 viser hvordan trekkraften for godsløkomotivet EG reduseres når linjespenningen reduseres når maksimalt opptatt effekt for lokomotivet reguleres automatisk i henhold til krav i prEN 50388. En ser at når spenningen synker, synker også maksimal oppnåelig topphastighet selv om det ut i fra dagens godstogruter og infrastruktur ikke ser ut til å utgjøre



noen begrensning. Derimot reduseres trekkraften ganske kraftig hvilket medfører at akselerasjoner tar lenger tid og begrenser hastigheten i stigninger.



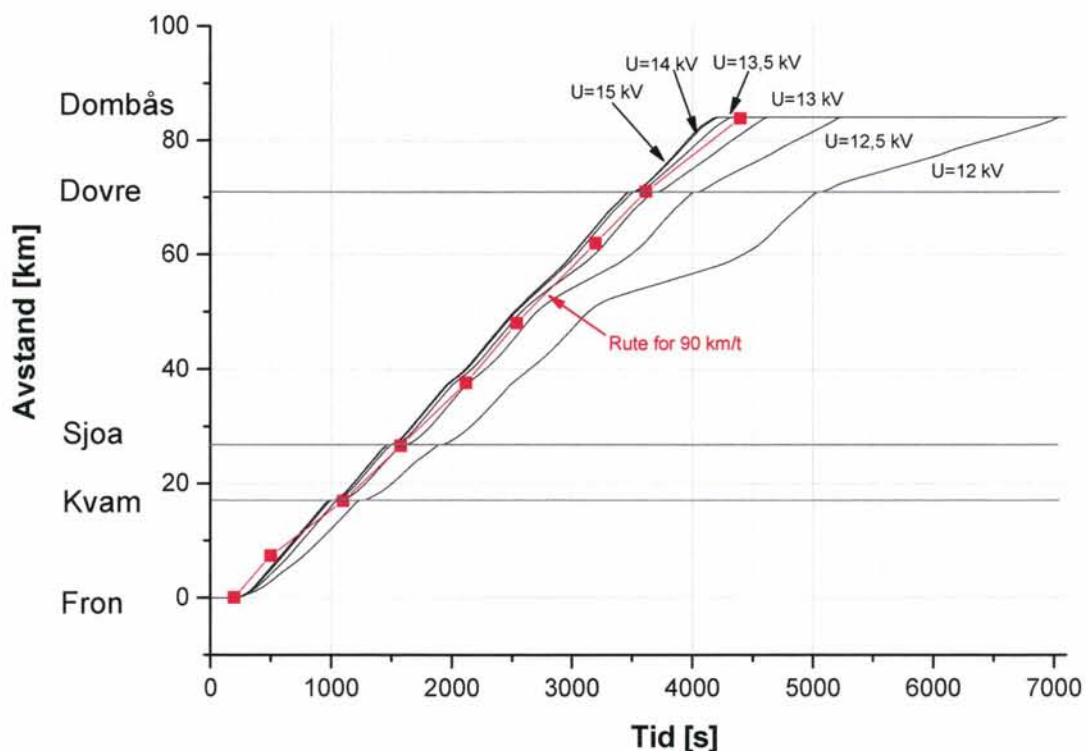
Figur 3-1: Reduserte trekkraftkurver som resultat av redusert spenning.

### 3.3 Spenningens innvirkning på hastighet og fremføringstid – stilisert studie

For å studere hvordan redusert trekkraft påvirker framføringshastigheten og framføringstiden er det tatt utgangspunkt i Dovrebanen for strekningen Fron-Dombås. Omformerstasjonene Fron og Dombås er modellert som stive spenningskilder der en kan styre spenningen til ønsket verdi. Energiforsyning til toget foregår over en kontaktledning som er gitt impedans tilnærmet 0. På den måten sikres at spenningen er konstant på ønsket verdi under hele turen. Det er til sammen utført 6 simuleringer med ulike spenninger.

Strekningen Fron-Dombås er antatt å være en typisk norsk strekning med tanke på stigning og hastighet.

Toget (EG-lokomotiv med 1200 tonn lastvekt) kjører etter ruten for tog 5705 i R152.2 med stopp for kryssing på Kvam, Sjoa og Dovre. Denne ruta er imidlertid ikke iberegnet tiden for akselerasjon fra 0 på Fron. Ruta er satt opp med en maksimal framføringshastighet på 90 km/t. Tiden toget står stille er ikke medregnet, kun ren kjøretid.



Figur 3-2: Tid-sted diagram for godstog med ulike spenninger. Tider for stopp eller passering av stasjoner i ruten angitt med røde firkanter.

Tabell 3-2: Sammenligning av fremføringstid ved ulike spenninger med tilhørende gjennomsnittlig pådrag. Det gjennomsnittlige pådraget er tidsvektet. Varighetskurve for effektuttaket er vist i vedlegg 1.

Tilfelle	Fremføringstid	Avvik	Avvik fra rute	Tillegg i forhold til 15 kV	Gj.snitt. pådrag inkl. tilbakemating	Gj.snitt. pådrag ekskl. tilbakemating
	[t.mm:ss]	[mm:ss]			[pu]	[pu]
Rute	1.10:00	-	-	-	-	-
U 15 kV	1.06:39	-3:21	-4,8 %	0 %	0,44	0,53
U 14 kV	1.06:58	-3:02	-4,3 %	+0,5 %	0,45	0,53
U 13,5 kV	1.08:46	-1:14	-1,8 %	+3,2 %	0,42	0,48
U 13 kV	1.13:43	3:43	+5,3 %	+10,6 %	0,38	0,43
U 12,5 kV	1.23:50	13:50	+19,8 %	+25,8 %	0,32	0,35
U 12 kV	1.53:59	43:59	+62,8 %	+71,0 %	0,23	0,25

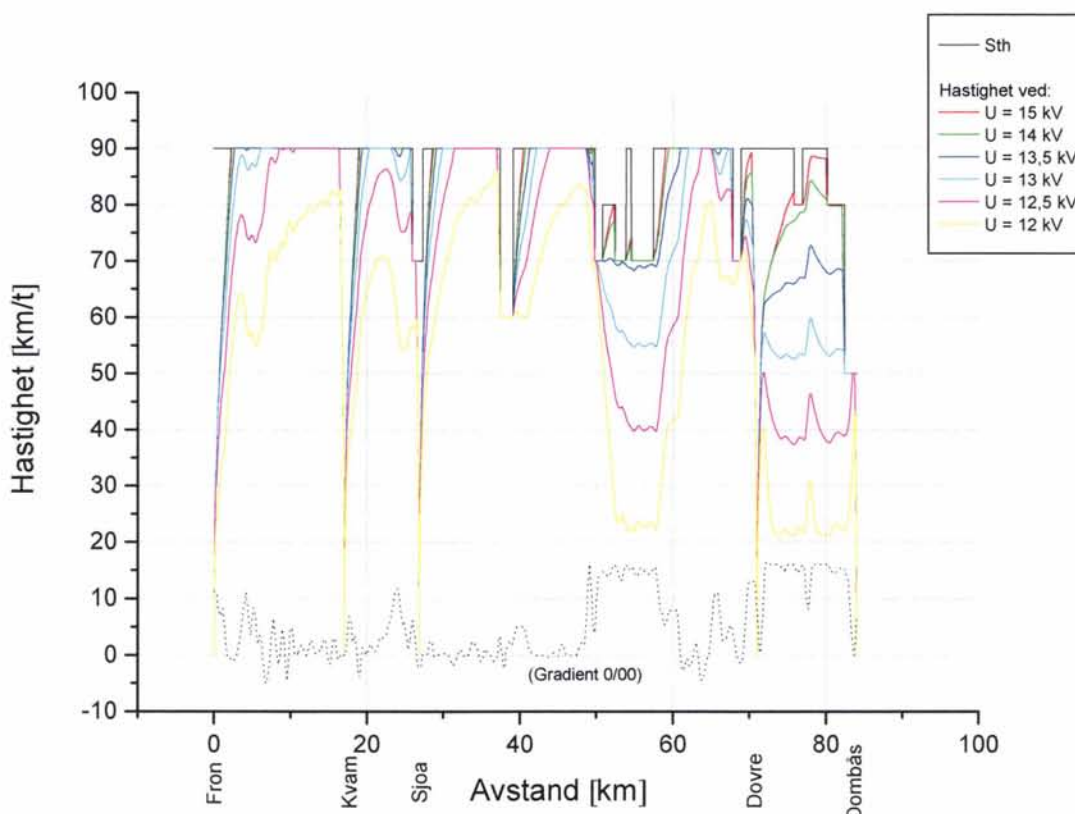
Figur 4-6 og tabell 3-2 viser resultatene fra simuleringene. En ser liten (i praksis ingen) reduksjon i fremføringstiden ved spenning på 14 kV i forhold til 15 kV. Ved videre reduksjon til 13,5 kV øker fremføringstiden og ved spenning lavere enn 13-13,5 kV er fremføringstiden lenger enn ruten. Spenning under 13 kV gir store forsinkelser.

Varighetskurve for lokomotivets effektuttak i de ulike tilfellene er gitt i vedlegg 3.

Ved 15 kV ser en at den simulerte fremføringstiden er 4,8 % lavere enn det ruten tilsier. Dersom en øker ruten noe for å ta hensyn til akselerasjon fra 0 i Fron og ikke passering av Fron stasjon som i dag, vil forskjellen bli litt større. Likevel er forskjellen liten når en tar i betraktning at det ved ruteplanlegging tas utgangspunkt i simulert kjøretid i TogKjør og

legger til 4 %. Sammenligning med ruten er nødvendigvis ikke helt riktig, da den er utarbeidet for El14 med 900 tonn lastvekt. Til sammenligning vil SIMPOW/SIMTRAC for et slikt tog med 15 kV kontaktledningsspenning simulere en fremføringstid på 1.05:54 ved passering av Fron i 90 km/t. Det ser foreløpig ut som om [5] legger opp til at fremføringstidene skal være omtrent de samme med moderne lokomotiver og 1200 tonn som dagens i godstrafikk, men dette kan endres når en kjenner de moderne lokomotivene bedre.

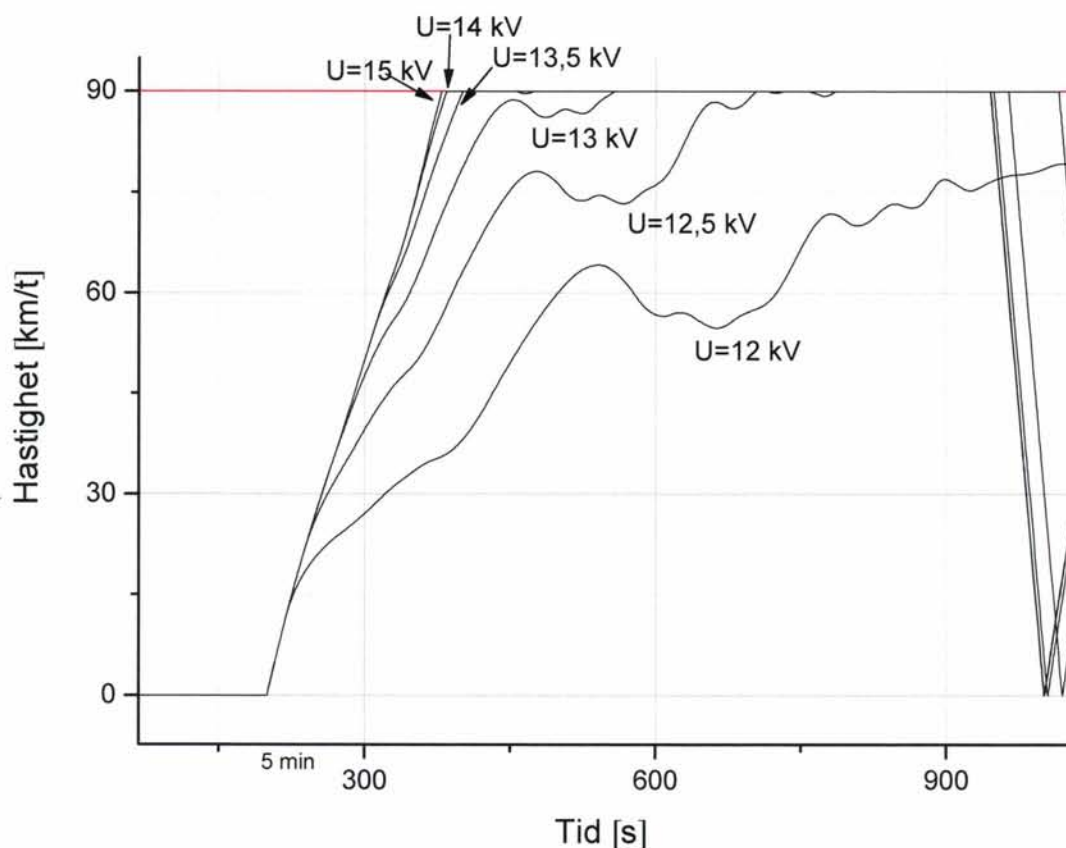
For ordens skyld er illustrasjon av fremføringstidene for samme tog med både El 14 og El 16 som trekkraft med 900 tonn lastvekt vist i vedlegg 4. En ser at det begynner å bli forsinkelser når spenningen faller under 13 kV.



**Figur 3-3: Hastighet ved redusert spenning.**

Figur 3-3 viser hastigheten som toget holder som funksjon av tilbakelagt strekning i forhold til skiltet hastighet ved ulike spenninger. For ordens skyld er også banens vertikalkurvatur tatt med. En ser at akselerasjonstiden øker ved redusert spenning. Avhengig av vertikalkurvaturen klarer toget å komme opp i skiltet hastighet.

Figur 3-4 viser mer detaljert forskjellen i akselerasjonstidene ut fra Sjoa stasjon hvor stigningen er liten. Ved 13 kV bruker toget nesten dobbelt så lang tid for å komme opp i strekningshastighet som ved 15 kV.



Figur 3-4: Akselerasjonstid ut fra Sjøa for tog med ulike spenninger.

Vanligvis simuleres kjøretider i programmet TogKjør. Siden en ikke har modeller for EG i TogKjør i dag, samt at en for å finne redusert trekraftkurve må benytte SIMPOW/SIMTRAC likevel, er det valgt å foreta også kjøretidsberegningene her i SIMPOW/SIMTRAC. Rent prinsipielt beregnes kjøretiden i TogKjør på samme måte som i SIMPOW/SIMTRAC med relativt hard kjøring. Ytterligere sammenligninger mellom TogKjør og SIMPOW/SIMTRAC er ikke utført.

Simuleringene her er utført uten modellering av banens horisontalkurvatur. [20] skriver på side 20 at en horisontalkurve med  $R=300$  meter fører til en kurvemotstand tilsvarende nødvendig trekraft for en stigning på 2,7 ‰. Ved  $R = 1000$  tilsvarer kurvemotstanden bare 0,7 ‰ stigning. Økt luftmotstand i tunneler er tatt med i modellen. Kjøretidsberegningene i TogKjør tar imidlertid hensyn til kurvemotstanden.

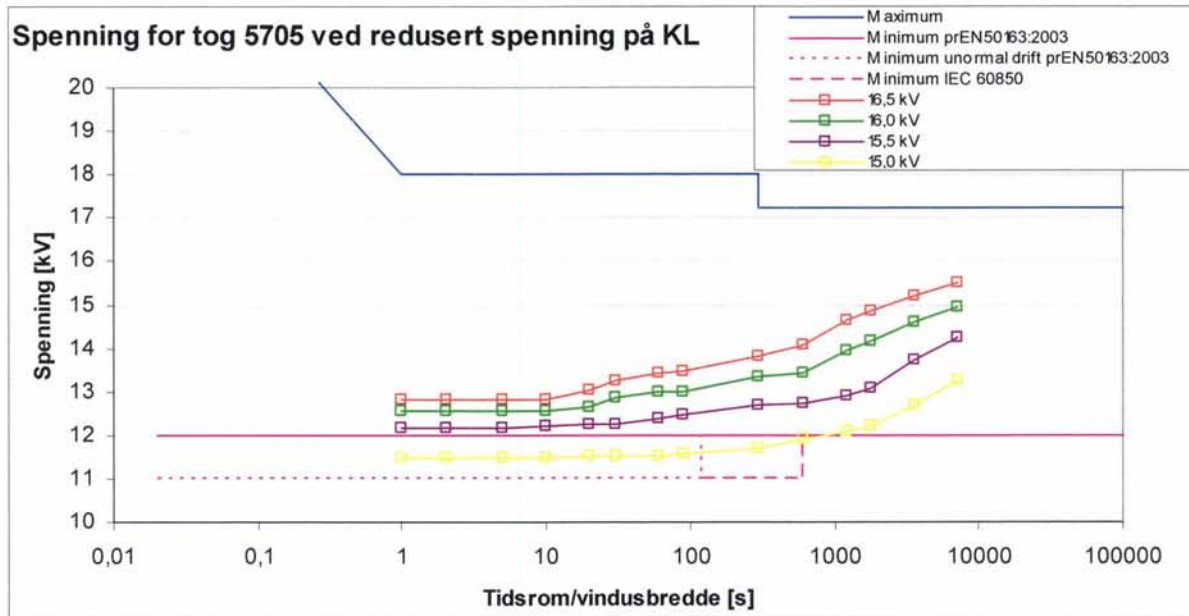
### 3.4 Spenningens innvirkning på fremføringstiden – mer reell studie

For å få et mer reelt inntrykk av hva spenningen har å si for fremføringstiden når spenningen ikke låses til et minimum er det utført simuleringer i SIMPOW/SIMTRAC med tog 5705 med simuleringsmodellen fra [5]. Hensikten er å se hvordan en varierende og lastavhengig spenning i virkeligheten virker inn på fremføringstiden.

Modellen inneholder i utgangspunktet dagens infrastruktur og ruteplan R149.1. Alle godstog fremføres med doble E116 (1275 tonn lastvekt) uten pådragsbegrensning og telefilter for å trekke ned spenningen mest mulig. Tog 5705 fremføres med EG-lokomotiv og 1200 tonn

lastvekt og spenningsavhengighet som i prEN 50388. Ruten for 5705 er noe forandret fra R149.1 til R152.2, og toget er derfor gitt ekstra stopp på Sjoa, Kvam og Dovre som i det stiliserte eksempelet (kapittel 3.3). Otta omformer er tatt ut av modellen.

For å kunne studere ulike minimale spenninger i kontrollerte former har en redusert tomgangsspenningen på omformerstasjonen i skritt at 500 V for hver simulering. Fremføringstiden er sammenlignet med et tilfelle der spenningen er 15 kV og kontaktledningsimpedansen er tilnærmet 0 Ω/km. Spenningen for tog 5705 for de ulike simuleringene er vist i figur 3-5.



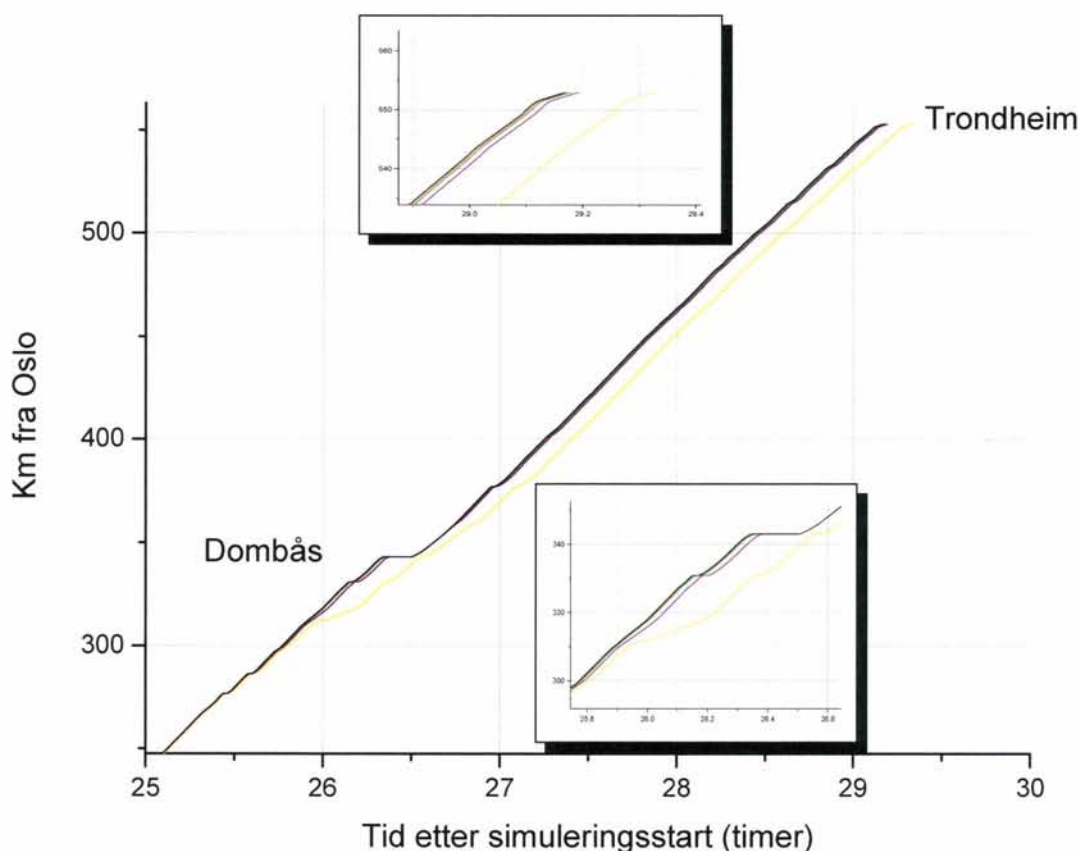
Figur 3-5: Spenning for tog 5705 i de ulike simuleringstilfellene.

En sammenstilling av fremføringstid og spenning for tog 5705 for de ulike tilfellene er gjort i tabell 3-3. Fremføringstiden er også vist grafisk i figur 3-6.

Tabell 3-3: Sammenstilling av fremføringstid og spenning for tog 5705.

Tilfelle	Laveste spenning	Økning i fremføringstid til Dombås	Økning i fremføringstid til Trondheim	Laveste 2 minuttverdi av spenning
	[kV]	[s]	[s]	[kV]
Ref	15,0	-	-	-
16,5 kV	12,8	8	18	13,6
16,0 kV	12,6	32	36	13,0
15,5 kV	12,2	124	89	12,6
15,0 kV	11,5	776	572	11,6

Simuleringene viser at fremføringstiden bare blir 18 sekunder lengre ved endestasjon for laveste spenning på 12,8 kV og tominuttverdi på 13,6 kV i forhold til om spenningen var 15,0 kV. Om spenningen synker mer, både i laveste spenning og laveste tominuttverdi øker fremføringstiden mer. Ved spenning under 12,0 kV blir forsinkelsen på over 10 minutter. Det er ikke gjort simuleringer for laveste spenning høyere enn 12,8 ettersom resultatene over viser at en da ikke kan forvente forsinkelser.



Figur 3-6: Fremføringstid som funksjon av kilometer fra Oslo. Samme fargekoder som i figur 3-5.

### 3.5 Diskusjon

Simuleringene av trekkraftkurver og kjøretid utført her er gjort med en spenningsavhengighet og strømbegrensning som beskrevet for fremtidig materiell i prEN 50388. For dagens materiell er spenningsavhengigheten gitt i figur 2-1 og figur 2-2. For moderne materiell med nettstrømrettere og asynkronmotorer kan sannsynligvis en annen spenningsavhengighet enn vist her angis i programvaren. For eldre materiell vil nok mulighetene for en slik endring være små.

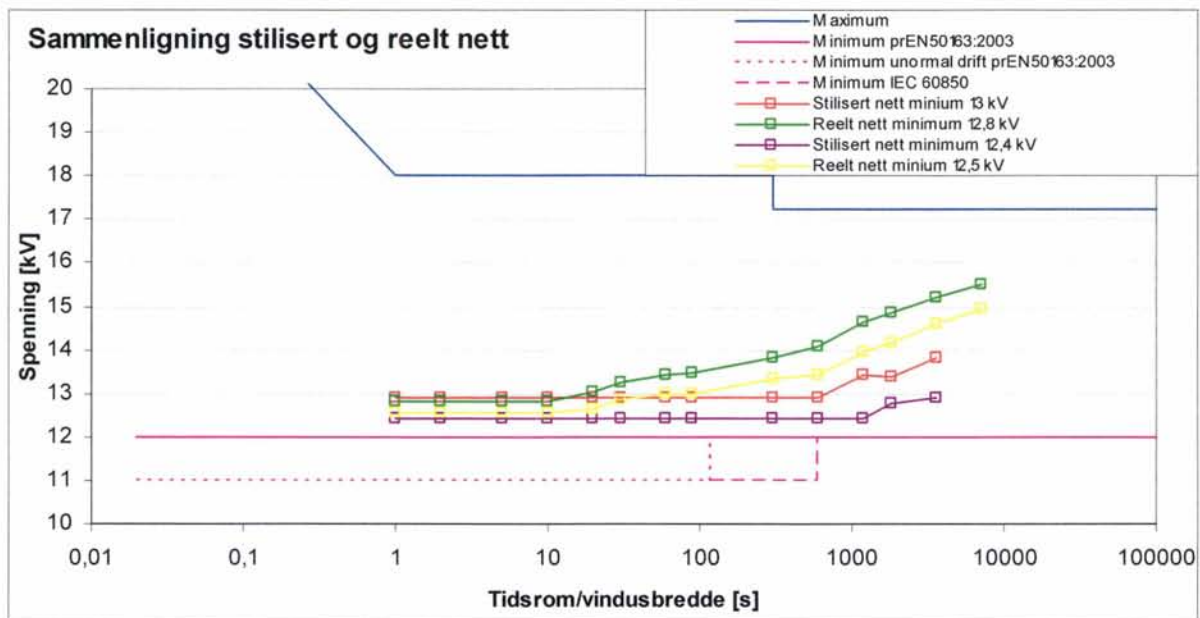
En ser at kurvene i figur 2-1 og figur 2-2 som angitt i prEN 50388 medfører begrensninger i tillatt effektuttak i forhold til mesteparten av dagens materiell. Det vil si at dagens materiell vil kunne opprettholde høyere trekkraft ved lav spenning enn det en må pålegge nytt materiell. Dette medfører at følgene av tilsvarende lav spenning for dagens materiell blir mindre, det vil si mindre økning i kjøretiden. Men det vil også si at en vil kunne oppleve lavere kontaktledningsspenninger med dagens materiell enn med nytt materiell på grunn av at effekttrekket ikke reduseres like mye.

Kravet i prEN 50388 kan umiddelbart se ut som om det er et krav og en begrensning stilt til rullende materiell for å beskytte svak energiforsyning. Dersom en opprettholder samme krav til framføringstid og har samme nominell trekkraft til samme togvekt, medfører dette i praksis strengere krav til energiforsyningen.

En må i betraktningen av resultatene som kommer fram på bakgrunn av simuleringene her være klar over at tallene er veldig relatert til det spesielle tilfellet med EG og 1200 tonn lastvekt sammen med ruten og banestrekningen som er studert. Tilfellet er antatt å være typisk, men en skal ikke glemme at stigningene på Bergensbanen for eksempel er enda noen promille brattere. Ellers bør det bemerkes at en prøver å unngå ruter med akselerasjon fra stopp på Dovre på grunn av stigningen og at tog 5705 er et av de få, om ikke det eneste, som har stopp for kryssing der.

Nå må det også presiseres at tilfellene som er simulert her med stilisert modell (kapittel 3.3) egentlig er ekstremtilfeller med konstant lav spenning. I virkeligheten er sannsynligheten for et så stivt nett med så lav spenning liten. Normalt varierer spenningen veldig mye avhengig av eget og alle andre tog i nærheten. Men simuleringene her gir et godt bilde av hvor mye spenningen har å si ved for eksempel akselerasjon fra stopp. For å få et inntrykk om varierende spenning har mye å si i forhold til metodikken valgt her er det gjort tilsvarende simuleringer med ulike svake nett. Resultatene er gjengitt i kapittel 3.4 og vedlegg 5. Konklusjonen er at en ser de samme tendensene som i studien her.

Når en så etterligner en normal situasjon hvor spenningen på kontaktledningen varierer avhengig av effekttrekk fra alle togene som trafikkerer strekningen (kapittel 3.4) ser en at forsinkelsene ikke blir på langt nær så store som i de stiliserte studiene (kapittel 3.3). Det vil si at selv om den kortvarige (mindre enn 10 sekunder) spenningen er lik i de to tilfellene, så trenger ikke forsinkelsen å være den samme. Dette skyldes nok det fenomenet at den gjennomsnittlige impedansen toget ser og dermed også spenningsfallet fra matestasjon til tog er mindre. Forskjellen i spenning mellom de to typene nettmodellene ligger da i den mer langvarige spenningen (over 10 sekunder) som vist i figur 3-7.



Figur 3-7: Sammenligning mellom tidsvektet varighetskurve for spenning i stilisert og reelt nett. Se kapittel 4.1.5 for mer informasjon om metoden.

Nå kan det sies at simuleringene i reelt nett i kapittel 3.4 også på en måte er stiliserte i og med at spenningen på matestasjonene er senket. Det kan kanskje være noe uriktig i og med at en får lavere spenning når effekttrekket er lavt, men det er antatt at det har mindre å si. I tilfelle det har noe å si så gjør det vurderingene her konservative i forhold til spenningskvaliteten.

En tilsvarende og kanskje enda bedre modelleringsmetode kunne vært å beholdt tomgangsspenning 16,5 kV og heller økt avstanden mellom matepunktene. Dette ble imidlertid vurdert som for tidkrevende.

Det er gjerne ikke helt riktig å sammenligne fremføringstiden i simuleringene i SIMPOW/SIMTRAC med rutetid ettersom rutetiden er gitt et påslag på 4 % i forhold til simuleringene i TogKjør. Det er ikke naturlig å tro at energiforsyningen får lov til å bruke hele denne marginen alene. Der ikke sikkert at energiforsyningen var i tenkt på i det hele tatt da en bestemte seg for 4 % margin. Med andre ord bør sammenligningene skje i forhold til kjøretid ved 15 kV.



## 4 EKSEMPEL PÅ ET TOGS SPENNING OG VURDERING AV DENNE

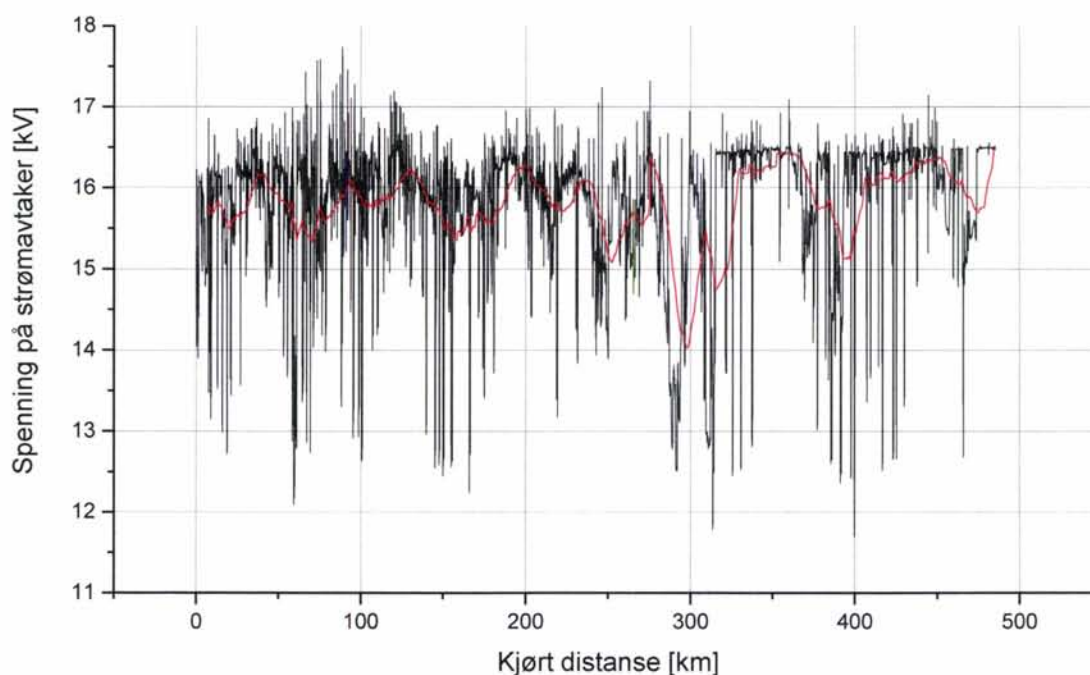
For å illustrere de ulike måtene å framstille lav spenning for et tog på og diskutere litt rundt dette, er det tatt utgangspunkt i tog 5705 i nattsimulering 2 i hovedplan for banestrømforsyningen Dovrebanen Fase 1 ([5]). For dette toget er det i simuleringen avdekket lave spenninger.

Tog 5705 er oppsatt med 2xE116 og 1275 tonn etterhengt lastvekt. Toget går fra Eidsvoll på kvelden og ankommer Trondheim tidlig på morgenen neste dag. En halvtime foran ligger tog 5713 med samme togsammensetning. Lokomotivene er uten pådragsbegrensning og kjører uten innkoblet telefilter (0,6 MVAR per lokomotiv). Det er benyttet dagens banestrømforsyning for Dovrebanen, det vil sin ingen forsterkningstiltak.

### 4.1 Ulike metoder for vurdering av spenning

#### 4.1.1 Minimal spenning

Det har til nå i simuleringsrapporter vært vanlig å oppgi laveste spenning og tidspunkt dette oppstår gjerne differensiert på banestrekningens ulike parseller. Dette sammenlignes med det absolutte kravet til minimal spenning i EN 50163 (12 kV). Laveste spenning for tog 5705 er 11,8 kV ved banenes km 381 kl 02.58. Denne opplysningen følges gjerne av et plot av spenningen som funksjon av tid eller km som illustrert i figur 4-1. Denne figuren gir en grei oversikt over togets spenning, men inneholder for mye informasjon til at en for noe særlig kvalitativt inntrykk med unntak av at spenningen varierer veldig og at det forekommer spenning under 12 kV.



**Figur 4-1: Spenning for tog 5705 som funksjon av tilbakelagt distanse fra Eidsvoll som utgangspunkt.**

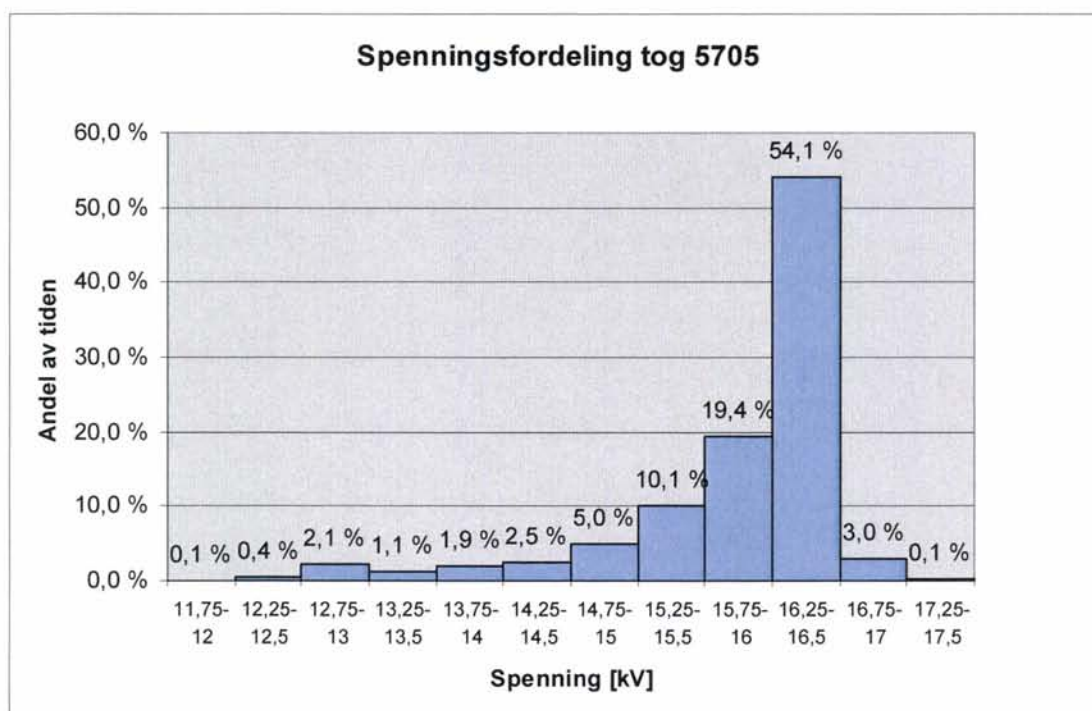
Kurven med den momentane spenningen kan overlages med en utregnet 10 minutters verdi eller lignende for å bedre kunne se kvaliteten på spenningen. Dette forutsetter at en plotter spenningen som funksjon av tiden.

#### 4.1.2 Umeanuseful

PrEN 50388:2004 beskriver med  $U_{\text{mean useful}}$  en metode som er ment å skulle si noe om kvaliteten til banestrømforsyningen.  $U_{\text{mean useful}}$  for tog 5705 er beregnet til 15,02 kV. Dette er bra i forhold til normens krav på 13,5 kV.

#### 4.1.3 Spenningsfordeling

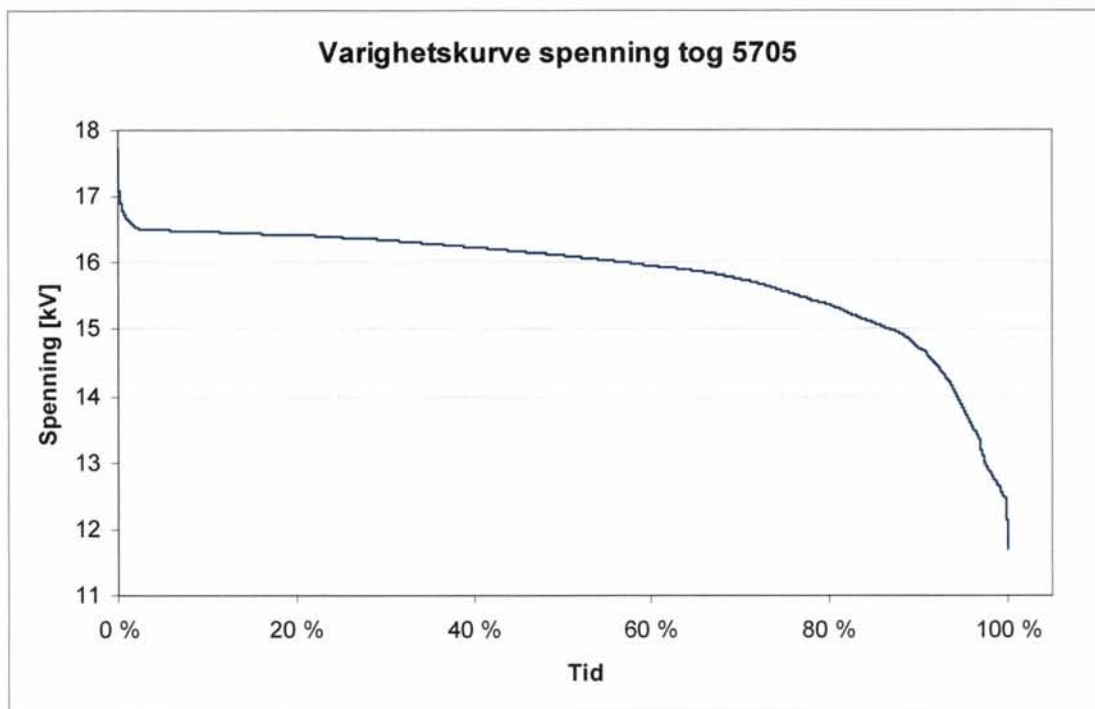
Det er også mulig å betrakte hvor stor del av togets fremføringstid som spenningen er på de ulike nivåene. Spenningsfordelingen for tog 5705 er vist i figur 4-2. En observerer at spenningen mesteparten av tiden ligger mellom 15 og 16,5 kV. 0,1 % av tiden er spenningen lavere enn 12 kV og 3,7 % av tiden er spenningen lavere enn 13,5 kV.



Figur 4-2: Spenningsfordeling tog 5705

#### 4.1.4 Varighetskurve

Spenningsfordelingen kan også uttrykkes ved hjelp av ei varighetskurve som vist i figur 4-3. En ser av kurven at spenningen er over 15 kV i nesten 90 % av tiden. Det kommer imidlertid ikke fram om den lave spenningen under 13 kV opptrer samlet i et spesielt geografisk område/spesielt tidspunkt eller om det er flere steder/tidspunkt kortvarig.



Figur 4-3: Varighetskurve for spenningen til tog 5705

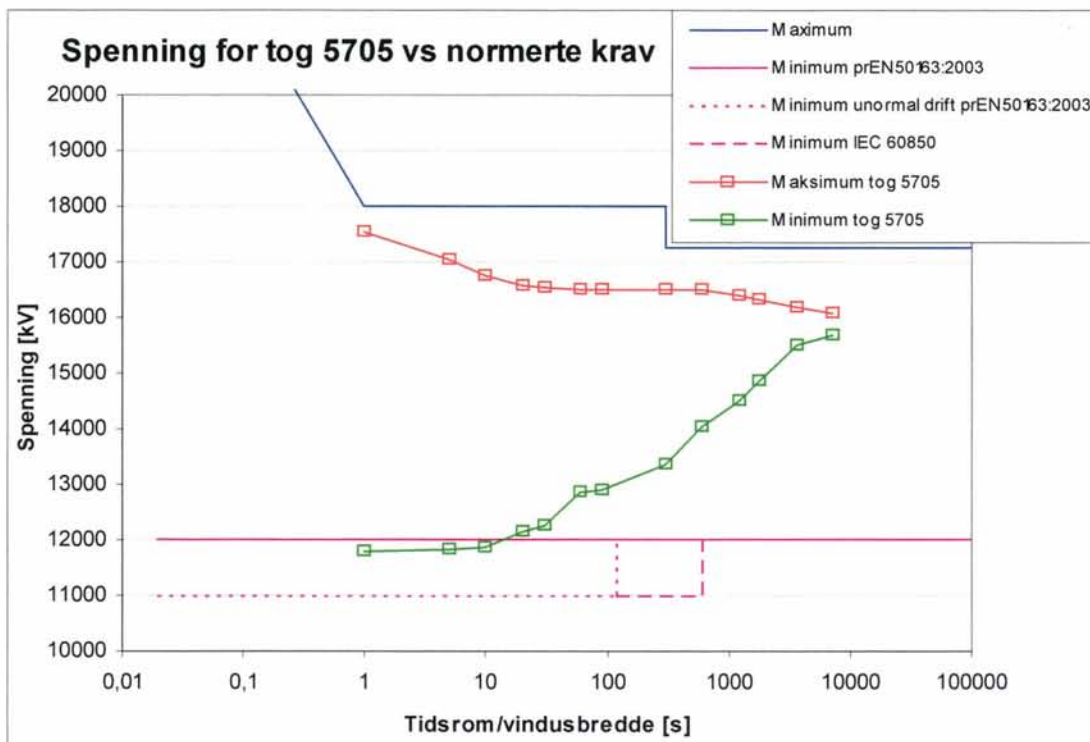
#### 4.1.5 Tidsvektet varighetskurve

En annen metode å vurdere et togs spenning på kvantitativt er å beregne gjennomsnittspenning over tidsrom av ulike lengder, såkalte tidsvinduer. Metoden er mye brukt for vurdering av belastning av elektriske komponenter under betegnelsen tidsvektede belastningsvarighetskurver og er for eksempel inngående beskrevet i [6]. For vurdering av spenningen blir den korrekte betegnelsen "tidsvektet underskridelsesvarighetskurve". Metoden kan kalles for tidsvektet varighetskurve, og for eksempel implementert i det Østerrikske kraftsystemsimeringsprogrammet ([7]),

Laveste verdi for hvert tidsvindu kan sammenlignes med laveste tillatte verdi som normene eller interne krav setter for tilsvarende tidsvindu. Men metoden kan gi noe for lav verdi i forhold til slik normene definerer spenningen slik at metoden brukt "blindt" kan være noe konservativ eller streng. Ved sykliske belastninger og spenninger kan det benyttes referansekurver som vist i [8], men det kan vanskelig benyttes for norske forhold.

Fordelen ved metoden er at den presenterer kvaliteten på spenningen på en bra måte og det er enkelt å sammenligne flere kurver. Den gir imidlertid ikke noe informasjon om hvor spenningsproblemene er og i liten grad om hvor ofte de opptrer.

Ett eksempel på denne metoden er for tog 5705 vist i figur 4-4. Kurven som er tegnet gir både inntrykk av kortvarige spenningsfall og hvordan spenningen er over lengre tid. Av figuren kommer det fram både at spenningen stort sett er i området 14-15 kV eller over, samt at spenningen kortvarig (maksimalt 10-12 sekunder) er under 11 kV.

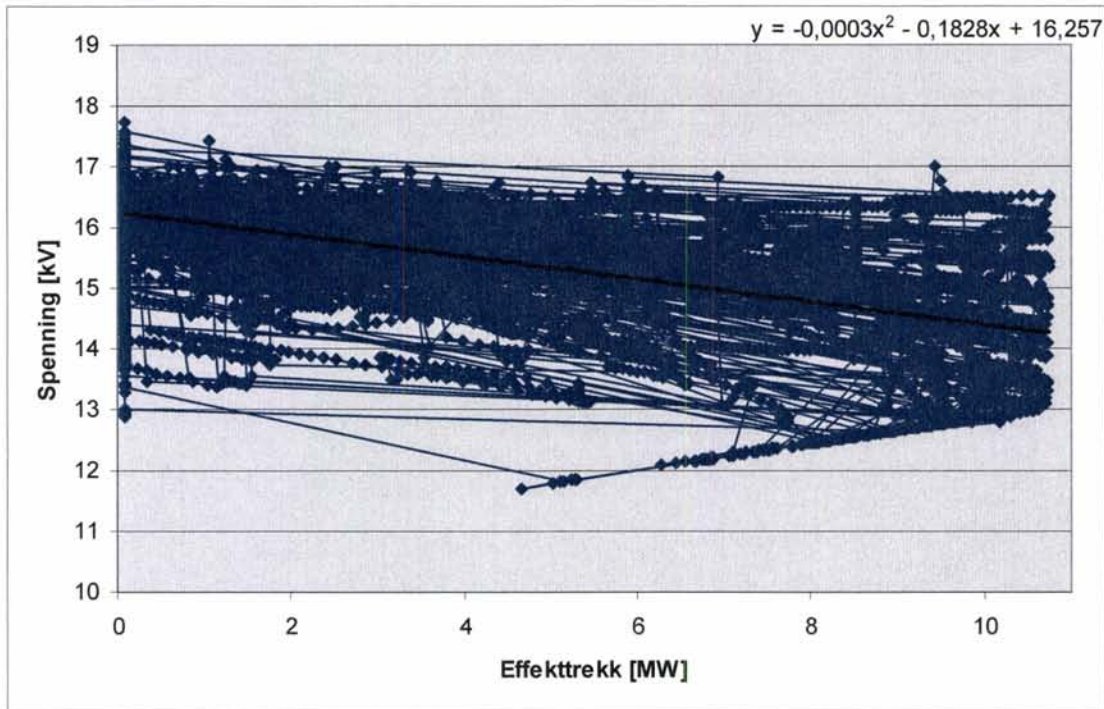


Figur 4-4: Bruk av tidsvektet varighetskurve for å kvalitativt beskrive et togs spenning.

#### 4.1.6 Nesekurve (PU-kurve)

For å gi et annet inntrykk av spenningskvaliteten, kan en plote strømtakerspenningen som funksjon av togets effekttrekk (P). Kurvebildet vil i utgangspunktet være rotete og gi lite informasjon. Om en plottes en trendlinje vil lesbarheten bedres. Trendlinjen vil utgjøre en del av en såkalt nesekurve som er mye anvendt i kraftsystemanalyse for å studere overføringskapasitet og spenningsstabilitet. Linjen bør derfor uttrykkes som et annengrads polynom. En vil når togets effekttrekk øker kunne se ut fra trendlinjen hvordan spenningen typisk synker. Variasjonsområdet gis av plottet av den virkelige spenningen slik at en ser forskjellen på et sterkt nett nære en matestasjon og svakt nett mellom to matestasjoner. Spenningen ved effekttrekk lik null kan si noe om hvor påvirket toget er av andre tog i området.

Metoden er ikke sett brukt andre steder i forbindelse med vurdering av spenningsforhold til tog og bør derfor studeres nærmere før en bruker denne som utgangspunkt for vurdering av togs spenning. Et eksempel er gitt i figur 4-5.

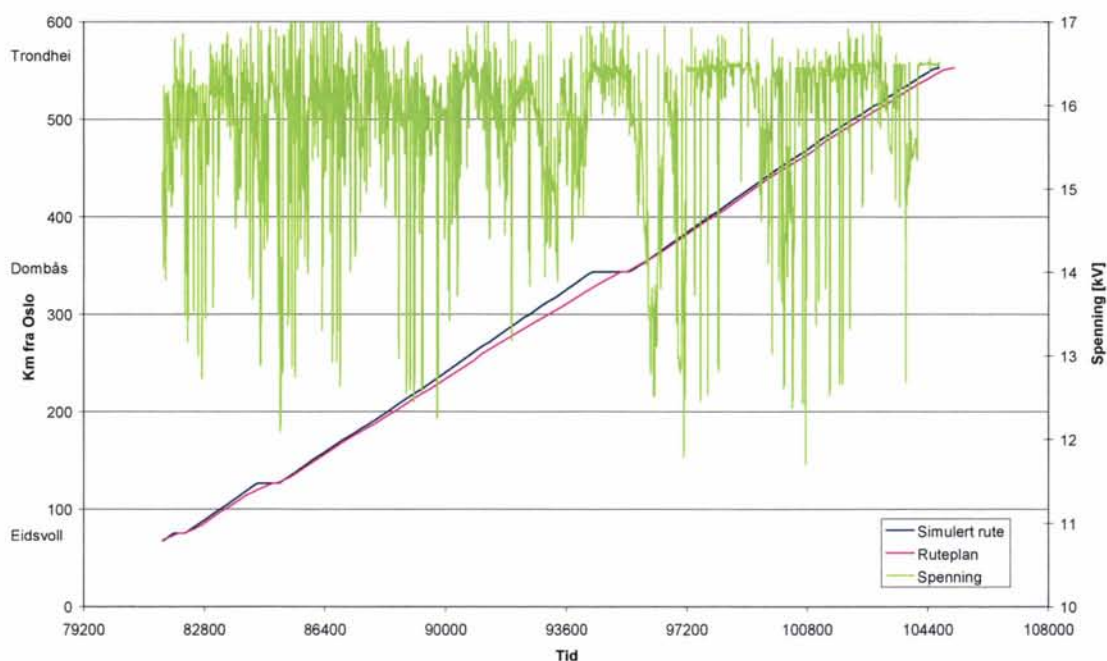


**Figur 4-5: "Nesekurve" for tog 5705 på Dovrebanen**

Dersom en sammenligner maksimalt uttatt effekt som kan avleses i figur 4-5 med det som oppgis i [5] (14,2 MW) ser en at lokomotivet i simuleringen ikke tar ut full effekt. Dette skyldes ikke lav spenning, men lav adhesjon. Adhesjonen benyttet i simuleringene antas å være konservativ.

### 4.1.7 Spenning og ruteplan

Utgangspunktet for vurdering av spenningsforholdene til et tog er at tilgjengelig trekraft er avhengig av spenningen. Figur 4-6 viser hvordan toget kjører i simuleringen sammenlignet med ruteplanen. Toget har få stopp for krysning på veien (Minnesund, Hamar og Dombås). Ved ankomst Hamar, Dombås og Trondheim ser en tydelig at toget er før ruta. Ut fra Dombås kan det se ut som om toget ligger litt etter ruta, men det er antakelig bare en effekt av at ruten er lineær mellom stasjonene og stigningen på grafen ikke fortløpende gjenspeiler hastigheten. Spenningen på dette tidspunktet er over 15 kV.



**Figur 4-6: Simulert togframføring sammenlignet med ruteplan for tog 5705. Spenningen i grønt.**

I vurderingen av spenningen for tog 5705 er det observert at den stort sett er god og over 15 kV nesten 90 % av tiden. Det oppstår imidlertid kortvarige spenningsfall under 12 kV i 10-12 sekunder. Toget har ikke problem med å holde ruten, dette kan skyldes noe slakk rute på grunn av koordinering av krysning med andre tog. "Lokføreren" i SIMTRAC kjører med maksimalt tilgjengelig effekt ut fra det som er mulig av hensyn til adhesjon osv for å følge strekningshastigheten. Det er nok hardere kjøring enn virkelighetens lokførere, men ikke ulikt slik kjøretidene beregnes i Togkjør.

## 4.2 Vurdering av ulike metoder

Nedenfor er det i tabell 4-1 utført en enkel vurdering av de ulike vurderingsmetodene som er vist i denne rapporten. Det er lagt til grunn følgende vurderingskriterier:

- Om metoden er arbeidskrevende eller enkel å utføre
- Hvor godt metoden beskriver spenningens kvalitativt
- Hvor enkel metodens resultat er å sammenligne med krav til spenningen
- Om metoden kan benyttes til å kartlegge problemområder i tid eller geografi

**Tabell 4-1: Enkel vurdering av de ulike vurderingsmetodene for spenning.**

Metode	Arbeidsomfang	Beskrivelse av kvalitet	Sammenligning mot krav	Kartlegger problemområder	Totalvurdering
<b>Minimal spenning</b>	Relativt enkel	Dårlig, kun momentane underskridelser	Enkel når kravet utformes som absolutt minimum	Bra på både tid og geografi	Enkel, men beskriver ikke nødvendigvis spennings kvaliteten godt nok
<b>Umean useful</b>	Tog: Relativt enkel Sone: Arbeidskrevende	Dårlig, regner kun gjennomsnitt, synliggjør ikke problemer	Enkelt	Dårlig, gir ingen detaljer	Gir et dårlig bilde av spenningen
<b>Spenningsfordeling</b>	Enkel	Relativt god	Finnes i dag ikke noe krav som er stilt i på denne måten	Dårlig, kun en pekepinn på problemets omfang	Enkel, men finnes i dag ikke noe krav opp i mot denne metoden
<b>Varighetskurve</b>	Enkel	Relativt god	Finnes i dag ikke noe krav som er stilt i på denne måten	Dårlig, kun en pekepinn på problemets omfang	Enkel, men finnes i dag ikke noe krav opp i mot denne metoden
<b>Tidsvektet varighetskurve</b>	Enkel, men tidkrevende for datamaskin	God	God, men kravene er bare delvis stilt på den måten	Liten mulighet for geografi, men gir en pekepinn på omfanget i tid	God metode som beskriver spenningskvaliteten bra, men kravene i dag er bare delvis stilt i forhold til informasjonen metoden gir/kan gi
<b>Nesekurve</b>	Relativt enkel	Usikker	Finnes i dag ikke noe krav som er stilt i på denne måten	Dårlig, kun en pekepinn på problemets omfang	Enkel metode, men usikkert hvor godt den beskriver spenningskvaliteten
<b>Spenning og ruteplan</b>	Arbeidsomt å sammenligne ruteplan og virkelig framføring	Dårlig, men gir et inntrykk av om toget blir forsinket	Enkel når kravet utformes som et absolutt minimum og toget skal holde ruta	Bra på både tid og geografi	Bygger på minimal spenning. Arbeidsomt, men gir et klart bilde av framføringstid i forhold til rute

På bakgrunn av denne enkle vurderingen, kan det se ut som om metoden ”tidsvektet varighetskurve” gir det beste inntrykket av spenningskvaliteten. Noen av normkravene til spenning er også utformet slik at de kan sammenlignes med resultatene metoden kommer fram til, men metoden kan gi en noe for lav verdi. Metoden gir imidlertid ikke noe informasjon om hvor i tid og sted eventuelle spenningsproblemer oppstår. Samtidig er resultatbehandlingen omfattende og tidkrevende. Derfor bør metoden i de tilfellene det er interessant støttes av vurderingen av minimal spenning som viser spenningen som funksjon av tid eller km, eller en vurdering av bare minimal spenning alene.

## 5 DAGENS KVALITET PÅ ENERGIFORSYNINGEN

Dette kapittelet har til hensikt å gi litt innsikt i hvilken kvalitet Jernbaneverkets energiforsyning til togframføring har i dag.

### 5.1 Forsinkelser på grunn av manglende/reduisert energiforsyning

Togledere og togekspeditører registrerer forsinkelser og innstillinger av tog i TIOS (TrafikkInformasjon og OppfølingsSystem). I en mellomperiode fra registreringen startet 1. juli 2004 og ut året har det vært forsøkt å spesifisere feilårsaken til ikke bare elkraft, men også om feilen ligger i kontaktledningsanlegget, banestrømforsyningen, lavspenningsanlegg eller andre ting. Det ser ut som problemer med nødfrakobling blant annet føres på annet og at banestrømforsyning mest brukes for feil på omformere med mer. Differensieringen av feilårsaken er avhengig av togleder eller togekspeditørens innsikt og erfaring. Det vil si at sorteringen her ikke nødvendigvis følger inndelingen i teknisk regelverk. Det er også vanskelig å avgjøre hva årsaken er når kommentaren bare er "strømløst".

En oversikt over de registrerte feilårsakene fram til i dag er gitt i tabell 5-1 tabell 5-2. Dersom en antar at dette utvalget på 4 måneder er representativt for antall feil på de ulike anleggstypene, så kan en se at en typisk har 264 feil i banestrømforsyningen som til sammen medfører 75 timer forsinkelse i året.

**Tabell 5-1: Antall forsinkelser på grunn av feil på elkraftanlegg i 2004.**

	Juli	August	September	Oktober	Totalt	Typisk år	Fordeling
Kontaktledning	14	189	46	32	281	843	60 %
Banestrømforsyning	3	26	59		88	264	20 %
Lavspenning			1		1	3	0 %
Annet elkraft	2	19	28	21	70	210	16 %
Sum	19	234	134	53	440	1320	100 %

**Tabell 5-2: Oversikt over forsinkelser på grunn av feil på elkraftanlegg i 2004 oppgitt i timer og minutter**

	Juli	August	September	Oktober	Totalt	Typisk år	Fordeling
Kontaktledning	08:40	107:07	49:30	07:25	172:42	518:06	80 %
Banestrømforsyning	02:14	04:20	18:31		25:05	75:15	12 %
Lavspenning			00:08		00:08	00:24	0 %
Annet elkraft	00:08	03:00	06:01	08:40	17:49	53:27	8 %
Sum	11:02	114:27	74:10	16:05	215:44	647:12	100 %

I 2003 sto, i følge Jernbaneverkets offisielle statistikk, elkraft (i rapportene kalt kontaktledning) for 664 timer og 36 minutter med forsinkelse. Dette utgjorde 23 % av alle forsinkelsene som skyldes feil på infrastruktur. Av alle forsinkelsesårsaker, det vil si både infrastrukturfeil og forsinkelser som skyldes trafikkutøverne og rullende materiell, utgjorde elkraft da 8,7 % av forsinkelsestiden.

TIOS har vært benyttet som database for forsinkelsesårsaker siden 2004-07-01. Tabell 5-3 viser de tre registreringene i TIOS i denne perioden hvor det er kommentert<sup>3</sup> at forsinkelsen skyldes lav spenning. Det registreres ikke årsak på en forsinkelse før forsinkelsen er 4 minutter eller mer. Problemene på Jærbanen og Bergensbanen (doble E116) er holdt utenfor.

<sup>3</sup> Togleder som fører loggen er ikke pålagt å skrive inn kommentar/begrunnelse så lenge det ikke føres opp forsinkelsesårsak "Annet elkraft". Det kan derfor hende at det er flere forsinkelser som skyldes lav spenning.



Ved gjennomgang av forsinkelsesloggen for første halvår 2004 og hele 2003 ser det ut som om det som er gjengitt her generelt er representativt for, men på grensen til å være mindre enn, de problemene en har generelt i banestrømforsyningen utenom nevnt spesialtilfeller i kapittel 5.3.1 og 5.3.4.

**Tabell 5-3: Forsinkelser på grunn av lav spenning registrert i TIOS i perioden 2004-07-01 til 2004-10-31.**

Dato	Tog	Sted	Innstilt	Forsinkelse	Kommentar
2004-08-09	5502	Hakadal	Nei	00:06	Lav spenning
2004-09-24	723	Audnedal	Nei	00:13	Stopp av Leivoll omformer, lav spenning
2004-09-24	776	Breland	Nei	00:12	Stopp av Leivoll omformer, svært lav spenning
2004-10-16	5512	Myrdal	Nei	00:41	Vedlikehold Mjølfjell omformer

En tilsvarende oversikt over forsinkelser som antas å være oppstått på grunn av banestrømforsyningen (og ikke kontaktledning) for 2003 og første halvdel av 2004 er gitt i vedlegg 6 sammen med problemene på Bergensbanen og Jærbanen.

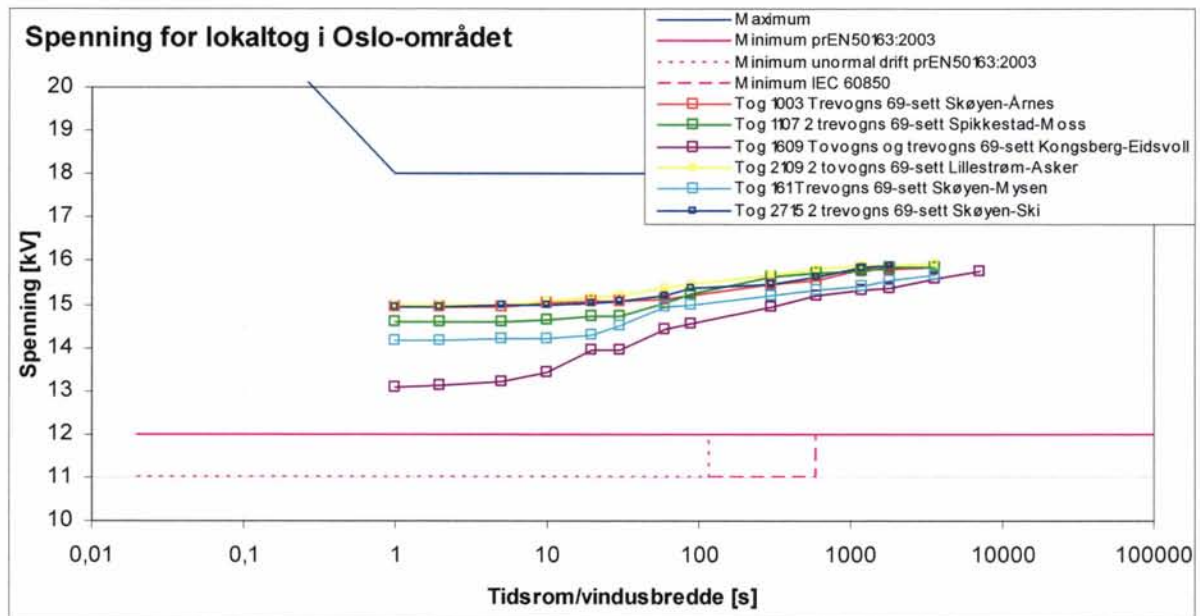
## 5.2 Eksempler på spenningskvalitet

For å gi eksempler på dagens spenningskvalitet er det i dette avsnittet presentert spenningen for en del utvalgte tog. Spenningen er hentet ut fra simuleringene ved hjelp av SIMPOW/SIMTRAC med dagens infrastruktur og trafikk utført i [9] og [10]. Det er forsøkt valgt tog der en har hørt fra lokfører eller antatt ut fra trafikken at spenningen kan være lav eller problematisk, men samtidig representativ<sup>4</sup>. Samtidig er det forsøkt variert på type tog og trafikk samt rullende materiell (togvekt og trekkraft). Det er lagt til grunn normal driftsituasjon.

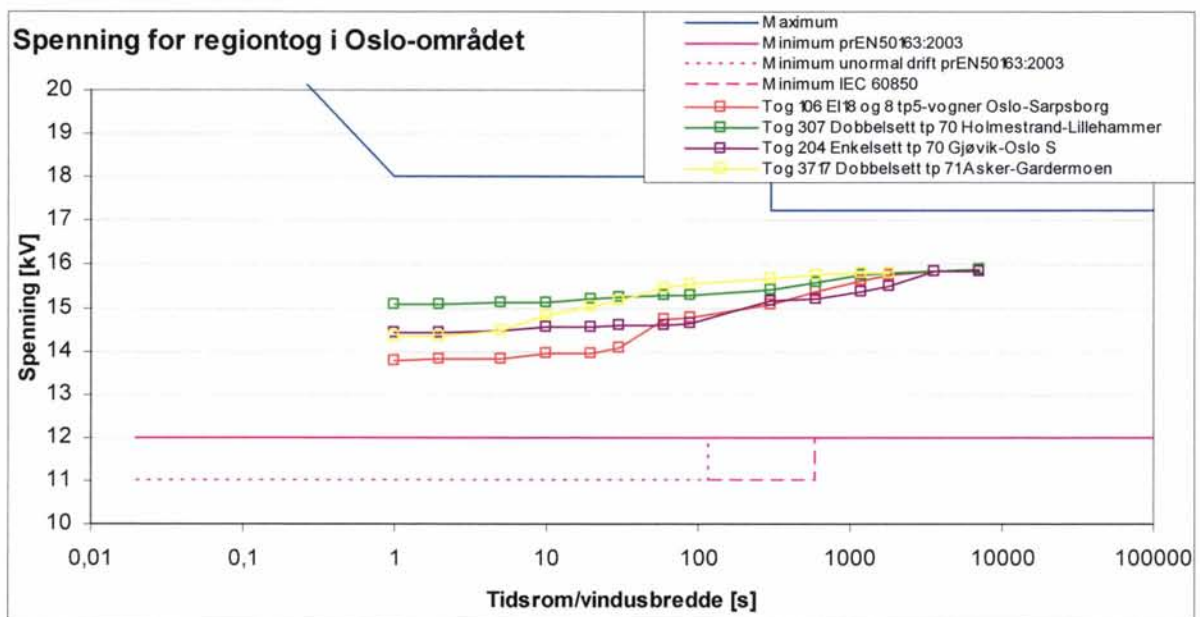
### 5.2.1 Oslo-området

Spenning i form av tidsvektet varighetskurve er vist for utvalgte lokaltog, regiontog og godstog i Oslo-området i henholdsvis figur 5-1, figur 5-2 og figur 5-3. De valgte togene går alle i morgenschiftet.

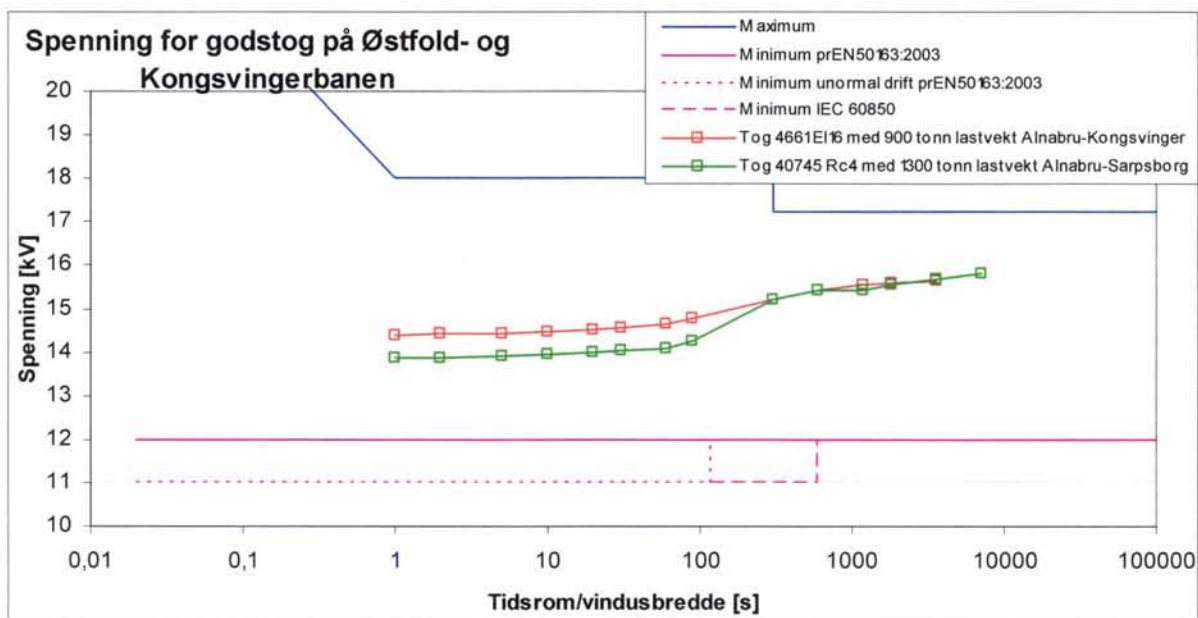
<sup>4</sup> En hører fra lokomotivførerne at det for tog 5507 på Bergensbanen ofte er problemer med lav spenning. På grunn av problemer med SIMPOW/SIMTRAC under arbeidet med denne rapporten er dessverre ikke det toget tatt med her.



Figur 5-1: Tidsvektet varighetskurve for spenningen for utvalgte lokaltog i Oslo-området.



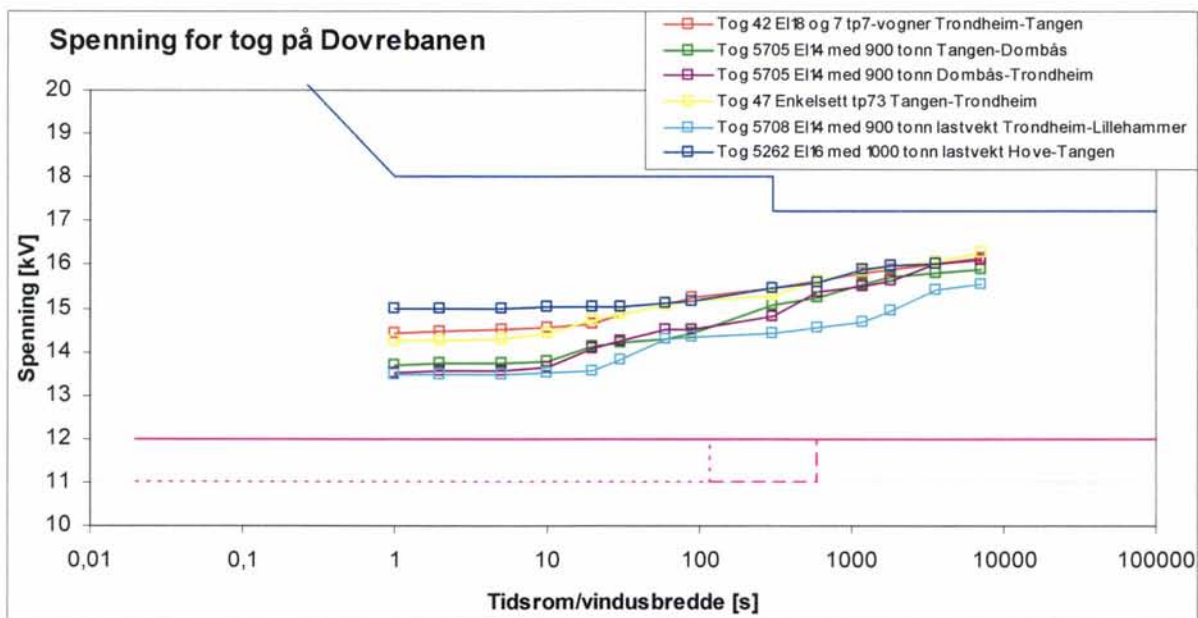
Figur 5-2: Tidsvektet varighetskurve for spenningen for utvalgte regiontog i Oslo-området.



Figur 5-3: Tidsvektet varighetskurve for spenningen for utvalgte regiontog i Oslo-området.

### 5.2.2 Dovrebanen

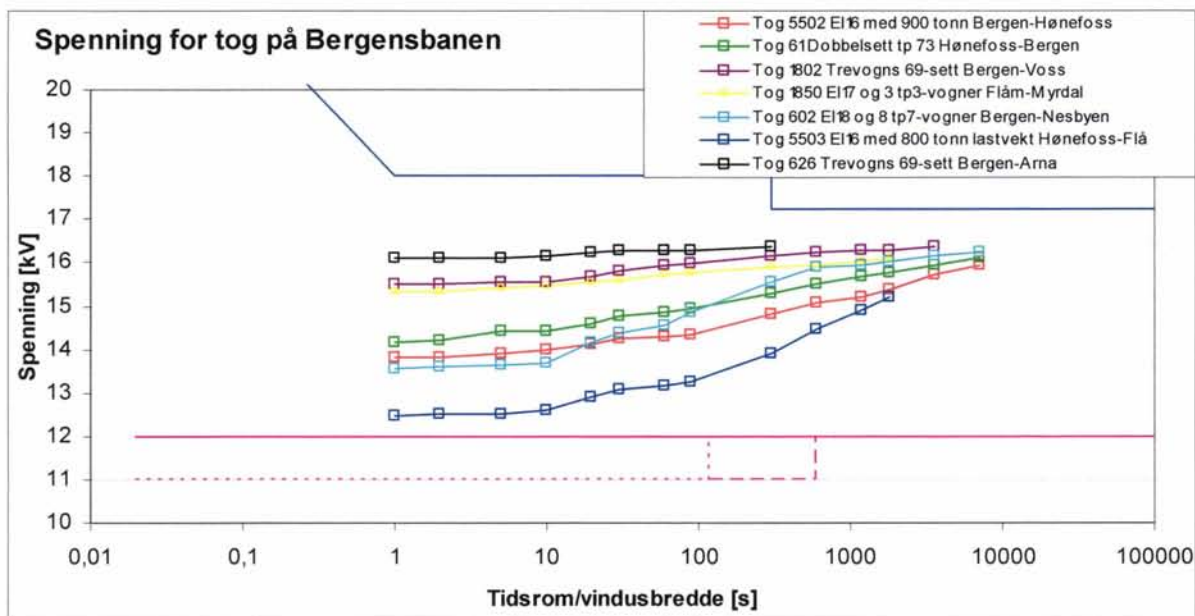
Spenning i form av tidsvektet varighetskurve er vist for utvalgte tog på Dovrebanen i figur 5-5.



Figur 5-4: Tidsvektet varighetskurve for spenningen for utvalgte tog på Dovrebanen.

### 5.2.3 Bergensbanen

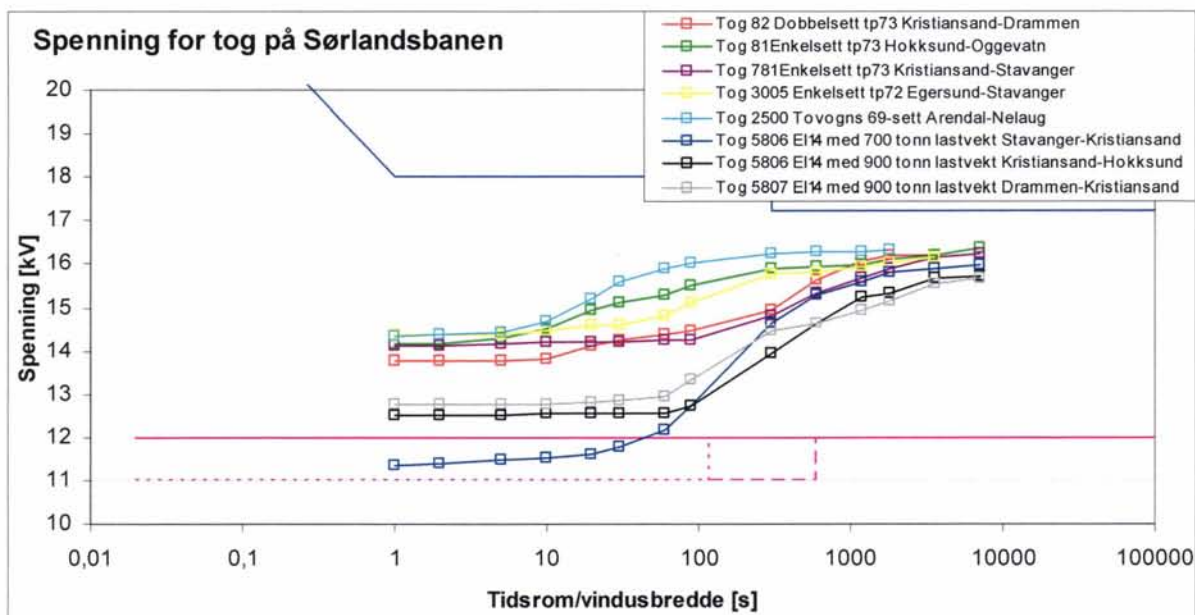
Spenning i form av tidsvektet varighetskurve er vist for utvalgte tog på Bergensbanen i figur 5-5.



Figur 5-5: Tidsvektet varighetskurve for spenningen for utvalgte tog på Bergensbanen.

### 5.2.4 Sørlandsbanen

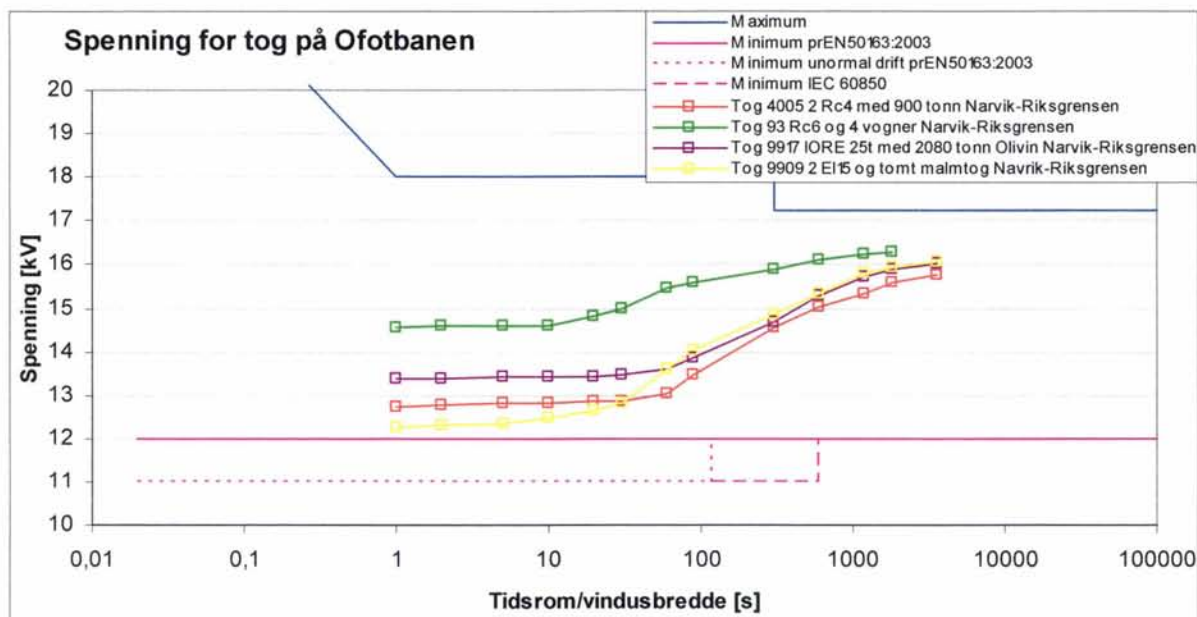
Spenning i form av tidsvektet varighetskurve er vist for utvalgte tog på Sørlandsbanen i figur 5-6.



Figur 5-6: Tidsvektet varighetskurve for spenningen for utvalgte tog på Sørlandsbanen.

## 5.2.5 Ofotbanen

Spenning i form av tidsvektet varighetskurve er vist for utvalgte tog på Ofotbanen i figur 5-7.



Figur 5-7: Tidsvektet varighetskurve for spenningen for utvalgte tog på Ofotbanen.

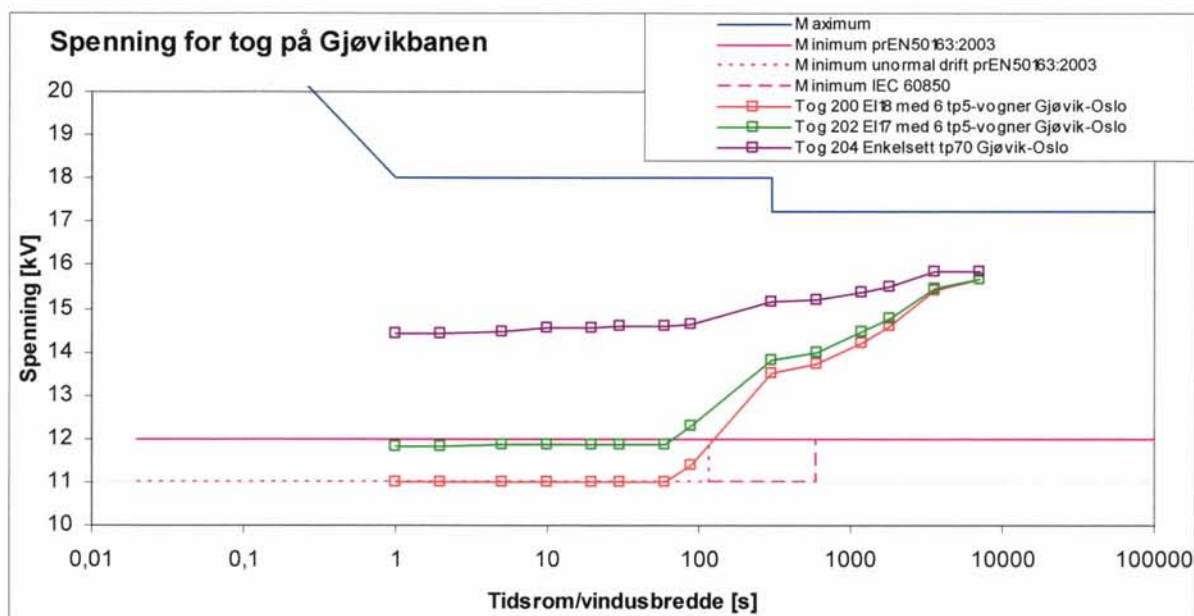
## 5.2.6 Kort diskusjon

Under forutsetning av at en har valgt representative tog så ser en at det er sjelden at spenningen, også kortvarig (2 minutter) kommer under 13-13,5 kV. Det skjer i tilfelle bare for godstog på Bergensbanen (El 16), Sørlandsbanen og Ofotbanen. Disse togene med lavest spenning kalles for dimensjonerende og det er disse en bør vurdere spenningskvaliteten på. For disse togene er typisk laveste kortvarige spenning (gjennomsnitt for tidsvindu mindre enn 2 minutter) rundt 12,5 kV og langvarig (gjennomsnitt for tidsvindu over 2 minutter) over 13,5 kV.

Bare i et tilfelle er ikke normkravene oppfylt (El 14 med 900 tonn Stavanger-Kristiansand) ettersom spenningen underskrider 12 kV.

For kortvarige spenninger kan det være mange tilfældigheter som spiller inn. For eksempel kan en oppleve samtidig akselerasjon av to eller flere tog i simuleringen som ikke ofte forekommer i virkeligheten på grunn av at et tog i simuleringen kan være noe før rutetid. Samtidig vet en at lokomotivførerne har til vane å "hjelpe" hverandre ved å redusere pådraget noe dersom et tog har spesielt behov for effekt på et tidspunkt. Denne kommunikasjonen finnes ikke i simuleringene og en kan kanskje heller ikke forvente mye av den i fremtiden ettersom mer og mer materiell har mulighet for kjøring i automatikk.

For å se om forutsetningen om at en har valgt representative tog har en valgt ut 3 tog som starter på Gjøvik og hvor forholdene ellers ser ut til å være like. Togene kan ha ulik sammensetning av rullende materiell. Tog 204 er toget som er valgt ut som representativt. En ser at tog 200 og 202 opplever betraktelig lavere spenning. Med andre ord synes utvalget av tog gitt i oversikten i avsnittene foran som tynn. Sammenlignet med arbeidet som ligger bak å få ut disse kurvene tror en likevel at oversikten kan gi et ok bilde i forhold til å ikke få noe inntrykk i det hele tatt.



Figur 5-8: Sammenligning av spenning for tog på Gjøvikbanen.

### 5.3 Dagens problemer med banestrømforsyningen

Dette avsnittet gir et kort innblikk i hvilke problemer en har hatt med energiforsyningen i forhold til rullende materiell i de siste årene. Felles for mange av problemene er at de ikke angår kvaliteten på spenningen i det lys som denne rapporten vurderer.

#### 5.3.1 El 16 på Bergensbanen

Sommeren og høsten 2003 opplevde en store problemer med fremføring av tunge godstog på Bergensbanen trukket av El 16. På grunn av økt transportbehov samtidig med ferieavvikling for lokomotivførerne valgte CargoNet å øke lastvektene på noen tog og fikk dermed behov for mer trekraft. Løsningen ble El 16 i multippel.

Dette førte til tre ulike typer problemer:

- Falsk belegg av sporfelt
- Bryterfall på utgående linje i omformerstasjonene
- Lave spenninger

Bortsett fra lave spenninger, er i utgangspunktet ikke problemene her tema for denne rapporten. Problemene er blitt færre etter at CargoNet fikk et ekstra togpar for å kunne redusere multippelkjøringen samtidig som det gikk ut C-sirkulære om restriksjoner på strømuttak ved bruk av El 16 ([24]).

#### 5.3.2 Type 73 på Bergensbanen

Det har vært opplevd problemer med strømretterne på type 73 på Bergensbanen, spesielt ved kjøring av dobbelsett. Dette har vært mer ansett som et stabilitetsproblem og havner derfor ikke under slik en betrakter spenningskvaliteten i denne rapporten.

#### 5.3.3 El 18 generelt

Etter idriftsettelsen av El 18 oppdaget en pendlinger i spenningen i trefasenettet som mater noen av omformerstasjonene. Pendlingene ble satt i sammenheng med El 18 sin slirekontroll som hurtig slår av og på lokomotivets pådrag på samme frekvens som de roterende

omformeraggregatenes egenfrekvens (~1,2 Hz). Problemene er så vidt en oppfatter ikke endelig løst, men denne problematikken er ikke noe tema for denne rapporten.

#### **5.3.4 Type 72 på Jærbanen**

De nye lokaltogsettene NSB type 72 er etter en prøveperiode satt i full drift på Jærbanen. Det oppleves problemer når disse kjører og det bare er ett aggregat i drift i Ganddal omformer. Lokomotivføreren opplever dette som om spenningen varierer veldig og det ikke er mulig å få ut trekraft til fremføringen. Dette er mer et kompatibilitetsproblem enn en direkte spenningskvalitetsproblem som betraktes i denne rapporten.

#### **5.3.5 El 16 på Sørlandsbanens vestre del**

El 16 er i følge Driftshåndboka ([11] kapittel 2 Strekningsoversikt punkt 2.3) ikke tillatt fremført vest for Kristiansand på Sørlandsbanen. Bakgrunnen for kjøreforbudet var i sin tid ([12]):

- Falskt belegg,
- Brente skjøter ved sugetransformatorfelt,
- Støy på teleinstallasjoner og
- Stort spenningsfall på kontaktledningen på enkelte deler av strekningen

I ettertid er Kielland og Leivoll omformerstasjoner kommet til slik at spenningsforholdene på strekningen er bedret. I tillegg er alle kondensatorbatteriene fjernet. De andre årsakene til restriksjonene havner utenfor denne rapporten.

#### **5.3.6 El 16 Dovrebanen**

El 16 er i følge Driftshåndboka ([11] kapittel 2 Strekningsoversikt punkt 2.3) ikke tillatt fremført i multipekstraksjon på Dovrebanen primært av hensyn til sporfeltene.

#### **5.3.7 Bruk av RC-lokomotiver**

I følge Driftshåndboka ([11] kapittel 2 Strekningsoversikt punkt 2.3) er RC-lokomotiver ikke tillatt fremført Lillehammer-Trondheim, Oslo-Stavanger, Drammen-Larvik-Tinnoset, Hokksund-Hønefoss, Nelaug-Arendal, Oslo-Roa-Bergen, Roa-Gjøvik og Myrdal-Flåm. Dette begrunnes i støy på teleinstallasjoner og manglende elektrisk brems.

#### **5.3.8 Gjøvikbanen**

I følge Driftshåndboka ([11] kapittel 2 Strekningsoversikt punkt 2.3) er det ikke tillatt med to virksomme elektriske lokomotiver i samme tog fra Gjøvik mot Roa. Det tillattes kun ett 70-sett om gangen nord for Roa og det tillates kun ett 69-sett om gangen nord for Jaren (to 69-sett kan gå sammenkoplett Roa-Jaren). El 16 er ikke tillatt fremført på nord for Roa. Restriksjonene begrunnes med problemer ved lav spenning.

For å følge opp spenningen på Gjøvikbanen utføres fra tid til annen målinger av spenningen på Gjøvik stasjon ([13]).

### **5.4 Trafikkutøvernes erfaringer**

Ingen av de trafikkutøverne en har vært i kontakt med opplyser at energiforsyningen i dag er et stort problem med unntak av punktene nevnt over.

## 5.5 Tilgjengelighet og pålitelighet for dagens banestrømforsyningsanlegg

### 5.5.1 Tilgjengelig effekt vektet på omformerytelse

Bane Energi fører statistikk over hvor mange MVA-timer de ulike aggregatene ikke planlagt har vært ute kalt "Ytelsesstatistikk". Det vil si at planlagt stopp på grunn av vedlikehold og lignende ikke er med i statistikken. Tallene er vektet ut i fra ytelsen på aggregatene.

**Tabell 5-4: Tilgjengelighet effekt for Bane Energis anlegg 2002-2004 vektet på omformerytelse.**

	2002 (jan-aug)	2003	2004 (jan-aug)	Gjennomsnitt
Statiske aggregater	98,7 %	87,9 %	86,7 %	90,9 %
Roterende aggregater	97,6 %	98,6 %	99,5 %	98,5 %
Kjosfoss KRF	98,0 %	100,0 %	100,0 %	99,4 %
Totalt	97,9 %	95,5 %	95,7 %	96,3 %

Av tabellen ser en at de roterende aggregatene i gjennomsnitt er tilgjengelig 98,5 % av tiden, mens de statiske bare er tilgjengelig 90,9 % av tiden. De roterende aggregatene har generelt høy tilgjengelighet, mens de statiske har vært befengt med en del langvarige feil (for eksempel brann i det ene aggregatet på Lillestrøm omformerstasjon).

### 5.5.2 Gjennomsnittlig utilgjengelighet

Ut i fra "Ytelsesstatistikk" kan en også beregne total tilgjengelighet uten å ta hensyn til aggregatyttelsen. Dette er vist i tabell 5-5.

**Tabell 5-5: Tilgjengelighet effekt for Bane Energis anlegg 2002-2004.**

	2002 (jan-aug)	2003	2004 (jan-aug)	Gjennomsnitt
Statiske aggregater	97,7 %	86,5 %	83,3 %	89,1 %
Roterende aggregater	96,9 %	98,3 %	99,5 %	98,2 %
Kjosfoss KRF	98,0 %	100,0 %	100,0 %	99,4 %
Totalt	97,1 %	96,1 %	96,4 %	96,5 %

Ut i fra dette kan en regne ut en gjennomsnittlig utilgjengelighet i 2002-2004 for de ulike typene aggregatene som vist i tabell 5-6. Merk at dette er tid som aggregatene ikke er planlagt ute av drift. Eventuelt planlagt vedlikehold kommer i tillegg.

**Tabell 5-6: Gjennomsnittlig utilgjengelighet for type aggregater**

	Total tilgjengelighet	Gjennomsnittlig utilgjengelighet
Statiske aggregater	89,1 %	39,8 dager/år
Roterende aggregater	98,2 %	6,2 dager/år
Kjosfoss KRF	99,4 %	2,2 dager/år
Totalt	96,5 %	12,0 dager/år

### 5.5.3 Alvorlige feil på aggregater og stasjoner

Bane Energi fører alle feil på sine omformeraggregater i en database. Feilregistreringen ble startet 1. januar 2001. Med alvorlig feil menes at respektive aggregat eller stasjon ikke kan levere energi.

Avlest i oktober 2004 fant en total ca 2700 feil, nærmere bestemt:



- 1031 alvorlige feil på omformeraggregater (B12) hvorav 27 av disse medførte forsinkelse.
- 216 alvorlige feil på omformerstasjoner (B1) hvorav 9 av disse medførte forsinkelse.
- 200 restriksjoner hvorav 29 av disse medførte forsinkelse.

Dette gir i gjennomsnitt:

- Alvorlig feil på et aggregat hver 1,3. dag, det vil si i gjennomsnitt hver 83. dag per aggregat.
- Alvorlig feil på en stasjon hver 6,3. dag, det vil si i gjennomsnitt hver 208. dag per stasjon.

Bane Energi fører også en intern oversikt over totalt antall feil i egne anlegg for de ulike månedene kalt "Produktets kvalitet". Dette er oppsummert i tabell 5-7 nedenfor. En antar at noe av avviket i antall feil i tabellen i forhold til registreringene nevnt over skyldes at "Produktets kvalitet" ikke dekker eksakt samme tidsperiode som databasen.

**Tabell 5-7: Feil i Bane Energi sine anlegg ihht. til "Produktets kvalitet"**

	2001 (jan-jul)	2002	2003	2004 (jan-sept)	Totalt
Feil egne anlegg	193	347	282	165	987
Hvorav medførte forsinkelse/innstilling	1	3	1	2	7

#### 5.5.4 Fordeling av feilårsaker for stasjoner

I følge Bane Energi er de hyppigste feilårsakene følgende i rekkefølge:

1. Feil i kontrollanlegg (mekaniske releer dominerer)
2. Bortfall trefase mating
3. Feil i fjernkontrollanlegg inkludert måleverdiomforming
4. Brannutrykninger
5. Feil i enfase 15 kV høyspenningsanlegg

#### 5.5.5 Tid for retting av feil

Hva gjelder feilretting, får en opplyst følgende fra Bane Energi:

- Feil i roterende omformeraggregater løses normalt i løpet av dagen.
- Feil i komponenter/utstyr er avhengig av om en har komponenten på lager. Feil på en modul på en statisk omformer kan typisk ta måneder.

#### 5.5.6 Bortfall av trefase mating til omformerstasjoner

I "Produktets kvalitet" inngår også registrering av hvor mange feil det har vært i eksterne anlegg, det vil i praksis si trefasematingen til omformerstasjonene. Med 33 omformerstasjoner får en at trefasemating i gjennomsnitt bortfaller i underkant av 1 gang per stasjon per år.

Det bør legges til at bortfall av trefasenett flere ganger skyldes uvær/tordenvær over større områder som igjen fører til at flere stasjoner mister forsyningen samtidig, for eksempel tordenværet 17.-18. juli 2003 som medførte 12 feil i eksterne anlegg. Et slikt større regionalt utfall av kraftnettet ser ut til å være tilfelle hvert år til hvert annet år.

**Tabell 5-8: Feil i eksterne anlegg, dvs. trefase mating, ihht. "Produktets kvalitet"**

	2001 (jan-jul)	2002	2003	2004 (jan-sept)	Totalt
Feil eksterne anlegg	14	37	30	11	92
Hvorav medførte forsinkelse/innstilling	1	3	1	4	9

### 5.5.7 Planlagt vedlikehold

En har ikke klart å få noen oversikt over planlagt vedlikehold av matestasjonsanlegg. Ved planlagt vedlikehold sendes det ut T-sirkulære slik at lokomotivførerne får beskjed om manglende matekapasitet og eventuelt kan være forsiktige med pådraget.

### 5.5.8 Redundans

De aller fleste omformerstasjonene består i dag av to omformeraggregater, noen består av tre og bare de færreste har bare ett aggregat.

Se for øvrig diskusjon kapittel 5.6.

### 5.5.9 Kort diskusjon

Det er i dette avsnittet presentert en mengde data som forteller om påliteligheten og tilgjengeligheten på banestrømforsyningsanleggene, det vil nærmere bestemt si matestasjonene.

For å gjøre en kort sammenligning for å finne ut hvordan denne tilgjengeligheten er i forhold til kravene i teknisk regelverk:

- Alvorlig feil på aggregat er i dag gjennomsnittlig hver 83. dag sammenlignet med krav til MTBF for feil i teknisk regelverk som er 2000 t, det vil si 83 dager
- Tilgjengelighet på 96,5 % finner en at er mindre enn typisk krav til tilgjengelighet per aggregat i stasjoner med to aggregater på 99,75 %.
- Med MTBF på 83 dager og en tilgjengelighet på 96,5 % finner en en gjennomsnittlig MTTR på 72 timer, hvilket er betydelig mer enn kravet i regelverket på 4 timer.
- Alvorlig feil på stasjon er i dag gjennomsnittlig hver 208. dag sammenlignet med krav til MTBF for alvorlig feil i teknisk regelverk som er 4000 t, det vil si 166 dager
- Uten å kunne gå i detalj, ser en at med en gjennomsnittlig tilgjengelighet på 96,5 % er en på grunn av lang utetid (MTTR) ikke i stand til å tilfredsstille kravet til regelverkets krav til tilgjengelighet mot verken alvorlige feil eller feil på henholdsvis 99,99 % og 99,95 %. Om en regner typisk stasjon med to aggregater får en en tilgjengelighet mot feil på 99,88 %. Det er over dobbelt så stor utilgjengelighet i forhold til regelverkskravet.

Når en studerer tallene gitt over her, så må en ha i minne at flere av omformerstasjonene gjerne er bygd før kravet til tilgjengelighet ble satt i teknisk regelverk. Prosjekteringskrav har ikke tilbakevirkende kraft. Det er derfor bedre å forholde seg til vedlikeholdsregelverkets krav om at tilgjengeligheten skal være det den enkelte stasjon ble prosjektert og bygget for. Samtidig ser en at tilgjengeligheten til de statiske omformeraggregatene er dårligst, og det kan virke paradoksalt i forhold til at det gjerne er kravspesifikasjonen til disse omformerstasjonene som danner grunnlag for tilgjengelighetskravene i dagens prosjekteringsregelverk.

## 5.6 Kort diskusjon

Oppsummert dette kapitlet kan en forsøke å trekke følgende slutninger:

- Det er enkelte konkrete problemer med/i banestrømforsyningen i dag (5.3)
- Spenningskvaliteten er som oftest i henhold til krav i internasjonale normer, men noen avvik ser ut til å forekomme (5.2)
- Det registreres i Jernbaneverkets forsinkelseslogg fra tid til annen forsinkelser på grunn av lav spenning, men mørketall kan forekomme (5.1)
- Trafikkutøverne rapporterer ikke offisielt om store problemer med energiforsyningen (5.4)
- Lokomotivførerne kan imidlertid fortelle om lav spenning og problemer rundt dette, men kan ikke dokumentere noe (2.5)
- Det er i dag noen restriksjoner for bruk av enkelte typer trekraft på enkelte banestrekninger (5.3). Noen av disse begrensningene skyldes lav spenning og problemer med banestrømforsyningen gjennom uheldig samspill mellom rullende materiell og infrastruktur, men flere av restriksjonene i Driftshåndboka er begrunnet av returstrømmens (og kontaktledningsstrømmens) påvirkning av andre installasjoner (signal og tele)
- Dagens matestasjonsanlegg har en lavere tilgjengelighet enn det dagens prosjekteringsregelverk stiller krav om (5.5)

Sett i forhold til det svake radialnettet Jernbaneverket i stor grad og tilgjengeligheten som er funnet for dagens matestasjonsanlegg ser det ikke ut til å være store problemer med banestrømforsyningen bortsett fra i enkelte konkrete tilfeller som til dels faller utenfor arbeidet i denne rapporten. En av grunnene til dette kan være god redundans i systemet og kanskje også noe overdimensjonering. Generelt ser det ut til å være registrert flere forsinkelser som skyldes feil med matestasjonsanlegg enn det som angis i kapittel 5.5.3

De få forsinkelsene som rapporteres kan jo være overraskende i forhold til enkelte lokomotivføreres karakterisering av energiforsyningen. Årsakene til dette er ikke vurdert særlig. Det er ikke umulig at det er noen mørketall på grunn av mangelfull og/eller forvirrende forklaring i forsinkelsesloggene.

Det er ikke undersøkt og studert spesielt, men en sitter med et samlet inntrykk etter samtaler med personell i Jernbaneverket og tallene her om at kravet til redundans i mateenheter i stasjoner som beskrevet i dagens kriterium ikke oppfylles i alle tilfeller. Sannsynligvis oppfylles kravet i Oslo-området og de stasjonene på fjernstrekningene som er lavt/normalt belastet. Stasjoner som står i stigninger er kanskje mer kritiske. En forklaring på dette kan være antall omformeraggregater og størrelsen på disse som er tilgjengelig for Jernbaneverket. Likevel ser det ut som om en kan berge en del situasjoner ved å gi beskjed til togleder som igjen modererer lokomotivførerne og gjerne også legger om kryssingene slik at tog kan fremføres med noe forsinkelse. Dette gjelder både for utfall av en mateenhet og matestasjon.

Oppsummert registrerer en:

- Dagens kvalitet på spenningen kan være noe lavere enn dagens krav i teknisk regelverk
- Dagens redundans i banestrømforsyningen kan være noe lavere enn dagens krav i teknisk regelverk
- Dagens tilgjengelighet for matestasjonene er lavere enn dagens (prosjekterings-) krav

Likevel ser en at banestrømforsyningen synes å være god nok og bidrar ikke vesentlig til forsinkelser, men legger noen begrensninger. Det kan da være naturlig å spørre seg om dagens krav som stilles er for strenge.

## 6 KOSTNADER VED MANGLENDE INFRASTRUKTUR

Dette kapitlet gir et kort innblikk i hvilke kostnader som kan påløpe trafikkutøverne ved mangel på infrastruktur. Kapitlet forteller også kort om ulike kompensasjonsordninger i forhold til trafikkutøverne.

### 6.1 Kostnader ved forsinkelse

I Jernbaneverkets metodehåndbok for samfunnsøkonomiske analyse for jernbanen ([25]) tilhører det ulike typiske tall for forsinkelseskostnader for persontog og godstog. Nøkkeltallene for disse kostnadene finnes i vedlegg 7. Hva som ligger i disse tallene er ikke vurdert nærmere. De totale kostnadene som påløper på grunn av forsinkelse og innstilling av tog kan være vanskelig å synliggjøre. Det kan også være usikkert hvilke kostnader som en skal ta hensyn til i denne sammenhengen, men Jernbaneverkets nøkkeltall inkluderer ikke redusert omdømme og redusert konkurransekraft for jernbanesektoren. Derfor er det nedenfor gitt to eksempler på hva feil på infrastrukturen kan medføre av kostnader ut i fra andre kilder.

#### 6.1.1 Eksempel på forsinket godstog

Tog 5705 fra Alnabru til Trondheim går med 2xE116 og 1275 tonn lastvekt som beskrevet i kapittel 4 foran. Toget er en CombiExpress med 20 seksakslede boggivogner med plass til 2 lastbærere hver, det vil si totalt 40 containere, veksselflak eller semihengere. Dette gir en total toglengde rundt 700 m.

Ved en times forsinket ankomst til Trondheim er kostnader som vist i tabell 6-1 antatt å påløpe. Tallene bygger i stor grad på informasjon fra CargoNet om tilsvarende tog på Nordlandsbanen.

**Tabell 6-1: Kostnader som påløper ved 1 times forsinkelse av tog 5705.**

	Kostnad per lastbærer [kr]	Kostnad for hele toget [kr]
Transportør (bil og sjåfør) for videre transport/distribusjon må vente 1 time	1000	40 000
Sorteringsleddet må vente 1 time (antar 1,5 personer)	600	24 000
Forsinkelse av videredistribusjon også for andre kunder som ikke nødvendigvis har noe med toget å gjøre. Antar 2 biler per container per time a kr 500,-.	1000	40 000
Tre kunder per container mottar varer for sendt og må gjøre tilpasninger til en kostnad av 500,- per stk	1500	60 000
Ytterligere erstatningskrav fra kunder	?	?
Ekstra arbeidstid for lokfører (overtid)		500
Problemer med turnering av materiell og personell		?
Depotproblemer (opphopning av containere på terminal)		?
Redusert omdømme for godstransport på jernbane		?

De totale kostnadene er vanskelig å bedømme. Men en ser at å forsinke et slikt tog en time på grunn av for eksempel feil på infrastrukturen, direkte kan øke prisen på jernbanetransporten med over 150 000 kr. Hvem som faktisk må bære disse kostnadene er avhengig av trafikkutøverens avtaler med sine kunder. Ytterligere erstatningskrav kan forekomme.

Kostnadene med turnering av materiell og personell er veldig avhengig av hvordan turneringsplanene er lagt opp i det bestemte tilfellet og hvor stor fleksibilitet en har lagt opp til. Sammen med depotproblemene kan dette enten gis sin pris i brist om den aktuelle forsinkelsen oppstår, eller sin pris i at en har tatt høyde for det på forhånd og da har et for dyrt

opplegg i forhold til det som er nødvendig når det ikke er forsinkelse. Redusert omdømme for jernbanen har en ikke kunnet prissette.

### **6.1.2 Eksempel på isolatorfeil på Dovrebanen**

I [17] vedlegg 7 "Konsekvensanalyse" er det oppgitt noen kostnader ved forsinkelse og innstilling av persontog og godstog på Dovrebanen på grunn av en isolatorfeil mellom Dombås og Hjerkin.

Basert på erfaringstal fra NSB, NSB Gods og BanePartner oppgis følgende kostnader:

- 3 timer forsinkelse av persontog kr 30 000 for erstatning for brutt korrespondanse med fly osv.
- 2 timer forsinkelse av godstog kr 500 000 for erstatning til kunder
- Diesellokomotiv for å trekke elektrisk materiell ut av spenningsløs seksjon kr 25 000
- Busstransport 20 mil for innstilt persontog kr 15-20 000

## **6.2 Kompensasjonsordninger ved manglende infrastruktur**

### **6.2.1 KILE**

KILE står for "Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi" og er en ordning som alle elektrisitetsverk er bundet opp mot i henhold til Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer. Utgangspunktet for KILE-ordningen er at nettselskapene tildeles en årlig inntektsramme av NVE. Denne inntektsrammen er basert på effektiv nettdrift og en viss leveringskvalitet hva angår avbrudd i leveringen.

Systemet fungerer da slik at dersom faktisk KILE – beløp, basert på nettselskapets registrerte feil og avbruddsstatistikk (FASIT) er høyere enn "årlig forventet KILE- beløp" fastsatt av NVE, må nettselskapet trekke differansen fra som merinntekt fra neste års inntektsramme. Dvs. nettselskapet får lavere inntekter av nettet fordi det har vært for mange/lange feil og avbrudd. Dersom forholdet er omvendt, nettselskapet har mindre feil og avbrudd enn det NVE har fastsatt som "årlig forventet" har nettselskapet fått en mindreinntekt som de kan legge til neste års inntektsramme. Dvs. nettselskapet får høyere inntektsramme fordi kvaliteten på leveransen er bedre en det NVE krever.

Leveransene av elektrisk energi til Jernbaneverket er også omfattet av KILE. Det vil si at respektive nettselskap som transporterer energi til Jernbaneverket vil få redusert sin inntektsramme dersom kvaliteten på leveransen med tanke på feil og avbrudd er dårligere enn det NVE har fastsatt. Dette kommer Jernbaneverket og dermed trafikkutøverne til gode gjennom redusert nettleie. Det er imidlertid viktig å merke seg at denne kompensasjonen ikke nødvendigvis står i noe forhold til de ulemper et avbrudd i energiforsyningen vil medføre for en trafikkutøver, verken i størrelsesorden, differensiering mellom de ulike trafikkutøverne eller om det i det hele tatt kompenseres.

### **6.2.2 Dagens sportilgangsavtale**

I dagens sportilgangsavtale ([19]) pålegger så vel disse som Jernbaneverket en plikt til å yte i overensstemmelse med et nærmere definert nivå. Dersom ytelsen svikter, er det bare hjemlet at Jernbaneverket kan kreves for erstatning dersom det har opptrådt uaktsomt. Jernbaneverket har likevel en lovpålagt plikt til å rette opp feil raskt.

#### Kapittel 16.1 Ansvarsgrunnlag:

*"JBV er erstatningsansvarlig for skade eller tap TU påføres og som skyldes uaktsomme eller forsettlige forhold hos JBV eller noen JBV svarer for."*

#### Kapittel 16.3 Utmåling:

*"Partene kan bare kreve erstattet indirekte tap dersom det foreligger forsett eller grov uaktsomhet. Som indirekte tap regnes bl.a. tap i kontrakt med tredjemann, herunder*

- a. fortjenestetap*
- b. inntektstap*
- c. utgifter til alternativ transport*

*Likevel skal alle utgifter til nødvendig alternativ transport som påbegynnes innen 12 timer etter at hindringen inntraff regnes som direkte tap for turen frem til bestemmelsesstedet forutsatt at strekning og starttidspunkt dokumenteres skriftlig.*

*Erstatning for indirekte tap er begrenset til MNOK 25 per skadetilfelle."*

Disse bestemmelsene vil gjelde tilsvarende ved svikt i energileveransen.

EU-direktiv 2001/14 pålegger alle infrastruktureiere i EU å ha et system som gjensidig skal oppmuntre partene til å forbedre sine ytelser. Blant annet har Danmark og Italia dette. Jernbaneverket arbeider med å etablere et slikt system i tilknytning til TIOS.

### **6.2.3 Til vurdering i ny sportilgangsavtale**

Jernbaneverket er av trafikkutøverne bedt om å utrede konsekvensen av at både infrastruktureier og trafikkutøver har et kontrollansvar. Det vil si at hver av partene kan stilles til ansvar for feil/skader/forsinkelser som skyldes forhold den enkelte skal ha kontroll over. Det vil for Jernbaneverket si feil i infrastruktur og trafikkstyring. Det vil være Samferdselsdepartementet som avgjør om kontrollansvar skal innarbeides i kommende sportilgangsavtaler. For internasjonale tog kan ansvarsbestemmelsene følge av EU-direktiver og/eller internasjonale konvensjoner Norge har sluttet seg til (COTIF).

### **6.2.4 Ytelsesordning**

Samferdselsdepartementet ønsker at Jernbaneverket implementerer en ytelsesordning for kompensasjon ved lav punktlighet i henhold til EU direktiv 2004-14 artikkel 11. Ordningen er under utarbeidelse i samarbeid med trafikkutøverne. Mer informasjon om ordningen finnes på sak 200400117.

Et poeng med ordningen er at den ikke skal gå ut over det sikkerhetsrelaterte arbeidet og de avgjørelser som tas i driften. Togleders prioriteringer eller den enkelte lokomotivførers vurderinger skal ikke få direkte konsekvenser for ordningen. Ytelser vil bare bli beregnet dersom punktligheten kommer under et gitt nivå (antakelig typisk 90 %). Ytelsene vil bli beregnet for hver enkelt trafikktype, relasjon og trafikkutøver. Hensikten er å heve det generelle kvalitetsnivået på infrastrukturen og forbedre trafikkutøvernes mer langsiktige arbeid. Enkeltfeil i energiforsyningen vil derfor ikke eller i liten grad få trigge kompensering, men derimot ved generelt dårlig kvalitet som fører til dårlig punktlighet kan en forvente at det vil belastes Jernbaneverket.

### **6.2.5 Konklusjon**

Det eksisterer i praksis i dag ikke noen kompensasjonsordning mellom Jernbaneverket og trafikkutøverne, men diverse ordninger vurderes. En må derfor regne med at det etableres en ordning i fremtiden hvor det vil koste å ha infrastruktur med dårlig kvalitet. KILE-ordningen

gir generell kompensasjon gjennom nettleia ved utfall i energiforsyningen til omformerstasjonene dersom tilgjengeligheten/kvaliteten er lavere enn avtalt. Denne kompensasjonen kommer trafikkutøverne generelt til gode og kompenserer ikke spesielt de som måtte ha blitt forsinket. En vurderer det slik at disse ordningene ikke tas hensyn til i tillegg til nøkkeltallene for forsinkelseskostnader i det videre arbeidet i denne rapporten.

## 7 KOST/NYTTEVURDERING AV KVALITET PÅ ENERGIFORSYNINGEN

Hvilken kvalitet en velger på den elektriske energiforsyningen avhenger både av tekniske og økonomiske faktorer. I dette kapittelet er det utført enkel kost/nyttevurdering av kvaliteten på energiforsyningen.

### 7.1 Enkel vurdering av krav til spenning

I vurderingen er det tatt utgangspunkt i et bestemt tilfelle; banestrømforsyning på Dovrebanen Eidsvoll-Trondheim i normal driftsituasjon. Det er sammenlignet kostnader for utbygging av hele banestrømforsyningen avhengig av tre forskjellige kategorier spenningskrav og for både konvensjonelt kontaktledningsanlegg og autotransformatorsystem.

Spenningskravskategoriene hvor det er minimumsspenningen momentan som betraktes, er:

- 12,0-12,5 kV – minimumsspenning i forhold til normkrav
- 13,0-13,5 kV – relativt god spenning
- 14,0-15,0 kV – meget god spenning

Sammen med minimumsspenningen er antatt en korresponderende verdi av 2 minutters middel som funnet i kapittel 3.4

I vurderingene er det tatt hensyn til de kostnadene som er ulike for de forskjellige alternativene. Det vil si at en har sett bort fra investerings- og driftskostnader for kontaktledningen som er antatt å være like for de tre alternativene med konvensjonell kontaktledning. Nyten av den bedre kvaliteten på energiforsyningen er synliggjort gjennom forsinkelseskostnader for systemene med lav spenning. En sitter da igjen med følgende kostnader:

- Investeringskostnader
- Driftskostnader
- Kostnader for tap i kontaktledning og omforming i tillegg til nettleie avhengig av installert omformerytelse
- Forsinkelseskostnader

#### 7.1.1 Inndata

Det er lagt til grunn en levetid og en beregningsperiode på 30 år og en internrente på 7 %. Det er ikke tatt hensyn til prisstigning.

For forsinkelseskostnader er det lagt til grunn kostnadene gitt i [25] og vedlegg 7. For antall tog er det lagt til grunn et gjennomsnitt mellom dagens situasjon og det som ser ut til å være delmål for 2010 i utkast til strekningsvis utviklingsplan for Dovrebanen 5-10 år frem i tid.

Tiden som hvert tog blir forsinket på grunn av lav spenning er utledet fra simuleringene i kapittel 3.4 ved at forsinkelsen er satt lik tillegget i fremføringstid for de ulike alternativene i forhold til referansesimuleringen på 15 kV. For 12,0-12,5 kV er det angitt 61,5 sekunder forsinkelse for hvert tog og for 13,0-13,5 kV er det angitt 5 sekunder forsinkelse for hvert tog. Dette er en gjennomsnittstid.

Investerings- og driftskostnader for de ulike anleggsalternativene er begrunnet i en vurdering gitt i vedlegg 8 og bygger i stor grad på [22] og [23]. Det er ikke tatt med fjernledningssystem ettersom dette regnes som uaktuelt å bygge på Dovrebanen.



Det er tatt utgangspunkt i det energiforbruket en har på Dovrebanen i dag pluss 20 % for trafikkøkningen. Videre er det antatt en energipris på tapene på 257 kr/MWh (240 kr for energien, 12 kr for nettleias energiledd og 5 kr i administrasjonskostnader til BaneEnergi). I tillegg er det regnet en middel på 0,0536 kr per installert MVA per år i nettleie (fastpris og effektledd).

Nærmere oversikt over inndata og beregningen av kostnadene finnes i vedlegg 9.

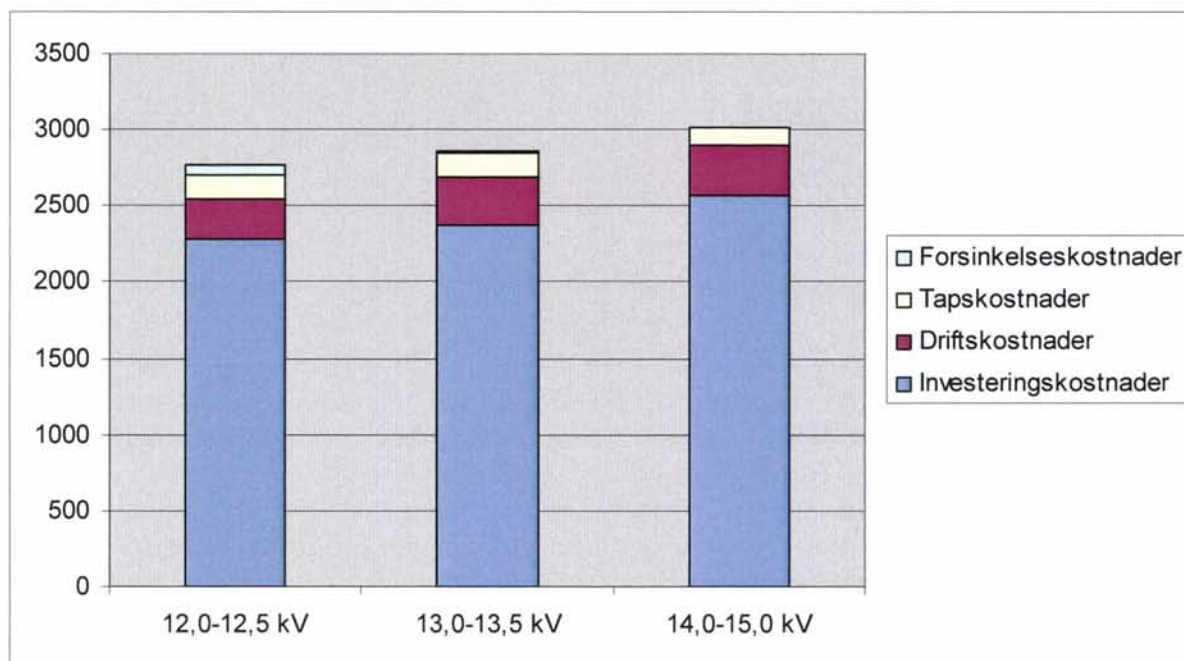
## 7.1.2 Resultater

Tabell 7-1 viser en oversikt over kostnader for en periode på 30 år for de ulike typene banestrømforsyningssystem og de forskjellige kategoriene krav til spenningskvalitet. De interne forskjellene for de to systemene er vist i figur 7-1 og figur 7-2.

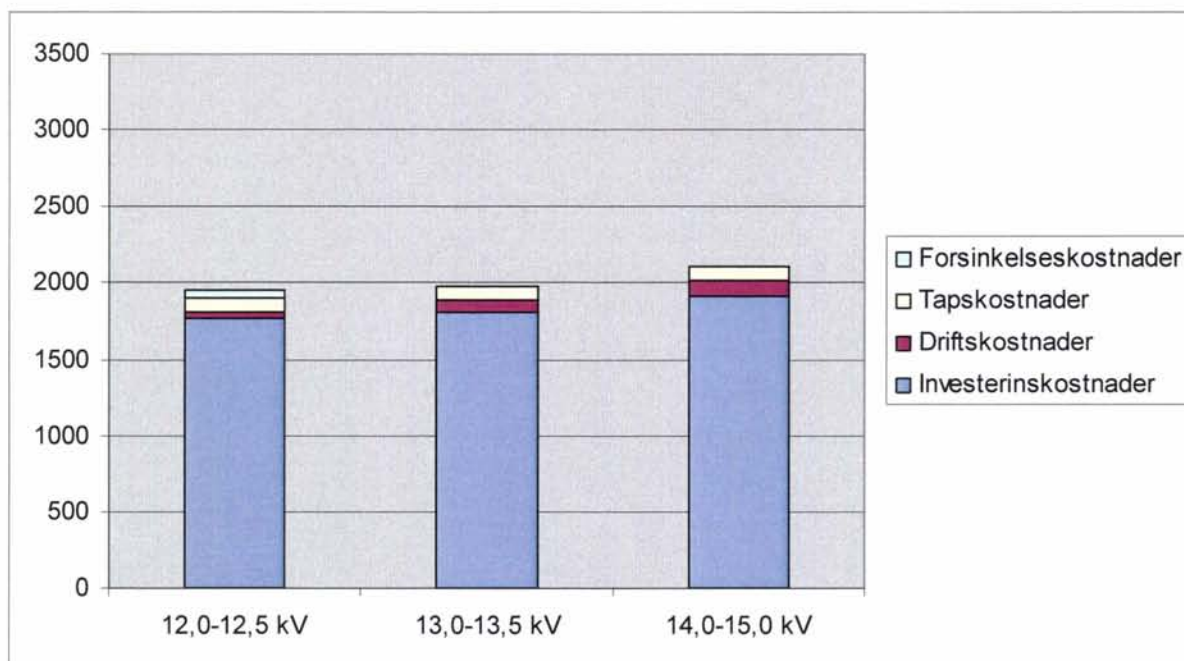
**Tabell 7-1: Kostnader for ulike typer system og krav til spenningskvalitet for energiforsyningen på Dovrebanen. Alle tall i millioner kroner om ikke annet er oppgitt.**

Type kostnad	Konvensjonelt system			Autotransformatorsystem		
	12,0-12,5	13,0-13,5	14,0-15,0	12,0-12,5	13,0-13,5	14,0-15,0
Investering	2283	2379	2566	1765	1812	1913
Drift	255	302	330	40	71	102
Tap	159	166	116	96	92	102
Forsinkelse	59	5	0	59	5	0
Sum	2756	2852	3011	1960	1980	2117
Differanse	0	96	255	0	21	157
Økning	0	3 %	9 %	0	1 %	8 %

I fra tabellen ser en at om en stiller krav til spenningen i området 12,0-12,5 eller 13,0-13,5 så er kostnadene tilnærmet de samme uansett system. Dette skyldes mye at forsinkelseskostnadene øker. En økning av spenningskvaliteten til 14,0-15,0 kV øker kostnadene uten at en får noen større nytte gjennom mindre forsinkelser siden forsinkelsene allerede ved 13,0-13,5 kV er minimale.



**Figur 7-1: Kostnader i millioner kroner over en periode på 30 år for konvensjonell banestrømforsyning på Dovrebanen Eidsvoll-Trondheim.**



**Figur 7-2: Kostnader i millioner kroner over en periode på 30 år for autotransformatorsystem på Dovrebanen Eidsvoll-Trondheim.**

### 7.1.3 Diskusjon

Den utførte kost/nyttevurderingen er relativt enkel og overordnet, men den tar hensyn til de kostnadene som gir størst utslag. Vurderingen er nok ikke perfekt, men ut fra forutsetningene er den det beste en per i dag kan sette opp. Det anbefales ikke at tallene som fremkommer her brukes til å sammenligne konvensjonelt system og autotransformatorsystem, det er de ikke beregnet for og det finnes andre mer nøyaktige analyser som tar for seg dette.

En kan diskutere mange ulike metoder for å finne det optimale kost/nyttepunktet for krav til spenning. En har landet på en metode der en tar utgangspunkt i et bestemt anlegg og å gjøre det så konkret og så enkelt som mulig. Det er valgt Dovrebanen som utgangspunkt siden denne banestrekningen er relativt enkel og oversiktelig samt at en allerede har et godt underlag for bestemmelse av de ulike størrelsene siden Dovrebanen ofte har blitt benyttet som pilot i andre prosjekter i Jernbaneverket. Ut i fra trafikk, hastighet og vertikalkurvatur er også denne banen sett på som representativ for de andre fjernstrekningene. Oslo-området er ikke vurdert.

Vurderingen tar utgangspunkt i normal driftsituasjon og angir ikke kostnader ved ulike typer redundans i omformeraggregater og –stasjoner, det er berørt i neste kapittel.

Ut i fra simuleringene i kapittel 3.4 ser en at når spenningen synker fra 13 og nedover mot, og forbi 12 kV, så øker forsinkelsene mye. Den forsinkelsestiden som er benyttet i vurderingen er en gjennomsnittsverdi for 12,0-12,5. Det vil si at ved spenning rundt 12,0 kV kan en forvente at forsinkelseskostnadene blir betydelig større.

Erfaringene ut fra simuleringene i kapittel 3.4 og andre simuleringer viser at det gjerne ikke er den kortvarige lave spenningen som gir forsinkelse på grunn av redusert trekraft på grunn av den pålagte spenningsavhengigheten (prEN 50388), men den mer langvarige (2 minutter og lengre) som har innvirkning. Det er antatt at karakteristikken for den tidsvektede varighetskurven for spenningen er som i disse simuleringene. Samtidig vet en at ikke alle tog vil oppleve samme spenning og at ikke alle tog vil bli påvirket av den lave spenningen på samme måte.

Vurderingen skisserer at det mest økonomisk optimale er å dimensjonere energiforsyningen for en minimal spenning på 12,0-12,5 kV ut i fra de forsinkelsestidene og kostnadene en har kommet frem til. Det er som sagt usikkert hva forsinkelseskostnadene angitt i [25] innebærer, men en registrerer at for godstog er de rundt en fjerdedel av det CargoNet regner som kostnader for forsinkelse per time. Om en legger dette til grunn øker forsinkelseskostnadene så mye at det blir mest økonomisk å dimensjonere slik at forsinkelser bare i liten grad oppstår (13,0-13,5 kV). I tillegg antas det å komme kostnader som behandler jernbanens omdømme og konkurransekraft som er vanskelig å tallfeste i en slik vurdering. Det kan derfor være at den totalt sett mest optimale spenningskvaliteten fås ved å investere i et anlegg til 13,0-13,5 kV.

## **7.2 Enkel tilleggsvurdering av krav til redundans på fjernstrekninger**

Vedlegg 8 gir en oversikt over kostnader for å kunne tilfredsstille de ulike kategoriene spenningskrav i avvikssituasjoner ved utfall av mateenhet og matestasjon. Av dette ser en at investeringskostnadene for dimensjonering for utfall er i størrelsesorden 88-360 millioner kroner for Dovrebanen avhengig av krav til kvalitet og system. I noen tilfeller lar det seg likevel ikke gjøre å fremføre tog med slike utfall.

Med kravene til tilgjengelighet for matestasjonsanlegg i dagens regelverk kan en forvente at en matestasjon er ute av drift i 1 time per år på grunn av feil i matestasjonen. I tillegg kommer utetid på grunn av det matende trefasenettet. En kan også forvente at matestasjonen bare leverer 50 % av installert ytelse i 43 timer i året.

Overslag både i forhold til typisk tilgjengelighet for omformeraggregater og omformerstasjoner gitt i kapittel 5.5 og krav til tilgjengelighet i regelverket sammen med

forsinkelsestid ved de ulike spenninger som simulert i kapittel 3.4 tilsier at det rent økonomisk ikke kan svare seg å dimensjonere for utfall av mateenheter og matestasjoner alene. Alt etter hvordan en regner er kostnadene over en 30 års-periode antatt til i størrelsesorden 1- 20 millioner kroner. Konsekvensen ved utfall av en matestasjon er imidlertid avhengig av hvor lang avstand en legger opp til mellom dem som igjen gir hvor stor del av banestrekningen som får redusert energiforsyningen ved utfall.

Det kan hende at bruk av spenningsregulator med begrensere (strøm og/eller temperatur) som beskrevet i [30] kan være nyttig og en billig måte å møte redundanskrav uten å måtte overdimensjonere mye.

I forbindelse med andre utredninger om dimensjonering av energiforsyningen ([32]) kan det se ut som om det er andre forhold enn bare spenning og redundans som har noe å si for antall mateenheter og matestasjoner. Sett i den sammenhengen vil kostnadene for redundans reduseres.

I [31] avsnitt 4.7.2 (se kapittel 2.1.4) står det at når en regional krise oppstår er det av vital betydning at øvrige geografiske området av landet fungerer tilnærmet normalt. For jernbanesektoren er det for trafikkstyring og banestrømforsyning viktig med normal funksjon om en region faller ut. Dette gjelder ikke bare ved alvorlige kriser, men også årvisse hendelser som ras, flom, store snøfall osv. i dalfører og fjellområder. Skal en ha normal eller tilnærmet normal funksjon for banestrømforsyningen i en region uavhengig av om en tilstøtende region faller ut eller blir utrafikkerbar, må en forutsette en viss redundans. I praksis vil dette sannsynligvis bety at om en matestasjon faller ut skal ikke trafikken stoppe helt, men nabostasjoner skal kunne forsyne strekningen. Det vil kunne bety at om kontaktledningen rives vekk, for eksempel av et snøskred, skal ikke en region (dalføre eller fjellområde) bli uten elektrisk energiforsyning for de togene som ikke fysisk hindres fremført. Dette kan få betydning for dimensjoneringen av banestrømforsyningen som har å gjøre med avstanden mellom omformere og gjøre at kostnadene for å oppnå redundans på grunn av feil i matestasjonsanlegg reduseres ytterligere.

### **7.3 Enkel tilleggs vurdering av krav til redundans i Oslo-området**

Oslo-området er navet i norsk jernbane av to grunner. For det første utføres en veldig stor del av persontrafikken her gjennom arbeids- og forretningsreiser. For det andre påvirkes toggangen i resten av Norge i stor grad av trafikken i Oslo-området ettersom de fleste tog over litt avstand enten går gjennom eller har sin utgangs- eller endestasjon her.

Det har vært utført flere utredninger ([26], [27], [28] og [29]) som omhandler problemer med utfall av aggregater og stasjoner i Oslo-området. Noe av utgangspunktet for disse utredningene er at en har opplevd utfall/stopp av aggregater som førte til høyere belastning på aggregater i samme og andre stasjoner som igjen faller ut. Dette fører til såkalt kaskadering hvor en tilslutt sitter igjen med et totalt sammenbrudd i strømforsyningen og togtrafikken står. Noe nærmere beskrivelse av de opplevde kollapsene har en ikke funnet, men det er klart at det er de tre omformerstasjonene nærmest Oslo S, Asker, Alnabru og Holmlia, er sentrale.

#### **7.3.1 Sannsynlighet for sammenbrudd**

En har på bakgrunn av tallene i referert til i kapittel 5.5 ikke detaljer nok til å kunne si noe om sannsynligheten for og frekvensen av slike utfall med de omformerstasjonene og aggregatene som er plassert i dag. Den korte perioden en har data for tilsier en gjennomsnittlig tilgjengelighet på 99,5 %. Men en vet av erfaring at det skjer relativt sjelden, en kjenner til to tilfeller:

1. Januar 1984 – Asker omformerstasjon falt ut ([33])
2. Rett etter OL i 1994.

Om en legger til grunn kravene til tilgjengelighet for matestasjoner som gitt i JD 546 (se kapittel 2.6.1) kan en for Alnabu, Asker og Holmlia omformerstasjoner (antatt to mateenheter i hver stasjon) se for seg tilgjengelighet og utilgjengelighet som i tabell 7-2. Med rush menes tid med dimensjonerende last og regnes som n timer per dag 5 dager i uken 52 uker i året, det vil si 1040 timer i året. En regner utfall av aggregat som feil og utfall av hel stasjon som alvorlig feil.

**Tabell 7-2: Tilgjengelighet og utilgjengelighet for systemet ved ulike tilfeller av utfall av stasjoner og enheter i Oslo-området.**

Hendelse	Tilgjengelighet [%]	Utilgjengelighet [timer/år]	Utilgjengelighet med rush 4 timer/dag [timer rush/år]	Utilgjengelighet med rush 1 time/dag [timer rush/år]
System som ikke er dimensjonert for utfall av mateenhet (6 av 6)	98,50	131	15,5	3,9
System som er dimensjonert for utfall av en vilkårlig mateenhet (5 av 6)	99,99	0,81	0,10	0
System som er dimensjonert for utfall av to vilkårlige mateenheter samtidig (4 av 6)	99,999997	0	0	0
System som ikke er dimensjonert for utfall av matestasjon (3 av 3)	99,97	2,6	0,31	0,08
System som er dimensjonert for utfall av en vilkårlig matestasjon (2 av 3)	99,999997	0	0	0

I tillegg til utilgjengeligheten for utfall av hele stasjoner i tabellen over kommer utilgjengeligheten på grunn av bortfall av trefase mating fra lokalt everk. Det er også forutsatt at alle utfall av enkeltkomponenter (stasjon eller enhet) er uavhengige hendelser. Beregningene tar ikke hensyn til hjelp fra omkringliggende omformerstasjoner.

### 7.3.2 Kostnader ved sammenbrudd

Om en ser for seg et scenario der en får kaskadering og sammenbrudd i Oslo-området en ettermiddag i rushet (ca kl 16.00) kan en gjerne anta at det tar rundt en time til halvannen før omformerstasjonene er fasett inn og nettet er i samkjøring igjen slik at togtrafikken kan gjenopptas. Ved 1,5 times forsinkelse for alle passasjerer (og lastbærere for godstog) i perioden kl 16 til 20 finner en ved overslag med utgangspunkt i tallene fra [25] at en slik kollaps vil medføre forsinkelseskostnader på rundt 23 millioner kroner. I tillegg kommer vanskelig synlige kostnader gjennom redusert omdømme og konkurransekraft for jernbanesektoren. Det er mulig at også kostnader til for eksempel eventuell busskjøring og ombooking av flybilletter for Flytoget AS sine passasjerer også tilkommer.

### 7.3.3 Kostnader for å unngå sammenbrudd

Avhengig av hvilket krav kriteriet for Oslo-området medfører, så vil det også føre til forskjellige kostnader i investering og drift og vedlikehold.

Som et eksempel kan en ta for seg dagens redundanskriterium som sier at en skal kunne ha drift med utfall av en mateenhet i en matestasjon samtidig som en mateenhet i en annen stasjon er tatt ut til vedlikehold. Dersom en ikke hadde noe kriterium, alternativt et ikke så strengt kriterium, kan en se for seg at en hadde endret på den installerte ytelsen i Oslo-området ut i fra den belastningen en opplever i dag. Det er naturlig å tro at det kunne være å:

1. Ta bort det transportable aggregatet i Alnabru (10 MVA) og bare beholde det stasjonære aggregatet (10 MVA)
2. La være å bygge opp igjen omformer nummer 2 (14 MVA) i Lillestrøm etter brannen
3. Ikke sette i drift omformer nummer 3 i Asker (eksisterer i dag, men er ikke bestilt av Region Øst)

For å synliggjøre disse kostnadene kan en ta utgangspunkt i Bane Energi sin standard sats for installert ytelse som regionene betaler. Den er kr 328,68 per kVA og dekker drift og vedlikehold. For punkt nummer 1 over vil det utgjøre 3,29 millioner kr per år, og for punkt nummer 1 og 2 7,89 millioner kr per år.

For fremtidig belastning studert i nevnte studier kan en se for seg følgende to alternativer for å kunne tilfredsstille dagens redundanskriterium (begge alternativene inkluderer kanskje også 3 aggregater i Asker):

1. Bygge ny omformerstasjon i nærheten av Oslo S. Anslått til 200-250 millioner kr
2. Installere strøm- og/eller temperaturbegrensere i forbindelse med aggregatens spenningsregulator som systemutredet i [30]. Anslått til 1,2+ millioner kr

Ytterligere kostnader for å kunne tillate utfall av en hel av de tre stasjonene er ikke vurdert videre.

#### **7.3.4 Diskusjon og konklusjon**

Det er i dette avsnittet utført noen enkle beregninger som underlag for å kunne vurdere nødvendigheten av redundans i Oslo-området. Historien har gitt oss 2 tilfeller av sammenbrudd de siste 20 årene. I tillegg kommer mindre driftsforstyrrelser som ikke er vurdert her.

Om en antar en kollaps hvert 10. år, så vil de synlige kostnadene bli i gjennomsnitt 2,3 millioner kroner per år. Det kan se ut som om forsinkelseskostnadene ved en slik kollaps i rushtiden er mindre enn kostnadene ved drift av dagens ekstra aggregater og investering i forhold til forventet fremtidig trafikk. Kanskje kan det være at 10 års mellomrom er lenge nok til at ikke slike sammenbrudd ikke svekker jernbanens omdømme og konkurransekraft. Men det kan også her være at konsekvensene beregnes som for små på grunn av modellenes og tallenes gyldighetsområde slik at resultatet av overslaget blir uriktig selv om en tror at en har tatt relativt godt i. Det kan også hende at en slik kollaps vurderes som så uheldig av andre kvalitative grunner at en likevel velger å ha en viss redundans.

[29] sier at den beregnede/simulerte fremtidige belastningen synes noe høy i forhold til slik det i dag ser ut til at fremtidig last kan bli. Det kan derfor tenkes at investering i ny Oslo omformer blir enda mindre aktuell i forhold til spenningsregulatorer med begrensere. Det vil si at investeringen for å kunne ha et pålitelig system kan bli relativt liten.

Det er i beregningene ikke tatt hensyn til redundanskriteriets formulering om at det ene av de to aggregatene kan være ute på grunn av vedlikehold. Utilgjengeligheten for utfall for ett aggregat er 22 timer i året. Det kan antakelig forventes at en roterende omformeraggregat er ute mer enn det for vedlikehold i løpet av ett år og at ved å ta hensyn til det så vil det

fremdeles være behov for dagens redundanskriterium. Foreløpig erfaring er at roterende aggregater har høyere tilgjengelighet enn statiske aggregater.

På bakgrunn av dette kan det se ut som om en fremdeles bør ha redundans i mateenheter nær Oslo S som i dagens redundanskriterium. I tillegg kan det se ut til at en også bør vurdere redundans slik at en takler utfall av en hel matestasjon. Utilgjengeligheten funnet i avsnittet over gjelder bare for selve matestasjonsanlegget og må tillegges utilgjengeligheten til trefasenettet. Ved sammenbruddet i 1984 var det trefasenettet som sviktet og la ut en hel stasjon. Likevel er det ikke sikkert at et slikt krav om redundans i stasjoner kan svare seg dersom det er dette kravet alene som gjør at en må bygge en ny Oslo omformer og ikke kan klare seg med begrensere. Konsekvensene ved et slikt krav bør utredes nærmere.

## 8 BEHOV FOR EFFEKT

Energiforsyningen må dimensjoneres ut i fra hvilken trafikk en kan forvente på den enkelte bane. Dette kapitlet gir et en kort oversikt over faktorer som påvirker effektbehovet og hvor en eventuelt kan finne informasjon om dette.

### 8.1 Effektbehov

Følgende faktorer spiller en rolle for behovet for effekt:

- Togvekt
- Fremføringshastighet
- Togtetthet
- Stigningsforhold
- Antall akselerasjoner på grunn av hastighetsendringer og stopp
- Tap i overføring og rullende materiell
- Type trekkraftmateriell

De tre første kulepunktene, togvekt, fremføringshastighet og togtetthet, må vurderes ut i fra fremtidige behov og er sammen med det siste kulepunktet kommentert i de følgende avsnittene.

Kulepunkt 4, stigningsforhold, er som regel kjent for banen og endres svært sjelden.

Kulepunkt 5, antall akselerasjoner, er avhengig av togets stoppmønster på grunn av type tog og antall kryssninger og variasjonen i skiltet hastighet.

Kulepunkt 6, tap i overføring er avhengig av systemvalg, men utgjør i forhold til de andre punktene her lite. Virkningsgraden til rullende materiell er normalt rundt 80 % og den nødvendige effekten for å dekke dette er som regel med i beregningene. Ved materiell med tilbakematingsmulighet kan energien brukes flere ganger.

### 8.2 Fremtidig trafikk

[15] viser flere steder til at energiforsyningen må bygges ut for å kunne tillate tyngre og hurtigere godstog. For banestrømforsyningen vil det for fjernstrekningene være godstrafikken som er dimensjonerende. Godstrafikken på natta er gjerne mer intensiv enn persontrafikken i tillegg til tyngre tog som krever større effektuttak. Rundt og i Oslo-området vil gjerne persontrafikken være mer dominerende med morgen og ettermiddagsrushet som de periodene med høyest last.

#### 8.2.1 Terminologi

Infrastrukturen har en *teoretisk kapasitet* gitt av togfølgetid (tid mellom to tog - beregnes med annethvert tog i hver retning for enkelspor) og krysslåsingtid (tidsmarginer i sikringsanlegget). Dette er den maksimale mengden tog som kan fremføres om alt går nøyaktig etter planen.

For å ha noe reserve i for å kunne ta inn forsinkelser legges *praktisk kapasitet* til grunn ved utarbeidelsen av rutene. Praktisk kapasitet for en time er 75 % av teoretisk timekapasitet og tilsvarende 60 % av teoretisk kapasitet for et helt døgn (Network Statement).



*Kapasitetsutnyttelsen* angis i antall tog som virkelig kjøres dividert på kapasiteten og kan overstige 100 % dersom en benytter *retningsdrift*, det vil si flere tog etterhverandre i samme retning.

*Ruteplan* er den mengden tog som (det søkes og) utstedes rute for i ruteboka ved terminskifte. Differansen mellom ruteplan og praktisk kapasitet er *restkapasitet*, og benyttes til *ekstratogruter* (og eventuelt robusthet i forhold til forsinkelse).

Ruten for et tog er normal 4 % høyere enn den beregnede *kjøretiden* for å være robust i forhold til mindre forstyrrelser.

*Ruteplanforutsetninger* er

- Banetekniske forutsetninger som knyttes til infrastrukturen (behov for sportilgang for vedlikehold, midlertidige eller permanente tiltak av kapasitetsmessig art som f. eks. nytt kryssingsspor, osv.)
- Produksjonstekniske forutsetninger som knyttes til togene (aggregattype, materielltype, togstrømmer osv)
- Rutetekniske forutsetninger som knyttes til selve rutekonstruksjonen (tidstap ved kjøring i avvikespor, kryssingsavviklingstider, sporbruk på stasjoner osv).

## 8.2.2 Ruteplanlegging

Ruteplanlegging i Jernbaneverket foretas på tre ulike nivåer:

- Strategisk – forventet fremtidig
- Taktisk – ruteterminskifter og grunnrutemodeller
- Operativ – ekstratogruter og prioriteringer

Det arbeides med å utvikle et konsept for en konkret strategisk ruteplan som kan iverksettes på sikt. Etter hva en erfarer søkes denne utarbeidet for taktintegreerte ruter for persontog (stive ruter med korrespondanse i knutepunkt og over grensen til Sverige) samt faste ruter/ruteleier for godstog (iallfall timesruter). På bakgrunn av dette fremkommer ønsker om kjøretider og kryssingsmuligheter som innspill til for eksempel "Strekingsvise utviklingsplaner". Konseptet er et forslag som må godkjennes av Jernbaneverket, og endelige godkjente ruteplaner som underlag for simulering av banestrømforsyningen ventes å litt frem i tid.

Den strategiske ruteplanen som det arbeides med i dag kan settes i verk om 5-10 år når nytt dobbelspor i vestkorridoren (Skøyen/Lysaker-Asker) og noen andre infrastrukturtiltak er ferdige.

I forbindelse med arbeidet i [5] ble det utviklet en såkalt *kapasitetsoptimal* ruteplan til bruk i simuleringene. Ruteplanen beskriver hvor tett en kan kjøre godstog på en bane under forutsetning at det skal kjøres like mange tog hver vei. Den gir en jevn belastning for hele strekningen, hvilket kan være for lavt i for eksempel kryssingsbelter eller for høyt på steder med normalt lite kryssinger. I møte av 2005-09-02 om ruteplaner til simulering av banestrømforsyningen (dokument 200400491-24X) finner en at inntil eventuelle strategiske ruteplaner foreligger er kapasitetsoptimal ruteplan de beste ruteplanmodellene som kan fremskaffes på det nåværende tidspunkt.

## 8.2.3 Utvikling av strekninger

Jernbaneverket ser på mulighetene til et nytt plannivå kalt "Strekingsvise utviklingsplaner". I disse settes det opp mål for de ulike strekningene hva gjelder både persontrafikk og godstrafikk samt vedlikehold og sikkerhet og miljø for 5 og 15 år fram i tid. På bakgrunn av

dette kan en peke ut hvilke infrastrukturtiltak som må utføres. Målene for fremtidig trafikk vil også nødvendigvis være viktige parametere når energiforsyningen dimensjoneres.

Per i dag ser det ut som følgende parametere er av interesse med tanke på dimensjonering av energiforsyningen og vil omtales i "Strekningssvise utviklingsplaner":

- Kjøretid (det vil si hastighet)
- Antall tog
- Togvekt (gitt av toglengde, aksellast og profil)

Det utføres i disse dager en pilot for strekningssvise utviklingsplan på Dovrebanen. Det understrekes at dette arbeidet foreløpig kun finnes på et tidlig stadium og forandringer kan komme.

#### **8.2.4 Kapasitet**

Når en snakker om kapasitet for en strekning, kan en skille mellom teoretisk og praktisk kapasitet. Kapasiteten oppgis i antall tog per time eller antall tog per døgn. Teoretisk kapasitet beregnes ved stabling av tog ut fra minste togfølgetider, altså hvor mange tog en i teorien kan kjøre gjennom et strekningssnitt. Praktisk kapasitet er 75 % av teoretisk kapasitet på timesbasis og 60 % på døgnbasis, og gir et mer realistisk bilde av hvor mange tog en kan tillate samtidig som ruteplanen blir mer robust mot forsinkelser.

Det vil si at grunnrutemodeller og ruteterminer legges opp etter praktisk kapasitet. Belastning opp i mot teoretisk kapasitet kan imidlertid forventes ved forstyrrelser i trafikken (både normale forsinkelser og oppløsning etter masseforsinkelser) og ved kjøring av ekstratog.

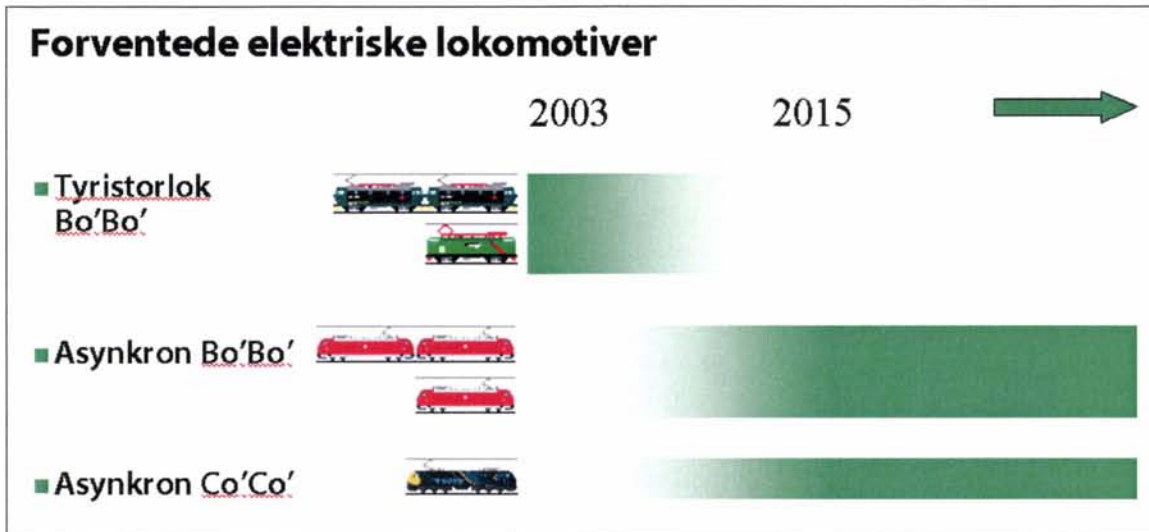
Dagens kapasitet og kapasitetsutnyttelse på de ulike banestrekningene vises i vedlegg 3.2.2.8.1 og 3.2.2.1.2 i Network Statement ([16]).

### **8.3 Fremtidig trekraftmateriell**

[8] gir en oversikt over hva en tror en kan forvente av trekraftmateriell i godstog i Norge i tiden framover. Hovedtrekkene er at en en stund fremover fremdeles vil ha tyristorlokomotiver i trafikk. Etter hvert vil lokomotivparken gjerne byttes ut, alternativt vil gamle lokomotiver i store selskaper selges til mindre selskaper. Dette vil føre til behov for prøvekjøring og videre en stadig overgang til materiell med asynkronmotorer og nettstrømmerettere som kan styres slik en ønsker. Likevel må en forvente at både tyristormateriell og også materiell med serie vekselstrømsmotorer vil trafikkeres det statlige jernbanenettet ettersom det sannsynligvis vil etableres flere mindre trafikkutøvere.

Asynkronlokomotiver har ut fra banestrømforsyningens ståsted følgende interessante egenskaper:

- Høy effektfaktor og mulighet til å styre  $\cos \phi$  uavhengig av hastighet
- Mate tilbake effekt ved bruk av elektrisk regenerativ brems
- I utgangspunktet tilnærmet spenningsuavhengig effektuttak, men vil sannsynligvis gis automatisk strømbegrensning som gitt i prEN 50388.



Figur 8-1: Forventede fremtidige elektriske lokomotiver. Hentet fra presentasjon [8] av på Planmøtet 2003-08-20.

[14] vil sannsynligvis være gjenstand for revisjon i fremtiden.

## 9 KRAV TIL BANESTRØMFORSYNINGEN

Når det her vurderes krav til banestrømforsyningen har en tatt utgangspunkt i pågående prosjekter rundt, ønsker om og nødvendighet av omfattende reinvestering i banestrømforsyningsanlegg og kontaktledning. Dette er ikke noe som kan skje over natten, men heller være et langtidsprosjekt med en tidshorison på 10-30 år. Samtidig vet en at slike infrastrukturanlegg og -komponenter har en levetid på 40-50 år. For dimensjonering av banestrømforsyningen for fremtiden har en også prøvd å ta hensyn til de krav og den teknologi en tror vil være gjeldende. Med det menes:

- De aller fleste, om ikke alle, tog framføres med trekraft med asynkronmotorer
- Jernbanens overføringsnett har større kapasitet enn kontaktledningen alene i dag (for eksempel autotransformatorsystem eller fjernledning)
- Omformerstasjonene utrustes med statiske omformeraggregater, gjerne flere aggregater i færre stasjoner enn i dag
- Enda strengere krav til framføringstid, punktlighet og kvalitet på den infrastrukturen Jernbaneverket tilbyr trafikkutøverne

Selv om fremtidsutsiktene lagt til grunn her kanskje ikke slår til på alle punkter, mener en likevel at kravene vil kunne være relevante.

Generelt kan sies at energiforsyningen skal være av en slik kvalitet at den ikke legger begrensninger for togframføringen. Det vil si at den skal holde minst samme kvalitet som resten av infrastrukturen og ikke være noen flaskehals<sup>5</sup> i normal drift.

### 9.1 Grunnleggende krav til spenning

For framføring av elektriske tog er en avhengig av elektrisk energiforsyning. For at toget skal kunne framføres i den hastighet og med den lastvekt som er lagt til grunn for utarbeidelse av ruta, må det være en viss kvalitet på energiforsyningen, mer konkret spenningen på togets strømtaker.

Figur 2-1 og figur 2-2 viser tilgjengelig trekraft som funksjon av spenningen for dagens rullende materiell. I figurene er det også vist krav til spenningsavhengighet/strømbegrensning for fremtidig materiell i henhold til normen prEN 50388:2004. På sikt (10-30 år) ser en for seg ([8]) en overgang til moderne lokomotiver med asynkronmotorer. På grunn av økte krav til interoperabilitet er det naturlig å tro at disse lokomotivene i utgangspunktet vil gis/pålegges en spenningsavhengighet (automatisk strømbegrensning) i henhold til normen. I kapittel 3 er det undersøkt hvilken innvirkning spenningen har på trekraft og framføringstid.

Det vil på bakgrunn av dette være naturlig å sette krav til spenningen (levert) på togets strømtaker(e). Kravet bør stilles slik at spenningen ikke er årsak til forsinkelse. En kan også se for seg unormale driftsituasjoner der en kan akseptere noen forsinkelser gjennom at kravet til spenning reduseres. Disse to situasjonene er vist i tabell 9-1.

<sup>5</sup> Store Norske Leksikon: *Flaskehals* – Kommer av engelsk *bottleneck*. Det ledd i en produksjonsprosess som har svakest kapasitet og som hindrer de andre leddene i å fungere fullgodt. Brukes også som hindring eller mangelfaktor i videre betydning.

**Tabell 9-1: To kategorier krav til spenning og eventuelle konsekvenser.**

Nummer	Beskrivelse	Konsekvens for trafikk
1	Normalt krav til spenning for tog	Spenningen skal/bør ikke forårsake forsinkelse
2	Redusert krav til spenning for tog	Forstyrrelser og forsinkelser (kan) oppstå(r)

### 9.1.1 Krav til normal spenning for tog

For å kunne bestemme hvilken spenning som ikke vil føre til forsinkelser og problemer for togframføringen er det foran i denne rapporten utført en del små undersøkelser. Dette har ført til en del momenter en bør vurdere i fastsettelse av kravet til spenning og er gitt i tabell 9-2.

**Tabell 9-2: Momenter i vurderingen av krav til normal spenning for tog**

Moment	Merknad	Spenning [kV]	Kapittel
Normkrav	EN 50163 (/ IEC 60850)	> 12 kontinuerlig	2.2.1/2.2.2
Normkrav	pr EN 50388	> 13,5 gjennomsnitt	2.2.3
Trekraftmateriell	Trekraft redusert 50-30 % Utstyr (normkrav)	> 13-13,5 > 10,45	2.3 / 3 2.3.2
Ruteplan utgangspkt.		15 kV kontinuerlig	2.4
Lokførers mening		> 13-13,5	2.5
Forsinkelse	(Simulert)	>12,0-13,0 kortvarig >13,0-13,5 over lengre tid	3.5
Dagens kvalitet	(Simulert)	>12,5 kortvarig og > 13,5 over lengre tid	5.2.6
Kost/nyttevurdering	Noe avhengig av system (konvensjonelt eller AT)	>12,5 kortvarig >13,5 over lengre tid	7.1.3
Regelverkskrav i dag	Vedlikehold Prosjektering	>12,0 kV kortvarig >13,5 kV kortvarig	(JD 548) 1.1.1

Generelt er spenningen som kan sies å være for lav avhengig av type trafikk, ruteplan, trekraftmateriell, togvekt, stigning, strekning og så videre. Det er vanskelig å sette et vitenskapelig fast tall. En må derfor bestemme en spenning som synes generelt fornuftig og som ikke fører til problemer for den trafikken som er dimensjonerende for energiforsyningen. En erfarer både fra Jernbaneverkets forsinkelseslogger og trafikktøvernes meninger at lav spenning ikke utgjør noen særlige problemer i dag.

I utgangspunktet har en internasjonale normer å forholde seg til. Det er imidlertid muligheter for å stille strengere krav en dette dersom det er vektige argumenter for det. Ut i fra dette og de undersøkelsene som er utført i denne rapporten finner en at en vanskelig kan heve minimumskravet til spenning på strømtakere med tanke på vedlikeholdsgrense. Argumentene for en slik heving med det materiellet en har i dag, og sannsynligvis må forholde seg til i nærmeste fremtid, ser ikke ut til å være sterke nok ut i fra en totalbetragtning. Når materieltparken om en stund begynner å skiftes ut til asynkronmateriell som en kan forvente pålegges spenningsavhengig strømbegrensning i henhold til prEN 50388:2004 er det ønskelig at spenningen er noe høyere for å redusere forsinkelsene.

Kortvarige spenningsdipper i sekundområdet ser i utgangspunktet ikke ut til å være noe problem for kjøretiden, men kan likevel skape problemer om spenningen blir så lav at ulike vern løser ut. I tillegg kan det være veldig irriterende for lokomotivføreren. For kjøretiden er det gjerne lav spenning over litt tid som er avgjørende. Det bør derfor på bakgrunn av simuleringene foran stilles krav til middelveiden av spenningen over et kortere tidsrom.

Ved prosjektering av nyanlegg er det naturlig å legge inn litt margin for å ta høyde for eventuelle uforutsette endringer ut i fra anleggenes lange levetid. Men også ved prosjektering bør en differensiere kravene i forhold til tidsperiode.

Hvilke driftsituasjoner som skal tilfredsstillende normalt krav til spenning defineres i kapittel 9.2.

### 9.1.2 Redusert krav til spenning for tog

I en del avvik fra normal driftsituasjon skal det fremdeles være mulig å kjøre tog, men en aksepterer da forsinkelser. Størrelsen på forsinkelsene er ikke definert. En har vurdert det dit hen at det ikke er underlag for å stille vedlikeholds krav som er strengere enn de internasjonale normene som sier at spenningen ikke skal komme under 12,0 kV i mer enn to minutter og aldri under 11,0 kV. Hvilke driftsituasjoner som skal tilfredsstillende redusert krav til spenning defineres i kapittel 9.2.

Varig spenning på 12,0 kV medfører en reduksjon av trekraften på over 75 % for materiell med strømbegrensning som beskrevet i prEN 50388:2004. Det vil da være mulig å framføre toget i redusert hastighet dersom det ikke står i en veldig sterk stigning.

### 9.1.3 Oppsummert og konkretisert

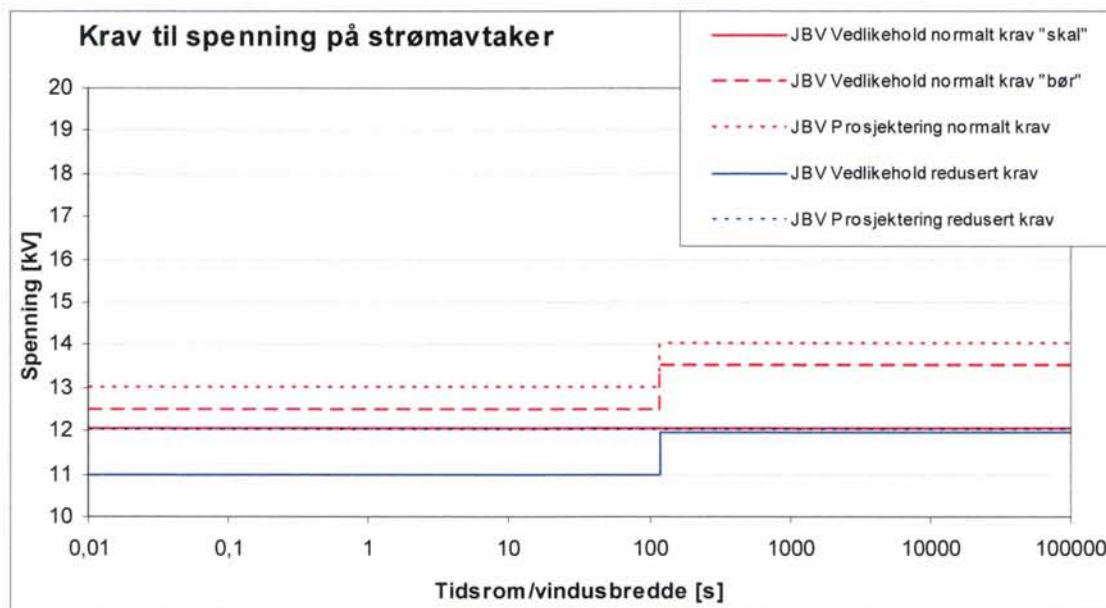
Oppsummert de to foregående kapitlene kommer en frem til forslag for normalt og redusert krav til spenning for vedlikehold og prosjektering som gitt i tabell 9-3 og illustrert i figur 9-1. Verbene "bør" og "skal" gis betydning som i teknisk regelverk forøvrig. Med kortvarig spenning menes laveste effektivverdi av spenning som måles på togs strømtavler og med langvarig spenning gjennomsnitt av effektivverdi av spenning over en periode av 2 minutter som måles på togs strømtavler.

prEN 50388:2004 stiller krav til gjennomsnittsspenning for tog og område. Denne har dagens norske infrastruktur ikke problemer med å tilfredsstillende. Samtidig kan en ut fra undersøkelsene i avsnittene foran finne at selv om en tilfredsstillende normens krav, kan den lave spenningen føre til forsinkelser. Ettersom det langvarige normale kravet til spenning i forhold til vedlikeholdsregelverket bruker verbet "bør" tar en med normkravet som et skal-krav i tillegg. Dette videreføres for prosjektering og redusert krav.

**Tabell 9-3: Forslag til krav til spenning. Alle tall i kV.**

Situasjon	Type krav	Kortvarig	Langvarig	Gjennomsnitt
Normalt krav	Vedlikehold	Skal $\geq$ 12,0 Bør $\geq$ 12,5	Bør $\geq$ 13,5	Skal $\geq$ 13,5
	Prosjektering	Skal $\geq$ 13,0	Skal $\geq$ 14,0	Skal $\geq$ 14,0
Redusert krav	Vedlikehold	Skal $\geq$ 11,0	Skal $\geq$ 12,0	Skal $\geq$ 13,5
	Prosjektering	Skal $\geq$ 12,0	Skal $\geq$ 12,0	Skal $\geq$ 13,5

Se for øvrig kapittel i neste avsnitt for diskusjon rundt valg av spenningskrav.



Figur 9-1: Illustrasjon av forslag til krav til spenning i diagram for tidsvektet varighetskurve. Gjennomsnittlig spenning ikke tegnet inn.

#### 9.1.4 Diskusjon

Kravene som er satt til spenning på togets strømavtaker er avveid og funnet som en optimal verdi mellom to uønskede scenarier;

1. spenningen blir for lav til at toget får ta ut nok effekt til å holde ruta/den forutsatte fremføringstiden og
2. energiforsyningen overdimensjoneres med antatte unødige ekstra kostnader.

De foreslåtte nye kravene utgjør ikke noen stor endring i forhold til de kravene som i dag stilles til spenningskvaliteten, men de er noe skjerpet og nyansert gjennom at:

- Vedlikeholdskravet skjerpes gjennom et bør-krav om minimal kortvarig spenning i tillegg til dagens og normenes skal-krav
- Vedlikeholdskravets bør-krav om langvarig spenning skjerpes fra å regnes som gjennomsnitt for toget fra utgangsstasjon til endestasjon i henhold til prEN 50388:2004 til å regnes som et gjennomsnitt over to minutter (kravet fra prEN 50388:2004 videreføres også).
- Prosjekteringskravet differensieres fra å bare sette krav til minimal kortvarig spenning til krav til både minimal kortvarig spenning og gjennomsnitt for 2 minutter samt gjennomsnittsspenning i henhold til prEN 50388:2004.
- Vedlikeholdskravet for redusert krav til langvarig spenning er benyttet en strengere metode for vurdering av spenningen enn det normen fastsetter (gjennomsnitt i 2 minutter framfor "ikke under" en gitt verdi i 2 minutter)

Noe av den innskjerpingen skyldes at en ser for seg fremtidig trekkraftmateriell som pålegges krav til strømbegrensning som funksjon av spenningen og dermed vil måtte redusere trekkraften mer ved lave spenninger enn dagens materiell. Med andre ord kan det se ut som om kravet om automatisk strømbegrensning på nytt materiell bare tilsynelatende er et krav til materialet, men til syvende og siste egentlig er et skjerpet krav til infrastrukturen om en ikke vil øke fremføringstiden. Den enkle kost/nyttevurderingen viste at det med nytt materiell kan være lurt å skjerpe spenningskravet noe. Foreløpige erfaringer tilsier imidlertid ikke at alt nytt materiell leveres med strømbegrensning i henhold til normene.

Men en kan vanskelig forsvare en stor skjerpning av vedlikeholdskravet ettersom erfaringene med dagens spenningskvalitet er at det ikke er store problemer og en kan forvente at en i en god tid framover må forholde seg til dagens trekraftmateriell.

Samtidig mener en at metodene som normene bruker for å stille krav til spenningen er noe uheldig. En har i Norge ikke noe problem med å opprettholde en  $U_{\text{meanuseful}}$  for et tog over 13,5 kV slik at dette ikke er et nyttig måltall slik som prEN 50388:2004 beskriver det. Samtidig er EN 50163 utydelig når den ikke beskriver hvor ofte spenningen får lov til å komme under 12 kV i 2 minutter sett i forhold til hvor mye spenningen egentlig varierer. Legg også merke til at forslaget til nye krav omtaler spenningen i kV mens normene omtaler den i V slik at normene legger opp til veldig stor nøyaktighet.

En bør være forsiktig med å sette kravet til spenning for høyt. Det vil sannsynligvis føre til unødvendig overdimensjonering av energiforsyningen. Ved for høyt krav til spenning kan en se for seg at en må redusere avstanden mellom matepunktene og dermed investering i ekstra matestasjoner. Samtidig kan det se ut som om at friheter til valg ved dimensjonering av fremtidig energiforsyning ikke bare begrenses av spenningen, men gjerne også av maksimal belastning av ulike ledere (mateledninger, kontaktledning og AT-ledninger), krav til redundans i avvikssituasjoner, tap, stabilitet osv. Erfaringsmessig er det da gjerne avvikssituasjonene som blir dimensjonerende.

I tillegg til punkt 2 over bør en også være forsiktig med å stille høyere krav enn normene av en annen grunn. Dersom en trafikkutøver melder inn ønske om å utføre en gitt trafikk og infrastruktureier undersøker spenningsforholdene og finner at spenningen tilfredsstiller internasjonale normer, men ikke vedlikeholdskravene i regelverket, vil infrastruktureier måtte foreta forbedringer. Dersom midler til dette ikke innehas eller kan skaffes, kan en se for seg at trafikkutøverne vil få avslag på sitt ønske under nevnte begrunnelse. Selv om en i denne rapporten og i gitte vurdering måtte finne at det kan bli noen forsinkelser kan en jo stille spørsmål om den samfunnsmessige nytten av å nekte denne trafikken, iallfall når Jernbaneverket beskriver en minimumskvalitet på energiforsyningen i "Network Statement" / "JD 590 Infrastrukturens egenskaper" som er på linje med de internasjonale normene. Ulempen med å stille dette som bør-krav er at dispensasjonene da gjerne sitter løst og respekten for kravet bortfaller når det virkelig er nødvendig med forbedringer i anlegget. Men fremdeles gjelder jo det nærmest ufravikelige kravet om at den elektriske energiforsyningen ikke skal være noen begrensning og en del slike avgjørelser må kunne overlates til infrastruktureier.

Samtidig vet en at en i fremtiden står foran store investeringer og fornyelser i energiforsyningen og av kostnadsoverslagene i denne rapporten kan det se ut som om forskjellen i pris ved å velge det ene kvalitetsnivået framfor det andre skiller veldig lite i forhold til totalprisen. Mulig en da kan driste seg til å velge et noe høyere kvalitetsnivå enn strengt tatt nødvendig for å sikre at et så stort prosjekt ikke blir en fiasko. Fra myndighetene/politikerene vil det sannsynligvis bli stilt spørsmål dersom en til tross for milliardinvesteringer ikke oppnår ønsket kvalitet og forskjellen i pris er så liten.

Mesteparten av vurderingene i denne rapporten er gjort i forhold til godstog siden det sannsynligvis er de som er dimensjonerende for spenningen. Effektbehovet er normalt større for et godstog enn et persontog. Men det finnes jo eksempler på det motsatte, for eksempel nattogenes kryssing på Otta som førte til behovet for Otta omformerstasjon. En vet også at persontog gjerne har strammere rute og mer behov for rask akselerasjon. Likevel har en vært nødt til å gjøre visse forenklinger for å komme i land.



En finner det ikke formålstjenelig å differensiere kravene til spenning ut i fra baneprioritet på grunn av det vil gjøre kravet (tabell 9-3) for komplisert samtidig som de undersøkelsene som er utført i denne studien ikke er detaljerte nok for å kunne spesifiser slikt krav med bakgrunn i faglige begrunnelser. En vet også at for områdene med høy baneprioritet, spesielt Oslo-området, er det andre forhold (effektbehov og belastning av komponenter) som er dimensjonerende framfor spenningen. Likevel er en dekket av at energiforsyningen ikke skal være noen begrensning slik tiltak må iverksettes om problemer oppstår eller forventes.

## 9.2 Situasjoner med ulike krav til spenning

Det vil være urimelig å stille samme krav til spenning i alle driftsituasjoner. En planlegger i utgangspunktet banestrømforsyningen ut i fra en på forhånd definert normal driftsituasjon. Ved avvik fra denne situasjonen, enten i trafikk eller infrastruktur, kan det være tilfeller der en likevel mener at spenningen ikke skal påvirke togframføringen og tilfeller der en mener at spenningen kan tillates redusert noe. De ulike kategoriene driftsituasjoner er gitt i tabell 9-4.

Tabell 9-4: To kategorier krav til spenning og eventuelle konsekvenser.

Nummer	Beskrivelse	Krav til spenning	Konsekvens for trafikk
1	Normal driftsituasjon	Normalt krav til spenning for tog	Ingen
1	Normal driftsituasjon med endringer som ofte kan forventes	Normalt krav til spenning for tog	Ingen
2	Avvikssituasjon	Redusert krav til spenning for tog	Ingen
3	Unormal driftsituasjon	Redusert krav til spenning for tog	Forsinkelser (kan) oppstå(r)
4	Situasjoner det togtrafikk ikke er mulig	Ikke krav til spenning	Stans i trafikken

Ut i fra trafikkutøvernes ståsted er det likegyldig om årsaken som fører til redusert spenning skyldes det som i Jernbaneverket defineres som kontaktledningsanlegg eller banestrømforsyningsanlegg. Med andre ord må hele energiforsyningen betraktes under ett.

Kravene gitt her gjelder normalt for en gitt strekning eller område. Med strekning og område menes en del av jernbanenettet som det for vurdering av energiforsyningen er naturlig å betrakte under ett, for eksempel Dovrebanen og Oslo-området.

### 9.2.1 Normal driftsituasjon og normal driftsituasjon med avvik som ofte kan forventes med normalt krav til spenning

Med normal driftsituasjon menes:

- **Normal trafikk** som trafikk i henhold til den til enhver tid gjeldende ruteplan (inkludert restkapasitet) og fremtidig trafikkprognose. Det gjelder både ruteplan, togvekter og type trekkraft.
- Drift av og forhold ved **infrastrukturen** som er lagt til grunn under prosjektering av opprinnelig anlegg. Det gjelder både koblingsbilde i overføringsnett (kontaktledning, fjernledning og AT-ledninger), tilgjengelig installert ytelse i, og samkjøring av, matestasjoner og bruk av andre banestrømforsyningsanlegg (kondensatorbatterier etc).
- **Vedlikehold** hvor normal infrastruktur kan opprettholdes..

EN 50163 definerer hva som bør være en normal driftsituasjon. Teksten over bygger på denne, men er utdypet noe.

Under dimensjonering av banestrømforsyningen legges en bestemt trafikkprognose til grunn. Retningslinjer for valg av denne er gitt i kapittel 9.4.2. Avhengig av hvilken ruteplan som en

sammenligner med, er kravet altså et prosjekterings-/utbyggingskrav eller et vedlikeholdskrav.

Normalt vedlikehold av matestasjonsanlegg og overføringsnett (kontaktledning, fjernledning og AT-ledninger) skal ikke føre til forsinkelser i togtrafikken. Alle anlegg fungerer etter hensikten.

I tillegg skal ikke avvik som ofte kan forventes føre til redusert spenning. De fleste endringene som en ofte kan forvente er varianter i trafikken, for eksempel forsinkelser, bytte av trekraft, ekstra vogner, økt togvekt og ekstratog (rundt de store byene). I tillegg skal utfall/stans av aggregater hvor en har god redundans (det vil si Oslo-området) ikke føre til redusert spenning.

### **9.2.2 Avvikssituasjoner med redusert krav til spenning**

I en del situasjoner kan en akseptere at spenningen kommer under de verdier som en har satt som krav, men ikke at forsinkelser og begrensninger bør (vedlikehold)/skal (prosjektering) unngås. Det aksepteres imidlertid at lav spenning kan føre til forstyrrelser og noe økt kjøretid innenfor det som er lagt til av marginer i ruten (4 %, jamfør kapittel 3.3).

Slike avvik kan for eksempel være

- Redusert ytelse i matestasjon
- Utfall/stans av en mateenhet i to forskjellige matestasjoner i Oslo-området
- Planlagt vedlikehold av overføringsnett (kontaktledning, mateledning, fjernledning og AT-ledninger) og andre seriekomponenter som ikke hindrer togframføringen fysisk
- Planlagt vedlikehold av matestasjoner hvor matestasjonen ikke kan mate ut etterspurt effekt fordelt på alle utgående linjeavganger

Ekstratog på baner med baneprioritet 4 og 5 er valgt gitt lavere krav til kvalitet på energiforsyningen i forhold til baneprioritet 1, 2 og 3.

En bør dimensjonere en robust og fleksibel banestrømforsyning som takler en del avvikssituasjoner inkludert det meste av planlagt vedlikehold. Dette for å best mulig, men innenfor rimelighetens grenser, kunne etterkomme trafikkutøvernes ønsker og behov samtidig som en ikke overdimensjonerer unødige mye.

Kravet vedrørende vedlikehold må ikke tolkes slik at energiforsyningen må dimensjoneres for at en skal kunne kjøre tog uten forsinkelser og begrensninger uansett. Kravet anses også som oppfylt dersom vedlikeholdet kan legges til perioder med liten trafikk slik at normalt krav til spenning kan opprettholdes for de togene som på det tidspunktet er i trafikk.

### **9.2.3 Unormal driftsituasjon med redusert krav til spenning**

Redusert krav til spenning skal opprettholdes i unormale driftsituasjoner som for eksempel:

- Oppløsning etter masseforsinkelse
- Alvorlig feil i matestasjon med stor reduksjon av ytelsen
- Utfall av energiforsyning til matestasjon
- Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, mellom matestasjoner som følge av brudd i samkjøringen i trefasenettet

- Uforutsett brudd i samkjøringen eller elektrisk øydannelse på brunn av brudd i overføringsnett og andre seriekomponenter som ikke hindrer togframføringen på de elektriske øyene.
- Større vedlikehold av matestasjoner hvor begrensning av ytelsen er nødvendig

Med andre ord bør energiforsyningen dimensjoneres slik at uforutsett utfall av viktige komponenter og anlegg gjør at togtrafikken ikke stopper helt opp. Noen forsinkelser tillates imidlertid, men disse bør (vedlikehold)/ skal (prosjektering) begrenses. I praksis vil dette si at en skal kunne kjøre tog selv om en hel matestasjon eller overføringsnett faller ut. Tiltak for å begrense konsekvensene for togtrafikken kan for eksempel være:

- Strategiske, taktiske og/eller operative disponeringer i trafikken
- Optimalisering av seksjoneringsmuligheter
- Etablering av flere matingsveier
- Planlegging av vedlikehold

I utgangspunktet skal en ha samkjøring av alle matestasjonene og brudd i samkjøringen defineres som en unormal driftsituasjon der en kan tillate redusert krav til spenning.

Med elektrisk øydannelse menes seksjonering av fjernledning eller kontaktledning inkludert eventuelle AT-ledninger som fører til at banestrekninger eller deler av banestrekninger isoleres elektrisk fra samkjøringen med resten av nettet. Det er imidlertid urimelig å kunne tillate redusert spenning på hele øyen dersom denne er stor, slik at tillatelsen bare gjelder for aktuell matestrekning.

Større vedlikehold av matestasjoner hvor begrensning av ytelsen er nødvendig kan for eksempel bytte av roterende aggregat for revisjon.

#### **9.2.4 Unormal driftsituasjon uten krav til spenning**

Det stilles ikke krav til spenning i alvorlige avvikssituasjoner som for eksempel:

- Stående feil/kortslutning i rullende materiell
- Regionalt kraftsystemutfall med manglende energiforsyning til to eller flere nærliggende matestasjoner
- Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, i overføringsnettet som hindrer togframføringen fysisk
- Utsiktet utløsning av nødfrakobling
- Annet vedlikehold som hindrer togframføringen fysisk

Å dimensjonere for å kunne forsyne tog med energi under disse hendelsene vil sannsynligvis føre til unødvendig overdimensjonering av banestrømforsyningen. Feil og kortslutninger skal normalt detekteres av vern og kobles bort, både om feilen er i rullende materiell eller infrastruktur. I et omformerematet nett er det lite en kan gjøre de gangene store deler av en landsdels energiforsyning er ute av drift, for eksempel ved uvær. Erfaringsmessig vil det i slike tilfeller være andre forhold som reduserer muligheten for togframføring slik som lynnedslag og tre over linjen.

Tillatelsen til å ikke opprettholde den elektriske energiforsyningen bør bare gjelde for det området/deler av matestrekningen som er fysisk sperret.

I praksis er det gjerne bare kontaktledningen og eventuelle AT-ledninger hvor brudd også kan hindre trafikken på sporet. Annet vedlikehold som hindrer togframføringen kan være

spararbeid eller andre arbeider langs sporet hvor utkobling av kontaktledning er nødvendig slik at sporet er sperret eller at berørt seksjon må gjøres spenningsløs.

Merk at det er bare på berørt(e) seksjon(er) hvor det ikke stilles krav til spenningen. På seksjoner som ikke er sperret for trafikk gjelder normalt eventuelt redusert krav til spenningen i henhold til avsnittene over.

### 9.2.5 Diskusjon av krav til håndtering av avvikssituasjoner

For å si noe om hvilke avvikstilfeller en bør dimensjonere for, har en utført en enkel vurdering av hyppighet og konsekvenser for de ulike tilfellene sammen med en enkel kost-/nyttevurdering (kapittel 7.2 og 7.3). Hyppigheten for en del tilfeller har en kommet fram til i kapittel 5.5 og disse er sammenlignet med krav i dagens regelverk. For andre tilfeller, spesielt trafikktilfellene har en vært i kontakt med ulike personer i Jernbaneverket. Tallene er å anse som typiske og gjerne basert på et "best guess".

Uansett er flesteparten av tallene basert på dagens banestrømforsynings- og kontaktledningsanlegg. Dagens anlegg samsvarer ikke nødvendigvis med fremtidens anlegg. Blant annet er det lagt til grunn feilstatistikk som gjennomsnitt for dagens omformerstasjoner, mens en i fremtiden gjerne ser for seg andre konfigurasjoner; få store stasjoner istedenfor mange små samt overgang til statiske aggregater. Per i dag har de statiske omformeraggregatene dårligere tilgjengelighet enn de roterende. En har antatt at dette er et forbigående fenomen og derfor lagt til grunn en samlet verdi sammen med spesifikke krav i dagens regelverk.

En annen ting er at disse kost-/nyttevurderingene mest ser på kostnader for driftsforstyrrelser i matestasjoner. Når et anlegg skal dimensjoneres for å håndtere avvikssituasjoner er vedlikehold og arbeid på linjen også av betydning i denne sammenheng. I dag gjøres arbeid på linjen ofte på dagen etter at rushtrafikken er over eller på natten etter at de siste togene er gått. Kontaktledningen har mulighet for seksjonering og alt etter arbeidsomfang frakobles spenningen der det er nødvendig. Når dette gjøres oppstår det en situasjon med ensidig mating på matestrekningen mellom to matestasjoner og dette vil føre til lavere spenning for togene samt større belastning for mateenhetene med større fare for overbelastning av disse. Dette gjør at tilgjengelig tid til å gjøre et arbeid blir begrenset, ikke bare har et arbeidslag en hvis tid til rådighet ved at en finner en "hvit periode" der ingen tog passerer arbeidsstedet, men en må også passe på at ikke noen tog i nærheten får for lav spenning om utkoblingen skjer for tidlig etter at et tog har passert. Dermed løper det kostnader ved arbeid som må gjøres på linjen både ved at det kan forstyrre togtrafikken og at det må legges til tider av døgnet der overtidsbetaling påløper. Omfanget av denne typen arbeid er hyppig og skjer daglig på banestrekningene. Behov for å koble ut kontaktledningen oppstår ikke bare ved arbeid på denne, men også ved arbeid i og ved sporet der sikkerheten krever utkobling. Med økt trafikk blir muligheten for å komme til å gjøre arbeid i "hvite perioder" mindre og dette kan det bli viktig å ta hensyn til ved dimensjonering av banestrømforsyningen. Avstanden mellom omformerstasjoner og lengden av matestrekningene, samt spenning ved ensidig matet strekning, spiller inn for fleksibiliteten for arbeid på linjen.

### 9.2.6 Diskusjon av kravet til redundans

Statistikken for dagens omformeraggregater og -stasjoner viser gjerne at dagens redundanskriterium (n-1) har noe for seg. Slik det praktiseres i dag med 100 % redundans oppfattes det som relativt dyrt. Ved å installere begrensere som kan "passe på" det gjenværende aggregatet ved utfall av ett, kan en akseptere en økning i belastningen uten å måtte øke ytelsen i stasjonene ved å bytte aggregater. En tilsvarende løsning som foreslått for

de roterende aggregatene har en i dag i praksis i de statiske aggregatene gjennom strømgrensen. Ved bruk av temperaturbegrensere har en fortsatt mulighet til å utnytte mulighetene for midlertidig overlast av elektriske maskiner. En slik løsning er tidligere studert for bruk i Oslo-området, men det kan godt være at en kan ha god nytte av den på fjernstrekningene også, spesielt dersom en bygger autotransformatorsystem.

En har til tross for den enkle kost/nyttevurderingen valgt å beholde dagens kriterium i forhold til utfall av mateenheter. Dette er gjort for å ta mer hensyn til sannsynlig stasjonsplassering og utrustning så lenge en ønsker seg færre store stasjoner på grunn av et stivere overføringsnett (kontaktledning som en del av autotransformatorsystem eller fjernledningssystem). I et slikt tilfelle har hver matestasjon større forsyningsområde og konsekvensen blir dermed også større. Formildende i forhold til kravet er at en ser for seg at hver stasjon gjerne har flere aggregater enn dagens to, noe som gjør overdimensjoneringen i prosent mindre. I tillegg leveres statiske omformeraggregater med strømgrense som standard, slik at aggregatene selv passer på at de ikke blir overbelastet.

I motsetning til tidligere krav har en valgt å innføre redundans i matestasjoner på fjernstrekningene. Ut i fra en enkel kost/nyttevurdering isolert sett kan det neppe lønne seg. Men sett i et større perspektiv og hvor avhengig en er av elektrisk energiforsyning til å opprettholde togtrafikken. Spesielt når en ser for seg et stivere nett med færre stasjoner vil konsekvensene med utfall av en hel stasjon bli større ettersom hver stasjon skal forsyne en større del av banestrekningen. I dag vil en få kjørt togene forbi over to matestrekninger der en hel stasjon har falt ut. Persontog vil kunne trafikkere en slik strekning uten spesielt store forsinkelser, mens for godstog vil det bety saktekjøring og bare ett eller noen få tog inn på strekningen av gangen. For fremtidig anlegg for banestrømforsyningen vil en neppe kunne godta at denne muligheten blir mindre. Tilgjengeligheten til det matende trefasenettet kan en gjøre lite med. Overordnede valg for standard på jernbanenettet legger føringer her og nevner energiforsyningen spesielt.

Prisen på n-1 redundans i matestasjoner kan en i utgangspunktet mene er prisen på en omformerstasjon (i vedlegg 8) satt til 132 MNOK. Men det bør være viktig å se helheten. Det er flere momenter som taler for at denne prisen likevel ikke er så høy som den ser ut til og dermed kommer i fratrekk, selv om størrelsen på disse er vanskelig å anslå:

- Foreløpige utredninger viser at strømbelastningen på kontaktledning og AT-ledninger ved 160 km mellom omformerstasjonene blir stor. Det synes vanskelig å kunne henge opp mange nok ledere med stort nok tverrsnitt i kontaktledningsmastene for å kunne takle dette.
- Bedre spenningskvalitet ved brudd og ensidig mating.
- Mindre sannsynlighet for to brudd på samme matestrekning (elektrisk øy uten forsyning)

Denne overdimensjoneringen har også en annen funksjon. I motsetning til dagens omformerstasjoner utrustet med transportable roterende aggregater, ser en så vidt en vet ikke for seg konkret transportable statiske aggregater i fremtiden. Dette skyldes gjerne størrelsen på aggregatet med tilbehør, men også at statiske aggregater ikke har samme oppbygning og vedlikeholdsbehov som roterende. Det gjør at en ikke står like fritt til å kunne bytte ut et aggregat med et større når effektbehovet øker. En får håpe at fremtidens statiske aggregater har en bedre tilgjengelighet enn det dagens aggregater fremviser.

Oslo-området har de senere år iallfall ikke redusert sin betydning for togtrafikken i Norge. For både godstrafikken og fjerntrafikken med persontog er Oslo et viktig nav. Samtidig er

lokaltogene en viktig del av transporttilbudet og –mulighetene langs hovedaksene. Et utfall av energiforsyningen vil derfor få store konsekvenser, og en har ikke funnet å kunne redusere kravet til redundans i mateenheter i forhold til tidligere. Det er derimot usikkert om en bør stille krav til redundans i forhold til hele stasjoner i Oslo-området ettersom en føler at en i dag ikke har godt nok underlag for å si noe om konsekvensene av innføring av et slikt krav.

Jernbaneverket mangler etter hva en har klart å finne ut et overordnet tallfestet krav til infrastrukturens tilgjengelighet. Riktignok har Vedlikeholdshåndboka (1B-Ve) definert uttrykket "God infrastruktur" med tilhørende kvalitative krav for ulike typer anlegg. Energiforsyningen som helhet er imidlertid ikke nevnt, bare kontaktledningsanlegget. For å bringe temaet på bane har Teknisk regelverk vedlikehold for banestørforsyning (JD 548) kapittel 18 stilt krav til tilgjengelighet for energiforsyningen differensiert for ulike baneprioriteter (se kapittel 2.6.2). En har imidlertid inntrykk av at kravet ikke har særlig fokus siden det gjerne ikke er blitt fulgt godt nok opp med diskusjoner i banestørforsyningstiljøet. En av årsakene til dette kan være manglende retningslinjer for hvordan kvaliteten skal måles i forhold til kravet. Det anbefales at en vurderer disse tilgjengelighetskravene på ny slik at en har krav til totaltilgjengelighet for energiforsyningen slik som ved utbygging av Gardermobanen. Dette er spesielt viktig nå ettersom en forhåpentligvis står foran en stor (re-)investering i energiforsyningen, både i banestørforsyning og kontaktledningsanlegg. Det er mulig at en slik gjennomgang vil påvirke det som i denne rapporten er foreslått av krav til energiforsyningen. Den riktige enden å begynne i er muligens at Jernbaneverket stiller overordnede tilgjengelighetskrav til infrastrukturen, og så kan en ut fra det utlede overordnede krav til de ulike typene anlegg.

I vedlegg 10 er gitt en kort oversikt over hvilken redundans Jernbaneverket har i andre jernbanetekniske anlegg. Oppsummert finner en at det er sjelden at det for systemer og store komponenter for de ulike anleggene benyttes redundans etter n-1 prinsippet. For togfremføringen er ofte andre anlegg, prosedyrer og redusert fremføringshastighet backup, men da med innvirkning på toggangen. Kritiske anlegg/funksjoner er gitt redundans.

Oppsummert velger en å opprette et n-1 kriterium for matestasjoner på grunnlag av mindre utfall (1 time per stasjon pluss utetid ved enkeltutfall av overliggende trefasenett), tilfredsstillende eventuelle fremtidige strengere krav til infrastrukturen, holde tilsvarende kvalitet som i dag, bedre fleksibiliteten i omformeraggregater og lette vedlikeholdet, redusere konsekvensen ved brudd i kontaktledning/AT-ledninger og redusere risikoen ved usikkerhet. Tillegget i den totale prisen for en banestrekning er liten i forhold til resten.

## 9.3 Tilgjengelighet

Over er det stilt krav til spenning på togenes strømtak samt spesifisert i hvilke tilfeller en kan akseptere redusert spenning med tilhørende forstyrrelser, forsinkelser og begrensninger i trafikken. Det må også reguleres hvor lenge en kan akseptere at den elektriske energiforsyningen får lov til å forstyrre, forsinke og begrense togtrafikken.

### 9.3.1 Krav til tilgjengelighet mot enkelthendelser

De ulike enkelthendelsene gitt i kapittel 9.2.1, 9.2.2, 9.2.3 og 9.2.4 har ulike sannsynligheter og tider til (feil-)retting. På bakgrunn av utredningene foran i denne rapporten, eksisterende krav i teknisk regelverk og andre styrende dokumenter (for eksempel Vedlikeholdshåndboka) er det nedenfor gitt en oversikt over hvor lenge en kan akseptere de ulike enkelthendelsene i løpet av ett år. Det er differensiert mellom baneprioritet 1-3 og baneprioritet 4-5 hvor nedetiden for 4-5 generelt er dobbelt så stor som for 1-3. Det kun stilt krav til total nedetid, ikke frekvens og lengde av hvert tilfelle.

**Tabell 9-5: Krav til maksimal nedetid for ulike typer enkelthendelser oppgitt i antall timer per år**

Konsekvens/årsak	Baneprioritet 1, 2 og 3	Baneprioritet 4 og 5	Kilde
<b>Tillatt tid for enkelthendelser av feil uten konsekvenser for togtrafikken</b>			
Uforutsett utfall/stans av en mateenhet i en matestasjon i Oslo-området.	44 per stasjon	N/A	JD 546 kap 5 pkt 3
<b>Tillatt tid for enkelthendelser med redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken unngås</b>			
Feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 100 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger.	44 per stasjon	88 per stasjon per år	JD 546 kap 5 pkt 3
Samtidig utfall/stans av en mateenhet i to forskjellige matestasjoner i Oslo-området.	1 for hele Oslo-området	N/A	Tabell 7-2
Planlagt vedlikehold av overføringsnett andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke hindrer togframføringen fysisk.	5 per mil	10 per mil	Vurdert
Planlagt vedlikehold av matestasjoner hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut etterspurt effekt fordelt på alle utgående linjeavganger.	22 per stasjon	44 per stasjon	Vurdert som halvparten av feil i matestasjon
<b>Tillatt tid for enkelthendelser med redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken begrenses/reduseres</b>			
Alvorlig feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 50 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger.	0,85 per stasjon	1,7 per stasjon	JD 546 kap 5 pkt 3
Utfall av energiforsyning til en matestasjon	0,15 per stasjon	0,30 per stasjon	Vurdert som 10 min per stasjon
Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, mellom matestasjoner som følge av brudd i samkjøringen i trefasenettet.	0,04 per mil	0,08 per mil	Vurdert på bakgrunn av opplysninger i [34]
Uforutsett brudd på samkjøringen eller elektrisk øydannelse på grunn av brudd i overføringsnett og andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke hindrer togframføringen på de(n) elektriske øyen(e) fysisk	0,3 per mil	0,6 per mil	37,5 % av 1B-Ve kap 3 med typisk nedtid 4 timer som i [35]
Større vedlikehold av matestasjoner hvor begrensning i ytelsen er nødvendig	0,1 per roterende mateenhet	0,2 per roterende mateenhet	1 dag per 10. år per roterende mateenhet
<b>Tillatt tid for enkelthendelser uten krav til spenning i berørt(e) seksjon(er) hvor togtrafikk ikke er mulig</b>			
Regionalt kraftsystemutfall med manglende energiforsyning til to eller flere nærliggende matestasjoner.	0,15 per stasjon	0,30 per stasjon	Vurdert som 10 minutter per stasjon
Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, i overføringsnett som hindrer togframføringen fysisk.	0,5 per mil	1,0 per mil	62,5 % av 1B-Ve kap 3 med typisk nedtid 4 timer som i [35]

Konsekvensårsak	Baneprioritet 1, 2 og 3	Baneprioritet 4 og 5	Kilde
Utløst utløsning av nødfrakobling	0,0006 per mil	0,0012 per mil	Vurdert som 1 gang per år per sløyfe (80 km) med stopp i 10 minutter

### 9.3.2 Overordnet krav til tilgjengelighet

Det viktige for trafikkutøverne er energileveransen til togets strømtakere og hvilke forstyrrelser, forsinkelser og begrensninger denne fører til i forhold til gjeldende rute, ruteplanforutsetninger og ruteønsker. Hva som fører til begrensningen er i utgangspunktet likegyldig. Det er derfor på bakgrunn av nedetiden til enkelthendelsene i forrige avsnitt beregnet total nedetid for følgende 3 konfigurasjoner:

- Oslo-området (baneprioritet 1)
- Typisk matestrekning 80 km, 2 matestasjoner hver med 2 roterende mateenheter baneprioritet 1-3
- Typisk matestrekning 80 km, 2 matestasjoner hver med 2 roterende mateenheter baneprioritet 4-5

Selve utregningen er gitt i vedlegg 11. Ved å dividere den totale nedetiden på antall mil strekning finner en en gjennomsnittlig verdi som gitt i tabell 9-6. Selv om tilgjengeligheten er beregnet med utgangspunkt i tradisjonell desentralisert mating, vil det gjelde samme krav til tilgjengelighet om en bygger fjernledningssystem eller autotransformatorsystem.

Tabell 9-6: Krav til maksimal nedetid med ulike konsekvenser oppgitt i timer per mil per år

Baneprioritet	Tillatt tid for feil som ikke uten konsekvenser for togtrafikken	Tillatt tid for redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken unngås	Tillatt tid for redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken begrenses/ reduseres	Tillatt tid uten krav til spenning i berørt(e) seksjon(er) hvor togtrafikk ikke er mulig
1: Oslo-området	5	13	0,5	0,5
1-3	-	22	0,7	0,5
4-5	-	43	1,4	1,0

Med i nedetiden regnes kun tid for forstyrrelser, forsinkelser og begrensninger i togtrafikken som skyldes feil med og vedlikehold av den elektriske energiforsyningen. Feil og avbrudd som kan lastes togselskap og dennes aktivitet regnes i utgangspunktet med.

Ettersom det er totaltilgjengeligheten som teller tillates det at en har dårligere tilgjengelighet mot en hendelse dersom en kompenseres med bedre tilgjengelighet mot en annen slik at totalen ikke forringes.

### 9.3.3 Diskusjon av tilgjengelighet

Krav om tilgjengelighet for den elektriske energiforsyningen finnes i dag i JD 548 (vedlikehold banestørforsyning). Kravene som foreslås her er en erstatning for og en videreføring av dette.

Det er valgt en differensiering på baneprioritet 1-3 og 4-5 ettersom det her går et hovedskille mellom kvaliteten på banene for øvrig. Samme inndeling er valgt i [36]. Mer detaljert



differensiering mellom baneprioritetene er ikke funnet formålstjenelig utover at en har skilt Oslo-området spesielt ut ettersom dette er mer et maskenettverk (med dobbelspor og knutepunkt) enn et radialnettverk som de andre strekningene. Generelt aksepterer en dobbelt så lang nedetid på prioritet 4-5 som på 1-3. Dette kan komme noe på tvers av enkelte krav i teknisk regelverk for enkelte komponenter, for eksempel matestasjoner.

Den tiden som regnes med i utilgjengeligheten er bare den tiden det skapes forstyrrelser, forsinkelser eller begrensninger i togtrafikken på grunn av den elektriske energiforsyningen. Dersom det på tidspunktet for en feil eller vedlikehold som medfører redusert spenning ikke skal gå tog i henhold til ruteplanen eller ekstratog regnes ikke denne tiden med i utilgjengeligheten. På den måten kan en foreta vedlikehold på tidspunkt konsekvensen for trafikken er liten.

I utgangspunktet regnes ikke nedetid på grunn av feil og avbrudd som kan lastes togselskap og dennes aktivitet. Et klart skille mellom om en feil skyldes togselskapet alene eller om infrastrukturen har innvirkning er vanskelig. Det anbefales derfor at en benytter skjønn, og gjerne bruker samme praksis for deling av skyld som i en eventuell kompensasjonsordning overfor togselskapene.

Kravene bør ikke tolkes som absolutte, men en rettesnor. Det vil si at det bør bruke skjønn før en foretar tiltak i infrastrukturen både i forhold til tiden og strekningen en regner over. For eksempel kan det være et spesielt sted et spesielt år hvor en ikke tilfredsstillende kravene, men som likevel kan aksepteres siden situasjonen var forbigående og tilgjengeligheten til energiforsyningen for øvrig var god.

Det vil nok være arbeidsomt å kontinuerlig beregne tilgjengeligheten per mil og år for hele det statlige jernbanenettet. Og det vil kanskje ikke være hensiktsmessig heller. Men det er et viktig kriterium når en designer en ny energiforsyning eller en har mistanke om at kvaliteten på en eksisterende energiforsyning er for dårlig.

## **9.4 Inndata og marginer**

### **9.4.1 Inndata**

For vurdering av om dagens energiforsyning er tilstrekkelig skal det legges til grunn dagens infrastruktur og dagens trafikkforhold.

For vurdering av fremtidig energiforsyning skal fremtidig infrastruktur og fremtidig trafikkforhold legges til grunn.

Ved dimensjonering av energiforsyningen for fremtiden skal en vurdere øvrig infrastruktur og trafikkforhold så langt frem som mulig. Dersom prognosene er av kortere tidshorison i forhold til den horisonten som er naturlig å vurdere ut fra anlegges levetid bør det legges inn ytterligere marginer.

Per i dag har Jernbaneverket ikke offisielle strategiske dokumenter som gir de nødvendige data, utover overordnet Handlingsprogram. På sikt ser det ut som om det legges opp til følgende dokumenter med ansvarlig enhet i parentes:

- Strategisk ruteplan (M)
- Strekningsvise utviklingsplaner (M)
- Fremtidig rullende materiell (ITK)

For de to øverste dokumentene ser det ut som om det legges opp til en tidshorisont på 10-15 år.

Alle fremtidige trafikkprognoser må utarbeides i samarbeid med, alternativt godkjennes av, Jernbaneverket Marked.

#### **9.4.2 Marginer**

Både ved drift og dimensjonering av energiforsyningen bør en ikke legge opp til at systemer og komponenter belastes med nominell belastning på grunn av at belastning noe under merkelast fører til:

- Redusert slitasje og aldringsprosess.
- Bedre virkningsgrad.
- Bedre mulighet til å håndtere kortere perioder med høy belastning.
- Bedre mulighet til å håndtere utforutsette hendelser.

Sammen med at en under stiller marginer i forhold til avvik og fremtidig trafikkøkning finner en det riktig å bare kreve at energiforsyningens anlegg og komponenter ikke skal overbelastes i noen av driftsituasjonene som nevnt i avsnitt 9.2.

I tillegg bør en ved dimensjonering av anlegg og komponenter med lang levetid legge inn marginer for å ta høyde for at fremtidsutviklingen kan kreve mer enn en er klar over på dimensjoneringstidspunktet. Dersom anlegget eller komponenten eller plasseringen av denne er slik at en eventuell utbygging vil bli vanskelig eller veldig dyr, bør det legges inn større marginer.

For å ta høyde for dette har en valgt å differensiere på tre ulike marginer:

- Margin for usikkerhet med et tillegg på 5 %
- Margin for avvikssituasjon med et tillegg på 10 %
- Margin for fremtidig trafikkøkning med et tillegg på 20 %

I tillegg kommer marginer for spenningen gjennom prosjekteringskrav til spenningen samt krav til behandling av avvikssituasjoner. Hvilke tilfeller en tar hensyn til de ulike marginene er vist i tabell 9-7. Belastningen bør vurderes både for lengre og kortere tidsrom.

Marginer for avvikssituasjon kan i praksis tas hensyn til på to forskjellige måter, vurdere kvaliteten i en avvikssituasjon eller øke marginene i forhold til normal drift.

**Tabell 9-7: Marginer ved ulike vurderingstilfeller og -kriterier.**

		<b>Normal drift</b>	<b>Unormal drift</b>
Prosjektering	Effekt	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin for usikkerhet</li><li>• Margin for avvikssituasjon</li><li>• Margin for trafikkøkning</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin for usikkerhet</li><li>• Margin for trafikkøkning</li></ul>
	Spenning	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin for avvikssituasjon</li><li>• Margin gjennom høyere krav i forhold til vedlikehold</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin gjennom høyere krav forhold til vedlikehold</li></ul>
Vedlikehold	Effekt	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin for usikkerhet</li><li>• Margin for avvikssituasjon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin for usikkerhet</li></ul>
	Spenning	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin for usikkerhet</li><li>• Margin for avvikssituasjon</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Margin for usikkerhet</li></ul>

### 9.4.3 Diskusjon av ruteplaner

For å kunne tillate ekstratog i forhold til det som banen har kapasitet til og for at energiforsyningen ikke skal være noen flaskehals, er det i utgangspunktet den teoretiske kapasiteten som bør legges til grunn. Fremtidig teoretisk kapasitet har en ikke funnet noen offisielle dokumenter som beskriver, strategisk ruteplan er i utgangspunktet bygd opp rundt praktisk kapasitet. Samtidig ser en det som mindre sannsynlig at en vil utstede ruter slik at den teoretiske kapasiteten er helt utnyttet, iallfall for et lengre tidsrom uten at tiltak i infrastrukturen iverksettes. Ekstratogruter for enkelte tog utstedes imidlertid ofte, og det bør en ta høyde for i dimensjoneringen av energiforsyningen, spesielt ettersom flere trafikkutøvere får tilgang til det statlige jernbanenettet med mer uforutsette og kortvarige ønsker. En kan likevel se for seg at den teoretiske kapasiteten er fullt utnyttet ved oppløsning etter masseforsinkelser, men da reduseres også kravet til spenning. Uansett bør Jernbaneverket Marked være med i diskusjonen og godkjenne trafikken som legges til grunn ved dimensjonering.

### 9.4.4 Diskusjon av marginer i drift og dimensjonering

På grunn av usikkerheter i simuleringsmodeller og målinger anbefales det at det legges til 5 % både ved prosjektering og vedlikehold. Til sammenligning pleier Balfour Beatty å legge til 5-10 % for slik usikkerhet.

For at den elektriske energiforsyningen skal være robust overfor små endringer i trafikken og små avvik i infrastrukturen bør (vedlikehold)/ skal (prosjektering) det legges til 10 % margin. Dersom vurderingene allerede gjøres på bakgrunn av trafikk hvor representative og dimensjonerende slike avvik er inkludert er dette tillegget ikke nødvendig.

Tidligere krav om å legge til 20 % for fremtidig trafikkøkning utover prognosene ved prosjektering beholdes uendret. En god margin her er nødvendig ettersom anleggenes levetid gjerne er mye lenger enn det en har konkrete trafikkprognoser for.

Totalt sett er det innført flere reserver og marginer enn tidligere. Kravet til margin ved normal belastning er noe lavere for energiforsyningen enn for andre tekniske komponenter og systemer (25 %). De ulike marginene kan legges sammen før en begynner beregningen, det vil si dersom en tar hensyn til alle tre, blir den totale marginen  $5+10+20 = 35$  %.

## 10 FORSLAG TIL NYTT KRITERIUM I JD 546

Følgende tekst foreslås å erstatte dagens tekst i JD 546 kapittel 5 avsnitt 2:

For tog fremført med elektrisk trekkraftmateriell er den elektriske energiforsyningens kvalitet viktig for å kunne holde ruteplanen. Med den elektriske energiforsyningen menes både banestrømforsyningsanlegg og kontaktledningsanlegg for levering av elektrisk energi helt fram til togets strømvaktaker.

Med *normal trafikk* menes:

- Trafikk i henhold til den til enhver tid gjeldende ruteplan, inklusive ekstratog kjørt innenfor rammene av restkapasitet, og de til enhver tid gjeldende ruteplanforutsetninger for vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket
- Fremtidig trafikkprognose (se avsnitt 2.6) for vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket

Begrepet trafikk omfatter både ruteplan, togsammensetning/trekkraft og togvekt.

Med *normal infrastruktur* menes:

- Drift av og forhold ved infrastrukturen som lagt til grunn under prosjektering av opprinnelig anlegg, det gjelder både
  - koblingsbilde i overføringsnett,
  - tilgjengelig og installert ytelse i matestasjoner,
  - samkjøring av matestasjoner samt
  - bruk av andre banestrømforsyningsanlegg (kondensatorbatterier etc).

Med overføringsnett menes kontaktledning, mateledning, fjernledning og AT-ledninger.

### 10.1 Overordnet krav

- a) Kvaliteten på den elektriske energiforsyningen skal ved *normal infrastruktur* ikke være en begrensning for *normal trafikk*.
- b) *Normal infrastruktur* skal utvikles slik at kvaliteten på den elektriske energiforsyningen ikke blir begrensende for *normal trafikk*.
- c) Kvaliteten på den elektriske energiforsyningen skal tilpasses de andre infrastrukturelementene slik at infrastrukturen, samlet sett, blir mest mulig optimal på kort og lang sikt sett i forhold til både drift-, vedlikeholds- og investeringskostnader samt kapasitet og tilgjengelighet for togframføring.

### 10.2 Spenningskrav

- a) Spenningen på togs strømvaktaker skal ikke underskride verdiene gitt i tabell 5.1.
  1. Dersom den vurderte trafikken ikke inkluderer endringene angitt i avsnitt 10.3 punkt a)3.1 og b)3.1 er bør-kravene i tabellen å oppfatte som skal-krav.
  2. Vurdering av spenning:
    - 2.1. Med kortvarig spenning menes laveste effektivverdi av spenning som måles på togs strømvaktaker. Ett sekund er godkjent samplingsintervall.
    - 2.2. Med langvarig spenning menes gjennomsnitt av effektivverdi av spenning over en periode av 2 minutter som måles på togs strømvaktaker.
    - 2.3. Med gjennomsnittlig spenning menes  $U_{\text{mean useful}}$  for tog (train) og område (zone) som definert i EN 50388.

Tabell 5.1 Krav til spenning. Alle tall i kV.

	Type krav	Kortvarig	Langvarig	Gjennomsnitt
Normalt krav	Vedlikehold	Skal $\geq 12,0$ Bør $\geq 12,5$	Bør $\geq 13,5$	Skal $\geq 13,5$
	Prosjektering	Skal $\geq 13,0$	Skal $\geq 14,0$	Skal $\geq 14,0$
Redusert krav	Vedlikehold	Skal $\geq 11,0$	Skal $\geq 12,0$	Skal $\geq 13,5$
	Prosjektering	Skal $\geq 12,0$	Skal $\geq 12,0$	Skal $\geq 13,5$

### 10.3 Krav til behandling av driftsituasjoner (redundanskrav):

- a) Det stilles *normalt krav* til spenning i *normale driftsituasjoner* og i *normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes*.
- Den elektriske energiforsyningen skal ikke medføre forstyrrelser, forsinkelser og begrensninger for togtrafikken.
  - Med *normal driftsituasjon* menes:
    - Normal trafikk*
    - Normal infrastruktur*
    - Vedlikehold hvor *normal infrastruktur* kan opprettholdes
  - Med *normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes* menes for eksempel:
    - Trafikk:
      - Forsinkelser i togtrafikken som en normalt kan forvente.
      - Enkelttilfeller av bytte av trekraft.
      - Enkelttilfeller av ekstra vogner i persontog.
      - Enkelttilfeller av øket lastvekt for godstog dersom operativ ruteplanlegger tillater dette.
      - Ekstratog på baner med baneprioritet 1, 2 og 3.
    - Infrastruktur:
      - Uforutsett utfall/stans av en mateenhet i en matestasjon i Oslo-området. Med Oslo-området menes banestrekningene med baneprioritet 1 i og rundt Oslo.
- b) Det stilles *reduisert krav* til spenning i *avvikssituasjoner*.
- Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken bør unngås ved vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket
  - Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken skal unngås ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket
  - Med *avvikssituasjoner* menes for eksempel:
    - Trafikk:
      - Ekstratog på baner med baneprioritet 4 og 5.
    - Infrastruktur:
      - Feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 100 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger.
      - Samtidig utfall/stans av en mateenhet i to forskjellige matestasjoner i Oslo-området.
    - Vedlikehold:
      - Planlagt vedlikehold av overføringsnett eller andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke hindrer togframføringen fysisk.
      - Planlagt vedlikehold av matestasjoner hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut etterspurt effekt fordelt på alle utgående linjeavganger.
  - Kravene vedrørende planlagt vedlikehold anses også som oppfylt dersom vedlikeholdet kan legges til perioder med liten trafikk slik at *normalt krav* til spenning kan opprettholdes for de togene som på det tidspunktet er i trafikk.
- c) Det stilles *reduisert krav* til spenning i *unormale driftsituasjoner*.
- Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken bør begrenses/redueres ved vurderinger i

- forhold til vedlikeholdsregelverket
2. Forsinkelser og begrensninger i togtrafikken skal begrenses/reduseres ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket
  3. Med *unormale driftsituasjoner* menes for eksempel:
    - 3.1. Trafikk:
      - 3.1.1. Oppløsning etter masseforsinkelse i henhold til gjeldende rutiner
    - 3.2. Infrastruktur:
      - 3.2.1. Alvorlig feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 50 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger.
      - 3.2.2. Utfall av energiforsyning til en matestasjon
      - 3.2.3. Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, mellom matestasjoner som følge av brudd i samkjøringen i trefasenettet.
      - 3.2.4. Uforutsett brudd på samkjøringen eller elektrisk øydannelse på grunn av brudd i overføringsnett og andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke fysisk hindrer togframføringen på de(n) elektriske øyen(e).  
Med elektrisk øydannelse menes seksjonering av overføringsnett som fører til at banestrekninger eller deler av banestrekninger isoleres elektrisk fra samkjøringen med resten av nettet.
    - 3.3. Vedlikehold av infrastruktur:
      - 3.3.1. Større vedlikehold av matestasjoner hvor begrensning i ytelsen er nødvendig, for eksempel bytte av roterende aggregater.
  4. Begrensning/reduksjon av forsinkelser og begrensninger i togtrafikken som følge av lav spenning på togs strømvaktar kan for eksempel være:
    - 4.1. Strategiske, taktiske og/eller operative disponeringer i trafikken.
    - 4.2. Optimalisering av seksjoneringsmuligheter.
    - 4.3. Etablering av flere mulige matingsveier.
    - 4.4. Planlegging av vedlikehold.
- d) Det stilles ikke krav til spenningen i berørt(e) seksjon(er) i *situasjoner der togtrafikk ikke er mulig*.
1. Energiforsyningens nedetid i *situasjoner der togtrafikk ikke er mulig* skal reduseres mest mulig
  2. Med *situasjoner der togtrafikk ikke er mulig* menes for eksempel:
    - 2.1. Trafikk:
      - 2.1.1. Stående feil/kortslutning i rullende materiell.
    - 2.2. Infrastruktur:
      - 2.2.1. Regionalt kraftsystemutfall med manglende energiforsyning til to eller flere nærliggende matestasjoner.
      - 2.2.2. Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, i overføringsnett som fysisk hindrer togframføringen.
      - 2.2.3. Utsiktet utløsning av nødfrakobling
    - 2.3. Vedlikehold:
      - 2.3.1. Annet vedlikehold (ikke energiforsyningen) som hindrer fysisk togframføringen.

## 10.4 Tilgjengelighetskrav

- a) Den elektriske energiforsyningens nedetid per år for togframføring i henhold til *normal trafikk med endringer som ofte kan forventes* bør ved vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket, og skal ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket, være mindre enn gitt i tabell 5.2.
  1. Tilgjengelighetskravene gjelder forstyrrelser og begrensninger i togtrafikken på grunn av feil med og vedlikehold av den elektriske energiforsyningen. Feil og avbrudd som kan lastes togselskap eller deres aktivitet regnes i utgangspunktet ikke med ved beregning av nedetid.

2. Den elektriske energiforsyningens nedetid per år for togframføring i henhold til *normal trafikk med endringer som ofte kan forventes* på grunn av enkelthendelser bør tilfredsstillende verdiene gitt i tabell 5.3.
3. Nedetiden på grunn av enkelthendelser kan fravikes dersom systemets totale nedetid ikke økes. Vurderingene som legges til grunn for dette skal dokumenteres.

Tabell 5.2 *Krav til maksimal nedetid med ulike konsekvenser oppgitt i timer per spormil per år*

Baneprioritet	a) Tillatt tid for feil uten konsekvenser for togtrafikken	b) Tillatt tid for redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken unngås	c) Tillatt tid for redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken begrenses/ reduseres	d) Tillatt tid uten krav til spenning i berørt(e) seksjon(er) hvor togtrafikk ikke er mulig
1: Oslo-området	5	13	0,5	0,5
1-3	-	22	0,7	0,5
4-5	-	43	1,4	1,0

Tabell 5.3 Krav til maksimal nedetid for ulike typer enkelthendelser oppgitt i antall timer per år

Konsekvens/årsak	Baneprioritet 1, 2 og 3	Baneprioritet 4 og 5
<b>a) Tillatt tid for enkelthendelser av feil uten konsekvenser for togtrafikken</b>		
3.2.1 Uforutsett utfall/stans av en mateenhet i en matestasjon i Oslo-området.	44 per stasjon	N/A
<b>b) Tillatt tid for enkelthendelser med redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken unngås</b>		
3.2.1 Feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 100 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger. (se også avsnitt 3)	44 per stasjon	88 per stasjon per år
3.2.2 Samtidig utfall/stans av en mateenhet i to forskjellige matestasjoner i Oslo-området.	1 for hele Oslo-området	N/A
3.3.1 Planlagt vedlikehold av overføringsnett eller andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke hindrer togframføringen fysisk.	5 per spormil	10 per spormil
3.3.2 Planlagt vedlikehold av matestasjoner hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut etterspurt effekt fordelt på alle utgående linjeavganger.	22 per stasjon	44 per stasjon
<b>c) Tillatt tid for enkelthendelser med redusert krav til spenning hvor forsinkelser og begrensninger i togtrafikken begrenses/reduseres</b>		
3.2.1 Alvorlig feil i matestasjon hvor matestasjonen ikke kontinuerlig kan mate ut 50 % av stasjonens installerte ytelse fordelt på alle utgående linjeavganger. (se også avsnitt 3)	0,85 per stasjon	1,7 per stasjon
3.2.2 Utfall av energiforsyning til en matestasjon	0,15 per stasjon	0,30 per stasjon
3.2.3 Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, mellom matestasjoner som følge av brudd i samkjøringen i trefasenettet.	0,04 per spormil	0,08 per spormil
3.2.4 Uforutsett brudd på samkjøringen eller elektrisk øydannelse på grunn av brudd i overføringsnett og andre seriekomponenter (kondensatorbatteri etc.) som ikke fysisk hindrer togframføringen på de(n) elektriske øyen(e)	0,3 per spormil	0,6 per spormil
3.3.1 Større vedlikehold av matestasjoner hvor begrensning i ytelsen er nødvendig	0,1 per roterende mateenhet	0,2 per roterende mateenhet
<b>d) Tillatt tid for enkelthendelser uten krav til spenning i berørt(e) seksjon(er) hvor togtrafikk ikke er mulig</b>		
2.2.1 Regionalt kraftsystemutfall med manglende energiforsyning til to eller flere nærliggende matestasjoner.	0,15 per stasjon	0,30 per stasjon
2.2.2 Brudd i samkjøringen, både planlagt og uforutsett, i overføringsnett som fysisk hindrer togframføringen.	0,5 per spormil	1,0 per spormil
2.2.3 Utsiktet utløsning av nødfrakobling	0,0006 per spormil	0,0012 per spormil

## 10.5 Belastningskrav (strøm-/effektkrav)

- a) Ved vurdering av energiforsyningens belastning skal det tas høyde for usikkerheter i vurderingene, avvikssituasjoner og fremtidig trafikkøkning.
1. *Normale driftsituasjoner, normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes, avvikssituasjoner og unormale driftsituasjoner* skal ikke føre til at den elektriske energiforsyningens anlegg og komponenter overbelastes. Margin/reserve mot tillatt belastning av komponenter og systemer bør være minst 5 %.
  2. I *normale driftsituasjoner* bør det ved vurderinger i forhold til vedlikeholdsregelverket og skal det ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket legges til grunn minst 10 % reserve/margin for å ta høyde for trafikken i *normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes* og i *avvikssituasjoner* dersom dette allerede ikke er



- inkludert i *normal trafikk*.
3. Ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket skal det både i *normale driftsituasjoner*, *normale driftsituasjoner med endringer som ofte kan forventes*, *avvikssituasjoner* og *unormale driftsituasjoner* tillegges ytterligere minst 20 % reserver/margin for å ta høyde for trafikkøkning utover trafikkprognosene.
  4. Ved vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket av komponenter/anlegg med lang levetid samt dyr og vanskelig oppgradering/utbygging bør det vurderes ytterligere reserver/marginer.
  5. Vurdering av belastningen bør på grunn av variasjonen omfatte både kortvarige og langvarige belastninger.
  4. Vurderingene som legges til grunn skal dokumenteres.

## 10.6 Trafikkkrav

- a) For vurderinger i forhold til prosjekteringsregelverket med tanke på spenning og effekt-/strømbelastning for fremtiden skal det legges til grunn en infrastruktur og trafikkprognose for minst 10-15 år frem i tid. Trafikkutviklingen lenger frem i tid bør også vurderes.
  1. Trafikkprognosen bør være så robust at den inkluderer endringene i avsnitt 10.3 punkt a)3.1 og b)3.1.
  2. Jernbaneverket Marked skal være høringsinstans for trafikkprognosen, og ved utarbeidelse av prosjektprogram skal prognosen godkjennes som en del av dette.
  3. Trafikkprognosen skal ta hensyn til fremtidig annen infrastruktur.
  4. Vurderingene som legges til grunn skal dokumenteres.

## 11 FORSLAG TIL NY TEKST I JD 548

Følgende tekst foreslås å erstatte dagens tekst i JD 548 kapittel 18 avsnitt 3:

### 11.1 Energiforsyningsens kvalitet

Tilfredsstillende kvalitet på den elektriske energiforsyningen er viktig for at togframføringen skal kunne skje i henhold til ruteplanen.

- a) Den elektriske energiforsyningsens kvalitet med tanke på spenning på togs strømvaktaker, redundans, reserver/marginer og tilgjengelighet skal være i henhold til kvalitetskriteriet gitt i [JD 546] kapittel 5 avsnitt 2.
  - 1. Før det utføres endringer som kan føre til at kravene ikke oppfylles, skal det gjøres vurderinger av hvordan energiforsyningsens kvalitet påvirkes. Slike endringer kan være:
    - 1.1. Endringer i infrastrukturen (seksjonering av kontaktledningen, installert ytelse i matestasjoner og så videre)
    - 1.2. Endringer i trafikken (endret ruteplan, økte togvekter, annen trekkraft og så videre)

Hele kapittelet for øvrig er i tillegg gjort om for bedre fremstilling av kravene.

## 12 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

### 12.1 Overordnet krav til infrastrukturtilgjengelighet

Det foregår i dag mye arbeid i Jernbaneverket i forhold til overordnede og strategiske krav og planer. En savner imidlertid overordnede krav til infrastrukturens tilgjengelighet. Et slikt krav vil legge strenge føringer for hvilken tilgjengelighet en skal kreve for energiforsyningsanleggene og dermed også hvilke krav en kan stille. Når en kan sammenligne dette kravet med den tilgjengeligheten de ulike anleggene/systemene har i dag vil en enklere kunne se hvor en bør bruke ressurser og midler. Det vil gjerne også avklare overfor trafikkutøverne hvilken kvalitet de kan forvente av infrastrukturen.

Et forslag til tilgjengelighetskrav for energiforsyningen er utarbeidet i denne rapporten, men uten klare overordnede føringer. Dersom det en gang kommer bør kravene gitt her revurderes og kanskje også justeres.

Et konkret innspill til plan- og utredningsprogrammet for utarbeidelse av et slikt overordnet tilgjengelighetstall er gitt i vedlegg 12.

### 12.2 Videre undersøkelser av strøm- og temperaturbegrensere

Strøm- og temperaturbegrensere for bruk på de roterende omformeraggregatene i Oslo-området har vært foreslått og er under vurdering. Dette kan være en enkel og billig løsning på å kunne redusere overdimensjoneringen og marginene mot overbelastning og samtidig kunne oppnå ønsket redundans. En bør derfor vurdere om bruk av slike begrensere kan være nyttig også på fjernstrekningen, spesielt ved en innføring av autotransformatorsystem. Det bør i tilfelle også vurderes hvordan marginer med begrensere skal legges til ved dimensjonering av nye anlegg og hvilke endringer og tillegg som bør inn i teknisk regelverk.

### 12.3 Koordinering av krav og tekst

Som et resultat av dette arbeidet bør noen av formuleringene og kanskje kravene som er stilt i teknisk regelverk vedlikehold banestrømforsyning oppdateres. Spesielt gjelder dette kapittel 18 som omtaler energiforsyningen. Det vil si at kriteriet her ikke bare vil være et dimensjoneringskriterium, men også et vedlikeholdskrav for vurdering av dagens energiforsyning.

Definisjonen av ordet "Energiforsyning" i teknisk regelverk bør oppdateres i henhold til kapittel 1.4.

### 12.4 Reaktiv kompensering

Et middel for å kunne heve spenningen på togets strømvaktaker er ved at toget selv kompensere for noe av det reaktive spenningsfallet med produksjon av reaktiv effekt. Det aller meste av asynkronmateriellet har denne muligheten. Mulighetene for bruk av dette bør undersøkes. Med stadig grenseoverskridende trafikk, eller iallfall samturnering av materiell mellom innenlands og grenseoverskridende trafikk må dette koordineres med Banverket i Sverige.

### 13 KILDER OG REFERANSER

- [1] CENELEC, *European Standard prEN 50163:2003 Railway applications – Supply voltages of traction systems*, Final Draft October 2003
- [2] IEC, *International Standard IEC 60850:2000 Railway applications – Supply voltages of traction systems*, Second edition 2000-08.
- [3] CENELEC, *European Standard prEN 50388:2004 Railway applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability*, Final draft July 2004
- [4] UIC Code, *Leaflet 796 Voltage at the Pantograph*, 1<sup>st</sup> edition, April 2000
- [5] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Region Nord og Øst, *Simuleringsrapport Banestromforsyningen på Dovrebanen* Prosjekt nummer 199292, saksnummer 00/114 JI 760 utgitt 2001-06-26
- [6] Gerhard Hofman og Steffen Röhlig, *Zeitgewichtete Belastungsdauerkurve bei elektrischen Bahnen*, Elektrische Bahnen 95/1997 side 272
- [7] Walter Kaiser, Gerold Punz, Gerald Wallnberger, *Softwaretools zur Simulation des 16 2/3-Hz-Bahnstromnetzes bei den ÖBB*, Elektrische Bahnen 101 nr 1-2/2003
- [8] Gerhard Hofman, *Bewertung des Spannungsniveaus in AC-Bahnnetzen*, Elektrische Bahnen 10/2004 side 102
- [9] Jernbaneverket Infrastruktur Utbygging Prosjektjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknisk Premiss og utvikling Elkraft, *Utredning av kontaktledningstap*, Prosjekt nummer 760235, saksnummer 2004568 SI 763. Foreløpig ikke utgitt
- [10] Jernbaneverket Infrastruktur Utbygging Prosjektjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknisk Premiss og utvikling Elkraft og Flytoget AS, *Simulering av kontaktledningstap i Oslo-området*, 2004-01-06, prosjektnummer 292454, saksnummer 04/234 SJU 145
- [11] Jernbaneverket, *Driftshåndbok*, revisjon 0 gyldig fra 2005-01-01.
- [12] Brev fra Jernbaneverket Region Sør til Jernbaneverket Hovedkontoret, *Vurdering av restriksjoner for bruk av EL16-lokomotiv*, 2003-05-16, sak 03/5715 SRS 501 og 03/2648 SHK 501
- [13] Notat fra Jernbaneverket Region Øst, *Målinger av spenningsforholdene ved Gjøvik stasjon*, datert 2003-05-28 sak 03/6407 SRØ 762
- [14] Frode Nilsen og Steinar Danielsen på oppdrag fra Jernbaneverket Hovedkontoret, *Framtidens godslokomotiver på norske baner*, utgitt 2003-05-26
- [15] Jernbaneverket Utredning, *Handlingsprogram for Jernbaneverket 2006-2015*, Intern høring, versjon 1.0, 15. november 2004
- [16] Jernbaneverket, *Network Statement 2005*, 2 utgave – 1. desember 2003. Gyldighetsperiode 15. desember 2004 – 10. desember 2005
- [17] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Hovedkontoret og Bane Energi, *Vernst studie – Teoretiske undersøkelser*, 2002
- [18] Steinar Danielsen, *Spenningsregulator med statorstrøm- og feltstrømbegrensning for jernbanens roterende omformere*, Hovedoppgave ved NTNU Institutt for elkraftteknikk 11. juni 2002

- [19] Jernbaneverket/Norwegian National Rail Administration, *Sportilgangsavtale/Access Contract*, utgave 1 datert 2004-05-12.
- [20] NSB, *Lærebok for linjepersonalet – Linjearbeid og linjetjeneste – Del 1. Baneoverbygningen*, Grøndahl & Søns Boktrykkeri, Oslo, september 1962
- [21] Jernbaneverket Region Øst og Banverket Västra Regionen, *Østfoldbanen – Norge/Vänernbanan – Godstrafikk på strekningen/Godstrafik på sträckan Oslo-Göteborg*, revidert 2003-03-17 og utgitt 2003-05-06
- [22] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Region Nord, *Hovedplan – Fase 2 Banestrømforsyningen på Dovrebanen, 2002-10-01*, prosjektnummer 199840, saksnummer 00/114 JI 760
- [23] Jernbaneverket Utbygging Prosjektjenester på oppdrag for Jernbaneverket Infrastruktur Teknikk Premiss og utvikling Elkraft, *Autotransformator for norske forhold – Teknisk/økonomisk sammenligning av forskjellige konsepter for AT-system*, 2004-03-09, prosjektnummer 760102, saksnummer 03/00285 SHK
- [24] CargoNet C-sirkulære nr. 18/2003, *Restriksjoner på strømuttak ved bruk av El 16 og multippel El 16*
- [25] Jernbaneverket, *Metodehåndbok JD 205 Samfunnsøkonomiske analyser for jernbanen*, versjon 2.0 utgitt september 2004
- [26] Bane Energi, *Kraftsystemplan Oslo-området*, utgitt april 1999
- [27] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Region Øst og Bane Energi, *Simulering av banestrømforsyningen i Oslo-området*, 2000-11-20, prosjektnummer 199208, saksnummer 99/5506 JI 760
- [28] BanePartner på oppdrag fra Bane Energi, *Simulering av Oslo området 2002 – Beredskapsplan*, 2002-06-24, prosjektnummer 292168, saksnummer 02/3925 JI 760
- [29] BanePartner på oppdrag fra Bane Energi, *Utnyttelse av omformer kapasiteten i Oslo-området*, 2003-01-10, prosjektnummer 292192, saksnummer 02/4556 JI 135
- [30] Steinar Danielsen, *Spenningsregulator med statorstrøm- og feltstrømbegrensere for jernbanenes roterende omformere*, studentoppgave ved NTNU 2002, 2002-06-11
- [31] Jernbaneverket, *Utfordringer og valg for jernbanesektoren, herunder omfang og standard av jernbanenettet*, versjon 1.0 utgitt juni 2003
- [32] Jernbaneverket Utbygging Prosjektjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Teknikk Premiss og utvikling Elkraft, *Autotransformator for norske forhold – systemvalg*, ikke utgitt enda, prosjektnummer 760275, saksnummer 200300285
- [33] Brev til Distriktsjefen fra S. Nørbech, *Elektrisk banedrift – Retningslinjer for oppbygging av kontaktledningsnettet etter strømstans i Oslo og Drammen distrikter*, 4. november 1984, saksnummer 1210/35 Oslo Distrikt
- [34] Cowi AS på oppdrag for Jernbaneverket Utbygging, *Vurdering av behov for dødseksjoner og utforming av disse – Teknisk rapport dødseksjoner*, 2005-05-20, saksnummer 200401888
- [35] Sintef Teknologiledelse Sikkerhet og pålitelighet på oppdrag fra NSB Gardermobanen AS, *Pålitelighetsanalyse av Gardermobanen*, september 1996, STF38 F96422
- [36] Jernbaneverket Infrastruktur, *Overordnet vedlikeholdsstrategi*, juni 2004



## 14 VEDLEGG

- Vedlegg 1 Epostkorrespondanse med Markus Meyer
- Vedlegg 2 Parametere for modell med lokomotiv litra EG
- Vedlegg 3 Varighetskurve for effektuttak for stilisert simulering av tog 5705
- Vedlegg 4 Fremføringstid tog 5705 med E114 og E116
- Vedlegg 5 Fremføringstid tog 5705 med EG 3100 og svakt nett
- Vedlegg 6 Forsinkelser på grunn av banestrømforsyningen
- Vedlegg 7 Nøkkeltall for forsinkelseskostnader
- Vedlegg 8 Kostnader ved ulike spenningskrav
- Vedlegg 9 Inndata for og utregning av kost/nyttevurdering
- Vedlegg 10 Redundans i andre jernbanetekniske anlegg
- Vedlegg 11 Bergning av total nedetid
- Vedlegg 12 Prosjektforslag overordnet infrastrukturtilgjengelighet

## VEDLEGG 1 EPOSTKORRESPONDANSE MED MARKUS MEYER

Dette vedlegget gjengir epostkorrespondansen med Markus Meyer som satt i arbeidsgruppen for EN 50388.

### Epost 1 – Spørsmål

Dear Dr. Markus Meyer,

My name is Steinar Danielsen and I work for the Norwegian National Rail Administration. Currently I am working on planning investment in the Norwegian traction power system. As a result of this I am doing some research about allowable train voltage. As I understand, you were the only rolling stock expert member of the EN50388 workgroup and thus I hope you are able to help me with some questions.

prEN 50388 defines a mean useful voltage at the pantograph and suggest that it should be 13,5 kV or higher under normal operating conditions for a classical line. There is also given a relation to EN 50163 and the lowest permanent voltage of 12 kV for systems with nominal voltage 15 kV AC.

In order to facilitate stable operation in weak power supply networks prEN 50388 says that trains shall be equipped with an automatic device that adapts the level of the power consumption depending on overhead voltage. There is given a figure (1) that illustrates the maximum limits of the train current. Compared to today's rolling stock, the curve gives significant restrictions for power consum.

As I understand the Norwegian locomotive drivers, an overhead voltage of 13-13,5 kV is what they consider as minimum when heading a heavy freight train. Any lower voltage does often result in reduced acceleration and speed, hence then a delay compared to the timetable. As you know there is several high mountains in Norway that must be climbed by the trains. But still then mean useful voltage, as defined, is above 15 kV.

And here is the mismatch I not understand. International standards give minimum allowable train voltage. But the values are much lower than what the drivers consider as a minimum without getting delayed with today's locomotives. Introducing automatic current limiting in future locomotives as described will, as I understand, even if the voltage requirements is satisfied, delay the trains even more. prEN 50388 point 7.2 is not really a requirement to rolling stock, but an even harder requirement to the power supply. Am I right?

As a locomotive expert I hope you can tell me if a voltage according to the standards really is reducing the locomotive tractive effort so much that delays will occur? I would also be much interested in getting some information on the considerations that were used to define  $U_{min1} = 12$  kV and  $U_{meanuseful} = 13,5$  kV.

Your comments on these issues would be much appreciated. However, if you are not able to comment on them, please let me know.

With Best Regards  
Steinar Danielsen



## Epost 2 – Svar

Dear Mr. Danielsen,

as promised I send you an answer concerning your questions about the co-ordination of voltage between infrastructure and vehicles according to prEN 50388 and EN 50163.

I hope I can contribute to the clarification of the issue with the following considerations:

- prEN50388 and EN 50163 have to be considered together, as you have seen also. 50163 gives mainly simple dimensioning criteria by very few values, whereas 50388 was built on all system aspects which are necessary not only to guarantee good operation, but also (as far as this can be done by a standard) an overall economic system design.
- It is also important to know that 50388 is primarily defined in view of today's and future projects, and may not always be applicable in retrospective, e.g. for old tap changer or phase angle controlled locomotives
- Figure 7.2 mainly addresses aspects of network stability (on supply frequency). Theoretically, a train could draw maximum power out of the line at half of the supply voltage (i.e. about 8 kV in your and our system). However, it is a fact that trains which do not reduce their power at low voltage, may cause rapid changes or even oscillations of the line voltage (and power) in weak networks. This effect depends on the gradient of the  $dP/dU$  limitation (feedback loop). Therefore, this limitation starts now already at 14.25 kV (for 16.7-Hz systems), especially in view of the (partially) weak systems in Sweden and Norway. Note that the line impedance is part of the same feedback loop:  $U \rightarrow P \rightarrow U$ .
- In a system with one train, a train equipped with such a power limitation function simply reduces its power when the voltage drops, e.g. on long feeding sections. At 13 kV it will have available still about 60% of its maximum power, and about 75% at 13.5 kV. However, power does not automatically limit the tractive effort ( $P = v \cdot F$ ). This will happen only at higher speeds. This means that also heavy trains can always apply full tractive effort, at least at a lower speed. If delays in the train run will occur under these circumstances (e.g. on long mountain slopes as in Norway or Switzerland), the power supply should be designed to hold higher voltages.
- The main purpose of the limitation function according to fig. 7.2 is to prevent a complete breakdown of the power supply in certain areas. If all trains are equipped with the function, the power will be more or less evenly distributed between the trains. This is not possible with a simple line current limitation (as used in many trains today).
- Umean-useful is mainly a criterion for the dimensioning of the infrastructure. The value of 13.5 kV (14.2 kV for high speed) is co-ordinated

with the considerations above: if the power supply is strong enough to guarantee this value for scheduled operation, none of the trains will strongly come into power limitation. The limitation to lower power will then occur only during emergency cases (e.g. one substation out). It is interesting that the Norwegian train drivers come to the same conclusion on what a "useful" voltage is!

- Umean-useful gives a minimum quality standard for interoperable lines. If this would lead to significant train delays, the power supply shall be designed stronger (e.g. on long mountain slopes as in Norway or Switzerland).

- There still remains the freedom of capacitive power factor (in traction) and inductive power factor (in braking), which is not prescribed in detail in 50388. This is a possibility to optimise the interface power supply - train especially on weak networks, by controlling the line voltage at the pantograph of the train. To my knowledge, EL 18 has both, and the new IORE locomotives (Kiruna) and most modern trains in Sweden have the latter.

According to these considerations, the dimensioning of the infrastructure should not be much different from the previous rules. New with 50388 is mainly, that all the necessary measures are well co-ordinated.

I hope that these explications are useful for you. Please do not hesitate to contact me by phone (+41 79 460 61 49). I will be out next Monday, but available the days after.

With best regards  
Markus Meyer

### **Epost 3 – Tilleggsspørsmål**

Dear Dr. Meyer

Thank you for a comprehensive and interesting answer. However, there is still something that I am not sure I understand. Reduced voltage shall cause decreased tractive effort given by Figure 7.2. At a supply voltage of 13.5 kV, the maximum power consumption should be 69 % (Note that Figure 7.2 has current as function of voltage and has to be recalculated to power as function of voltage).

I am not sure that more than an 30-40 % reduction in tractive effort does not have an affect on the trains possibility to follow scheduled timetable. For a freight train this of course depends on the relation between locomotive capacity and freight load, and this again in proportion to the infrastructure characteristics (slopes, tunnels etc) and timetable (speed, stops etc). Those parameters give the momentary and mean power demand. What parameters where considered when deciding Umean-useful = 13.5 kV?

When Norwegian drivers say that 13-13.5 kV is a minimum voltage (actually they say that when driving both a tap-changer locomotive and a phase angle controlled locomotive where power consumption is less voltage dependent than given in Figure 7.2), I am not sure that they define what useful voltage is in the same way as prEN 50388. The driver considers the voltage as too low when there is not enough power available to run on scheduled speed and

time. One or two situations where acceleration or climbing slopes are necessary during low voltage, can, as I understand, for single track disturb the schedule.

The standard defines  $U_{\text{mean-useful}}$  for a train as average voltage in traction mode for a given geographical zone and a given time period (peak traffic), but do not explain how the zone and period should be chosen. It is not impossible to choose zone and period so the required  $U_{\text{mean-useful}}$  is satisfied, but still there are a lot of possibilities to get delayed. To ensure useful voltage for the driver, the zone and period should be very small. But when decreasing the period to a minimum (half a minute, 10 seconds, one second?) the required 13.5 kV approaches a minimum momentary voltages ( $U_{\text{min1}}$ ) which EN 50163 requires as 12 kV. (At 12 kV the power consumption should be reduced to 25 %.)

I am not sure, but I think that a minimum momentary voltage maybe should be between 13 and 13.5 kV. Depending on what circumstances that are considered when working on prEN 50388, maybe the infrastructure in Norway is rather different and thus can defence a stronger requirement for voltage than the standards do. Do you know what voltages that is allowed/considered as too low in Switzerland?

I would much appreciate and look forward to your comments on this.

With best regards  
Steinar Danielsen

#### **Epost 4 – Utdypende svar**

Dear Mr. Danielsen,

coming back to the discussion about  $U_{\text{mean-useful}}$ , I try to add the following considerations.

The concept of  $U_{\text{mean-useful}}$  is just a minimum requirement, not a design criterion. As  $U_{\text{mean-useful}}$  is defined for the worst location under heaviest traffic, the voltage will be much better for all other types of operation and regions in a network. However, every infrastructure owner has the freedom to install a stronger power supply, especially if negative consequences on the timetable would be the consequence otherwise. The requirement of  $U_{\text{mean-useful}}$  shall just prevent infrastructure owners to install too weak power supply.

In Switzerland, the power supply is very strong. In normal operation, the voltage very rarely drops below 14 kV. Normal voltage is 15.5 to 16 kV, even under medium to heavy traffic. The 13.5 kV are reached in some special points of the network (e.g. Luino in Italy, one single-side fed end point of SBB's network), for heavy freight trains only.

The difference between  $U_{\text{mean-useful}}$  and  $U_{\text{min1}}$  is that between normal operation (the simulation done for the former is for normal operation, the value for the latter in contingency cases, e.g. outage of a substation).

Within the expert group of WG C11, there were many many discussions about the right value of  $U_{\text{mean-useful}}$ . Obviously, there is no "scientifically" clear value which can be set, as you have recognised also. So the value

is set to have not too much power drop (max. about 1/3), but being far enough from  $U_{min1}$  and  $U_{min2}$ .

As far as the current or power limitation curve is concerned: many new locomotives will reduce the power in a linear way between  $a \cdot U_n$  and  $U_{min2}$ , and not the current, just for practical reasons in the control realisation (the torque is controlled, not the power). In my opinion, both realisations would satisfy EN 50388.

I hope this could contribute to the clarification of the questions.

With best regards  
Markus Meyer

## VEDLEGG 2 PARAMETERE FOR MODELL MED LOKOMOTIV

!!!! Tittel: EG3100 med 1200 tonn lastvekt. Redusert effektuttak  
!!!! Filnavn: EG3100\_1200\_S.train  
!!!! Ansvarlig: SD Dato: 2004-11-15  
!!!! Kontrollert av: Dato:  
!!!! Beskrivelse: EG3100 med 1200 tonn lastvekt. Redusert effektuttak ihht  
til prEN 50388:2004 final Draft pkt 7.2  
!!!! Arvet fra:  
!!!!  
!!!!Filnavn: eg3100re.txt  
!!!!Ansvarlig: FrJ Dato: 08.06.2001  
!!!!Beskrivelse: EURO-lokomotiv fra SIMEMENS. EG3100. Last vekt 1200 tonn.  
!!!!Lokomotivmasse: 132tonn. Maks trekkmasse bekreftet av NSB Gods.  
!!!!Revidert 01.06.22. Ansvarlig FrJ. ENDRET FVTRAINMAX. PUSUPPLYLIM OG FIU SAMT TATT BORT  
FUSUPPLYLIM  
!!!!Revidert 01.11.29. Ansvarlig FM. Inkludert FUSUPPLYLIM for å få modellen til å gå med AT  
system  
!!!!Forslag 02.01.17. Ansvarlig FrJ Reduserer PUSUPPLYLIM slik at toget drar mindre effekt  
!!!!ved lav spenning  
!!!!Revidert 14.02.02 FM endret pusupplylim for å gi en mykere overgang ved spesielt lave og  
høye spenninger  
!!!!Revidert 03.11.2004 08:37 SD endret pusupplylim for å gi spennings avhengig effekt i  
henhold til  
!!!!"Final Draft pr EN50388:2004" Dvs betydelig redusert effektopptak ved lave spenninger  
f.eks ved utfall  
!!!!av omformere.

```
ASYNCTRAIN EG3100_1200_S
{
  DYNAMASS 1418
  MASS 1332
  ADHMSS 132
  MAXSPEED 140
  SPEEDMSORT KM/H
  SLENGTH 615
  MCDIST 307
  CRO 6.38
  CRI 55
  CRMIN 56
  RRA 13.36538
  RRB 9.639E-2
  RRC 4.498E-3
  !!!! RRSTART 0.
  ADH1 7.5
  ADH2 44.
  TC 0.5
  UNOM 15.
  PAUXB 0.100
  PFAUXB 0.90
  PAUXT 0.
  PFAUXT 0.8
  PO 0.007
  ACCREFV
  {
    0.0 A 0.5 R 0.45 ;
    140.0 A 0.5 R 0.45 ;
  }
  FIU
  {
  !!!! 9.0 FIMOT 0.0 FIBRAKE 0.0 ; Orginal tabell
  !!!! 16.5 FIMOT 0.0 FIBRAKE 0.0 ;
  !!!! 17.0 FIMOT 0.0 FIBRAKE -25.8 ;
  !!!! 17.25 FIMOT 0.0 FIBRAKE -25.8 ;
  !!!! 18.00 FIMOT 25.8 FIBRAKE -25.8 ;
  }
}

FVTRAINMAX
{
  !!!! 0.0 FMOT 400 FELBRAKE 240 EFF 45 ; Orginal tabell
  !!!! 10. FMOT 400 FELBRAKE 240 EFF 62 ;
  !!!! 40. FMOT 400 FELBRAKE 240 EFF 79 ;
  !!!! 45. FMOT 400 FELBRAKE 240 EFF 82 ;
  !!!! 140. FMOT 400 FELBRAKE 240 EFF 82 ;
}

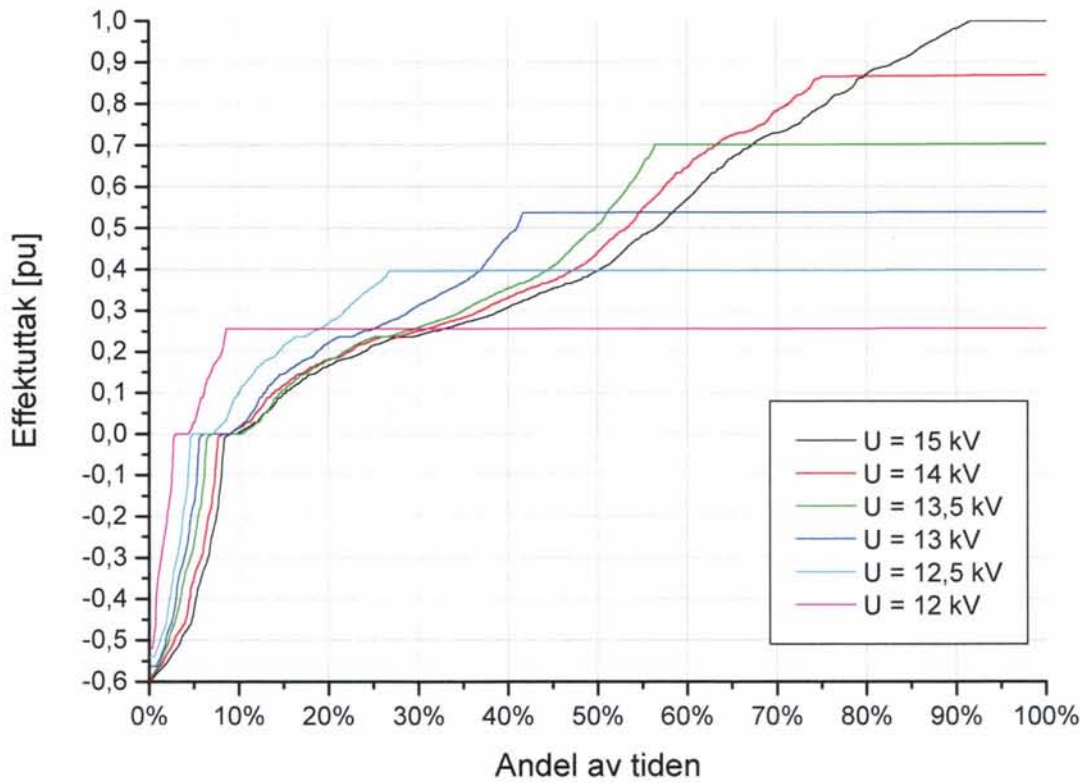
TRAINLIMIT1 23.45E3
TRAINLIMIT2 140.0
PUSUPPLYLIM
```

```
{
!!!! 9.9  PMOT  0.0  PELBRAKE  0.0  ; Original tabell
!!!! 10.0 PMOT  0.1  PELBRAKE  0.0  ;
!!!! 11.0 PMOT  0.1  PELBRAKE  6.50 ;
!!!! 12.0 PMOT  1.95 PELBRAKE  6.50 ;
!!!! 13.0 PMOT  4.22 PELBRAKE  6.50 ;
!!!! 14.25 PMOT  7.53 PELBRAKE  6.50 ;
!!!! 15.0 PMOT  7.93 PELBRAKE  6.50 ;
!!!! 17.0 PMOT  7.93 PELBRAKE  6.50 ;
!!!! 17.1 PMOT  7.93 PELBRAKE  0.0  ;
!!!! 18.0 PMOT  7.93 PELBRAKE  0.0  ;
!!!! 18.1 PMOT  0.0  PELBRAKE  0.0  ;
}
```

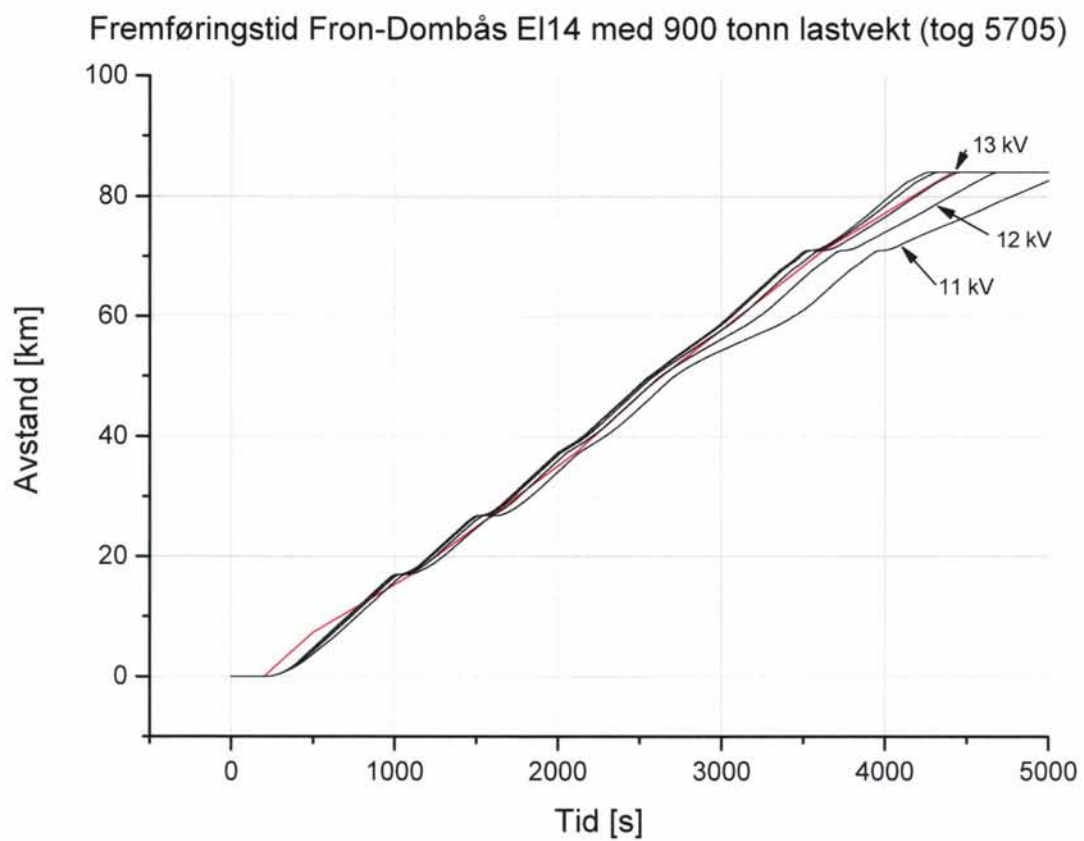
FUSUPPLYLIM

```
{
9.9  FMOT  400.0 ;
13.5 FMOT  400.0 ;
18.0 FMOT  400.0 ;
}
```

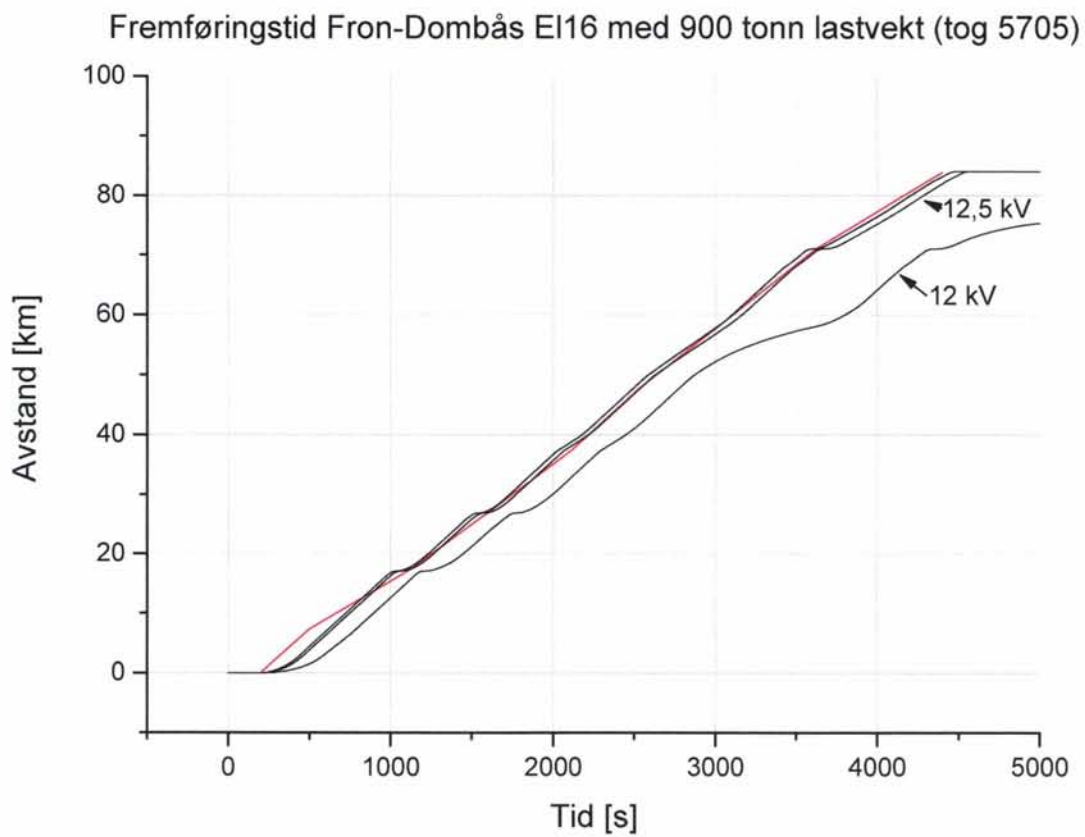
### VEDLEGG 3 VARIGHETSKURVE FOR EFFEKTUTTAK FOR STILISERT SIMULERING AV TOG 5705



## VEDLEGG 4 FREMFØRINGSTID TOG 5705 MED EL14 OG EL16



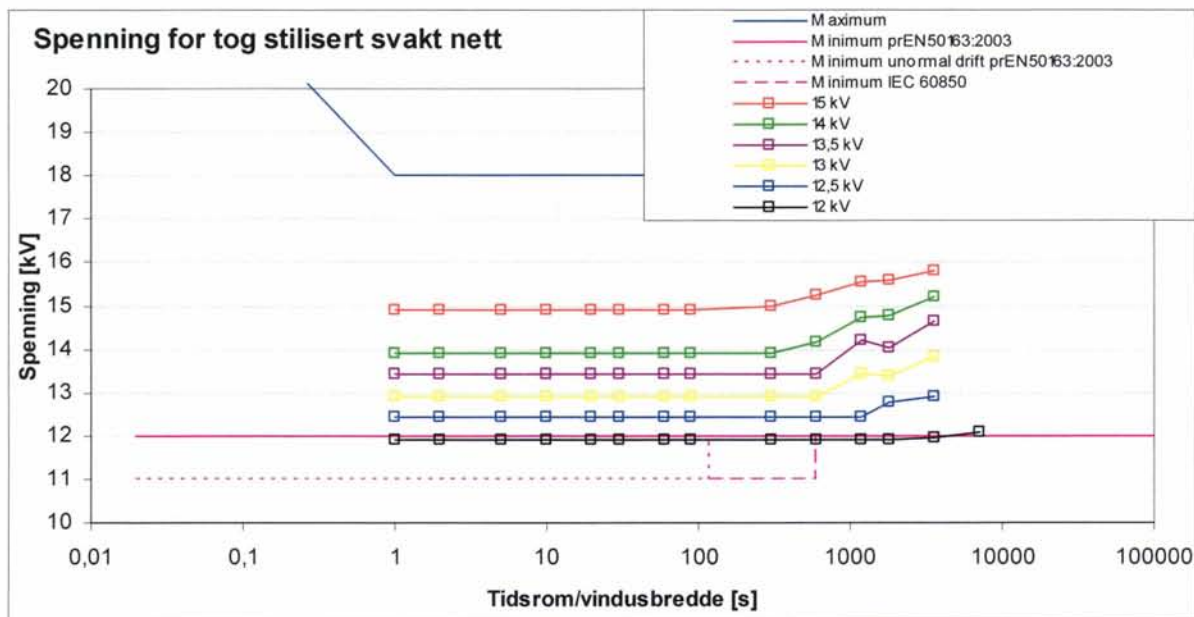


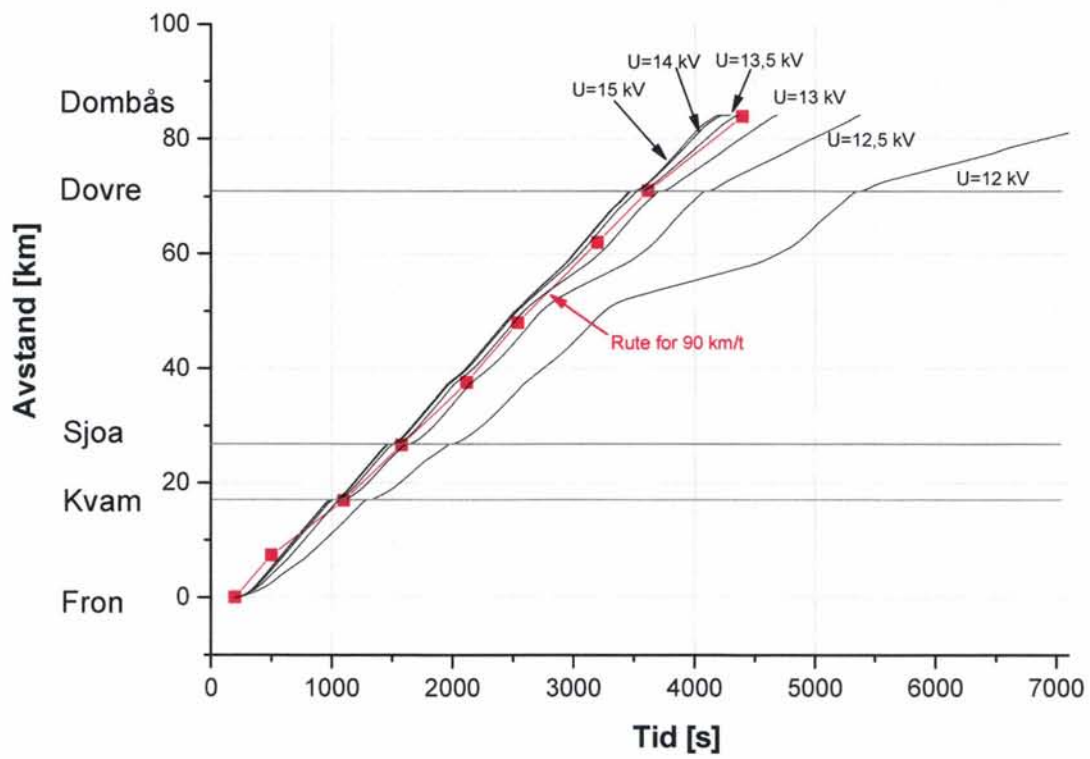


## VEDLEGG 5 FREMFØRINGSTID TOG 5705 MED EG 3100 OG SVAKT NETT

For å få et inntrykk av hvor mye varierende spenning har å si for fremføringstiden er modellen benyttet i kapittel 3 utvidet til å kunne gi varierende stivhet på spenningen. Kontaktledningsimpedansen mellom Fron og Dombås er fremdeles tilnærmet null, men mellom matepunkt og Fron er det lagt inn en kontaktledning med impedans  $0,157 + j0,198 \Omega/\text{km}$ . Lengden på denne kontaktledningsbiten varieres slik at spenningen på lokomotivet kan begrenses til en ønsket og bestemt verdi ut i fra hvilken effekt lokomotivet har lov til å trekke ved de ulike spenningene (se tabell 3-1). Spenningsnivåene er valgt lik det som er studert i tilfellet i kapittel 3.

Nedenfor vises spenningen på lokomotivet med tidsvektet varighetskurve for de ulike tilfellene. Nederst vises fremføringstiden grafisk. En ser de samme tendenesene til og grenseverdiene for forsinkelse som i figur 3-2.





## VEDLEGG 6 FORSINKELSER PÅ GRUNN AV BANESTRØMFORSYNINGEN

Dato	Tognr	Stasjon	Forsinkelse	Kommentar
03.02.03	773	Sandvatn	00:05	Pendling i Kjørestrøm
03.02.03	722	Sandvatn	00:05	Pendling i Kjørestrøm
05.03.03	3003	Sandnes	00:05	dårlig spenning
05.03.03	3002	Varhaug	00:09	dårlig spenning + x 3005
05.03.03	3014	Sandnes	00:05	Problemer med mating/lav spenning
05.03.03	3015	Ganddal	00:05	Problemer med mating/lav spenning
05.03.03	3017	Ogna	00:05	Problemer med mating/lav spenning
03.04.03	73	Lunde	00:06	Lav spenning
15.05.03	723	Ualand	00:42	strømløst , bryter i Egersund og Kielland omformer defekt. El.kraft måtte bemanne Sira omformer
26.05.03	601	Åmot	00:20	Spenningsløst
17.06.03	601	Bergheim	00:14	Feil på lok. pga. vareierende spenning
01.07.03	405	Brumunddal	00:22	kjørestrøm borte
01.07.03	5253	Losna	00:50	Mgl kjørestrøm fra Fåberg omfrom.
01.07.03	5716	Brøttum	00:35	kjørestrøm borte
01.07.03	5721	Fåvang	00:30	lite spenning
09.07.03	545	Gulskogen	00:07	Feil på kjørestrømmen
09.07.03	545	Gulskogen	00:07	Feil på kjørestrømmen
17.07.03	46	Berkåk	00:10	Variierende strømtilførsel.
17.07.03	3054	Hellvik	01:00	Dårlig spenning
17.07.03	3055	Hinna	00:17	Dårlig spenning
17.07.03	3056	Stavanger	00:00	
17.07.03	3057	Stavanger	00:32	Dårlig spenning
17.07.03	3058	Stavanger	00:14	Dårlig spenning
17.07.03	5808	Egersund	01:15	Telefonkjøring + kjørestrømmen
17.07.03	5808	Stavanger	00:10	Dårlig spenning
17.07.03	3050	Vigrestad	00:05	Dårlig spenning
17.07.03	3053	Vigrestad	00:05	Dårlig spenning
17.07.03	3058	Egersund	01:10	Dårlig spenning
17.07.03	5804	Egersund	00:40	Dårlig spenning, måtte holde toget
18.07.03	3772	Sandvika	00:00	Feil på kontaktledningsspenningen
25.07.03	776	Snartemo	00:09	Feil ved spenning
26.07.03	776	Snartemo	00:09	Feil ved spenning
07.08.03	3025	Stavanger	00:04	Ganddal omformer delvis utkoplet pga vedlikehold
07.08.03	3024	Egersund	00:08	Ganddal omformer delvis utkoplet pga vedlikehold
07.08.03	3028	Stavanger	00:05	Ganddal omformer delvis utkoplet pga vedlikehold
07.08.03	3029	Stavanger	00:04	Ganddal omformer delvis utkoplet pga vedlikehold
07.08.03	3032	Stavanger	00:05	Ganddal omformer delvis utkoplet pga vedlikehold
07.08.03	3037	Vigrestad	00:05	Ganddal omformer delvis utkoplet pga

Dato	Tognr	Stasjon	Forsinkelse	Kommentar
				vedlikehold
07.08.03	3042	Egersund	00:04	Ganddal omformer delvis utkoplet pga vedlikehold
09.08.03	5724	Nypan	01:52	hele dovreb. strømløs
27.08.03	3012	Egersund	00:11	dårlig spenning. Fra ca: kl.09.00 og utover til kl.13.00 store forsinkelser pga planlagt vedlikehold på Ganddal omformer. Dårlig/vanskelig spenning for Bm 72 -sett.
28.08.03	522	Mjøndalen	00:04	Omformerfeil
05.09.03	3019	Stavanger	00:04	variabel spenning
08.09.03	76	Neslandsvatn	00:06	Dårlig spenning
13.09.03	308	Lillestrøm	00:08	Feil med kjørestrom
13.09.03	1008	Lillestrøm	00:09	Feil med kjørestrom
13.09.03	1610	Lillestrøm	00:25	Feil med kjørestrom pga. kortslutning Nordstrand
13.09.03	3722	Lillestrøm	00:21	Feil med kjørestrom
13.09.03	3724	Lillestrøm	00:06	Feil med kjørestrom
17.09.03	3035	Stavanger	00:05	Dårlig spenning. (Bane Energi ga beskjed) + X 3036 (72008 gikk på 3 motorer)
17.09.03	3038	Egersund	00:04	Ujevn spenning
24.09.03	3019	Stavanger	00:07	Dårlig spenning
24.09.03	3020	Sandnes	00:05	Dårlig spenning
24.09.03	3021	Stavanger	00:07	Dårlig spenning
26.09.03	5507	Dale	00:20	Dale omformer kjørt ut
01.10.03	43	Fron	00:30	Spenningsløst
10.10.03	606	Ustaoset	00:09	Dårlig spenning
14.10.03	5507	Finse	00:25	Dårlig spenning, utfall av omformer
15.10.03	606	Vikersund	00:12	Dårlig spenning
16.10.03	5507	Bergen	00:10	dårlig spenning, tungt tog
17.10.03	5507	Ustaoset	00:33	Lav KL-spenning
28.10.03	3035	Stavanger	00:04	dårlig spenning
13.11.03	3015	Ganddal	00:05	Dårlig spenning
13.11.03	3014	Sandnes	00:05	Dårlig spenning
13.11.03	3017	Varhaug	00:05	Dårlig spenning
25.11.03	76	Krekling	00:11	strømløst
05.12.03	45	Brumunddal	00:05	Dårlig spenning
05.12.03	47	Lillehammer	00:05	Lagt på seg (Dårlig spenning)
06.12.03	5804	Hønefoss	06:37	Strømløst i Hønefoss
06.12.03	5808	Hønefoss	06:11	Strømløst i Hønefoss
08.12.03	3004	Sandnes	00:04	Problemer med kjørestrom
08.12.03	3053	Sandnes	00:05	Dårlig spenning
12.12.03	3037	Stavanger	00:04	varierende spenning
12.12.03	3042	Egersund	00:04	varierende spenning
14.12.03	3102	Egersund	00:27	Kjørespenning + feil på fjernstyring Brusand - Egersund. Telefonkjøring.
14.12.03	3103	Stavanger	00:20	Kjørespenning/ test
14.12.03	3104	Egersund	00:05	Kjørespenningstest

Dato	Tognr	Stasjon	Forsinkelse	Kommentar
14.12.03	3104	Stavanger	00:05	Kjørespenning/ test
15.12.03	3008	Klepp	00:08	problemer med spenningen på Kl-anlegget
15.12.03	3012	Sandnes	00:05	problemer med spenningen på Kl-anlegget
17.12.03	5502	Mjølfjell	00:06	Dårlig spenning
18.12.03	3034	Sandnes	00:04	Variierende spenning
18.12.03	3038	Sandnes	00:04	Variierende spenning
22.12.03	3037	Stavanger	00:05	ujevn spenning
22.12.03	3040	Egersund	00:07	spenning ?????
22.12.03	3041	Stavanger	00:05	ujevn spenning
28.12.03	63	Sokna	00:16	Problemer med kjørestrømmen
06.01.04	3031	Stavanger	00:04	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3034	Egersund	00:13	Ujevn spenning/ glatt + omlagt X Ogna
06.01.04	3035	Stavanger	00:05	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3037	Stavanger	00:05	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3040	Egersund	00:07	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3041	Stavanger	00:05	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3042	Egersund	00:08	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3045	Stavanger	00:08	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3051	Stavanger	00:04	Ujevn spenning/ glatt
06.01.04	3062	Klepp	00:05	Ujevn spenning/ glatt
07.01.04	3095	Stavanger	00:04	Ujevn spenning/ glatt
07.01.04	3006	Sandnes	00:07	Ujevn spenning
07.01.04	3010	Nærbø	00:06	Ujevn spenning/ utkobling av motorer
07.01.04	3011	Stavanger	00:05	Ujevn spenning/ dører
07.01.04	3034	Ganddal	00:04	Ujevn spenning Sandnes - Ganddal
23.01.04	3029	Bryne	00:05	Dårlig spenning
26.01.04	3010	Nærbø	00:06	dårlig spenning og x tog 3013 Klepp
26.01.04	3035	Stavanger	00:04	ujevn spenning
28.01.04	3010	Stavanger	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	724	Forus	00:07	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3014	Nærbø	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3015	Nærbø	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3016	Stavanger	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3017	Egersund	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3018	Stavanger	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3019	Nærbø	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3023	Nærbø	00:00	Problemer med kjørestrømmen
28.01.04	3035	Klepp	00:04	Kjørestrømmen OK kl.11.15
29.01.04	3016	Bryne	00:05	Elendig kjørestrøm
29.01.04	723	Hinna	00:12	x 3020 og elendig kjørestrøm
29.01.04	3018	Ganddal	00:04	x 723 og elendig kjørestrøm
29.01.04	3019	Bryne	00:05	x 3016 og elendig kjørestrøm
29.01.04	3020	Klepp	00:08	x 3023 og elendig kjørestrøm
29.01.04	3021	Vigrestad	00:05	X 3016 og elendig kjørestrøm
31.01.04	77	Krekling	00:10	Feil med kjørestrømmen
06.02.04	3028	Sandnes	00:05	varierende spenning KL

Dato	Tognr	Stasjon	Forsinkelse	Kommentar
06.02.04	3034	Sandnes	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3035	Hinna	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3036	Hinna	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3037	Klepp	00:06	varierende spenning KL
06.02.04	3038	Klepp	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3040	Sandnes	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3042	Sandnes	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3044	Sandnes	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3046	Sandnes	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3055	Sandnes	00:05	varierende spenning KL
06.02.04	3057	Sandnes	00:05	varierende spenning KL
10.02.04	3014	Ganddal	00:05	Feil på spenningen
10.02.04	3034	Egersund	00:13	Feil på spenningen
10.02.04	3035	Stavanger	00:04	Feil på spenningen
10.02.04	3049	Stavanger	00:05	Feil på spenningen
11.02.04	3013	Stavanger	00:05	Ujevn spenning
11.02.04	3019	Stavanger	00:05	Ujevn spenning
12.02.04	3004	Egersund	00:04	Dårlig spenning
13.02.04	601	Reimegrend	00:25	Etter strøbrudd på
17.02.04	3010	Sandnes	00:05	problemer med kjørestrom
26.02.04	3095	Hinna	00:04	Problemer med kjørestrom
27.02.04	3032	Klepp	00:08	Store problemer med kjørestrommen
28.02.04	3018	Ganddal	00:05	Problemer med kjørestrommen og x 723
08.03.04	61	Hønefoss	00:26	omformer Drammen ute.
24.03.04	237	Movatn	00:08	Feil ved kjørestømmen
26.03.04	1034	Sørumsand	00:04	Lokfører meldte kjørestrom ute.
08.04.04	61	Asker	00:10	feil m/ kjørestrom
11.05.04	73	Grovane	00:06	Feil på Krossen Omformer
12.05.04	5503	Trolldalen	00:09	Omformer stopp
13.05.04	815	Galleberg	00:14	Feil med kjørestrom

## VEDLEGG 7 NØKKELTALL FOR FORSINKELSESKOSTNADER

Forsinkelseskostnader, gods			
[Kr.pr time og lastet vogn]	1,5 time	1,5-3,5 timer	3,5 timer
Vognlast	1 406	2 108	2 812
Systemtog	529	793	1 058
Kombi	1 058	1 588	2 166
Gjennomsnitt innenfor hvert intervall (tt:mm)	00:40	02:15	04:30

### Reiser over 50 km: fjerntog

Verdi av reisetid (kr/time)	Arbeidsreiser	Fritidsreiser	Forretningsreiser
Tog	118,00	81,00	155,00
Vekting av reisetidskomponenter	1,5	1,5	1,5

### Reiser under 50 km: lokaltog

Verdi av reisetid (kr/time)	Arbeidsreiser	Fritidsreiser	Forretningsreiser
Tog	50,00	31,00	138,00
Vekting av reisetidskomponenter	3,0	3,0	3,0

Samlet endring i reisetid pr trafikant finner en ved å multiplisere forsinkelsestiden for toget med satsene over (satsene for forsinkelsestid). For å regne ut forsinkelseskostnaden må en vite forsinkelsestiden, og antall reisende fordelt på arbeidsreiser, fritidsreiser og foretningsreiser.



## VEDLEGG 8 KOSTNADER VED ULIKE SPENNINGSKRAV

Estimerte kostnader for forskjellige spenninger i normal drift med konvensjonelt og AT-system der Dovrebanen fra Eidsvoll til Trondheim brukes som eksempel. En forutsetter en ruteplan med en togtrafikk som dagens eller mer, der alle lokomotiver trekker tog med maksimal lastvekt. Det vil si maksimalt av hva som er mulig med tilgjengelig trekraft, kurvatur etc.

Kostnaden for nye omformerstasjoner settes slik:

- 2 x 7,5 MVA kostnad settes til 70 mill kr og driftskostnader 2,2 mill kr/år
- 2 x 12 MVA kostnad settes til 100 mill kr og driftskostnader 2,5 mill kr/år
- 3 x 12 MVA kostnad settes til 144 mill kr og driftskostnader 3,7 mill kr/år

Prisen for konvensjonelt kontaktledningsanlegg med materiell- og arbeidskostnader er satt til 2,5 millioner kr/km. Byggleidelse, innmåling av spor, reiseutgifter og brakkerigg er inkludert og er satt til 0,3 mill kr/km. Når en skal estimere kostnader for AT-system tar en utgangspunkt i denne kostnaden og antar at en leder av typen 240 Al ekstra (eller mindre) utgjør 28 000 kr/km. For isolatorer regner en at dette koster 38.000 kr/km og at økning av antallet forårsaker endringer for materiellpris, arbeidskostnader og maskinkostnader, hver med en tredjedel. I tillegg må det trekkes fra kostnader for sugetransformatorer som ikke trenges i AT-system, disse kommer på 97 000 kr/km. Kostnader for autotransformatorer kommer i tillegg med en kostnad på 1 494 000 kr pr. stk. I [1] og [3] er disse kostnadene fremkommet.

Driftsutgifter for kontaktledningsanlegget anslås til å være den samme for konvensjonelt som for AT-system. Men vedlikehold av sugetransformatorer eller autotransformatorer i AT-system kan utgjøre en forskjell. I [1] er driftsutgiftene for sugetransformatorer satt til 1000 kr pr enhet, og med 3 km mellom dem blir utgiftene da 333 kr/km. For autotransformatorer med 3 eller 6 MVA ytelse var årlige driftsutgifter satt til 15 000 kr pr enhet og kostnadene pr km blir 1 500 kr/km. En ser kun på totale driftsutgifter for Jernbanen ikke interne kostnader mellom for eksempel regioner og Bane Energi.

### V8.1 Kostnader for konvensjonelt system for banestrømforsyning

#### V8.1.1 Spenning 14-15 kV for konvensjonelt anlegg

Antar at en må ha ca 40 km mellom alle omformere på hele strekningen, tidligere simuleringer i Hovedplan for Dovrebanen, se [2] antyder dette. Dermed må det etableres nye omformere på Losna, Hjerkin og Garli. Omformere på Rudshøgda og Otta må etableres som permanente omformere. Nye statiske omformere bygge på disse stedene i tillegg til Tangen, Fåberg, Fron, Dombås, Oppdal, Lundamo og Stavne. I dette kostnadsestimater ser en på ny omformer på Staven, selv om denne bare er noen år gammel. Dette forenkler systematikken i oppsettene. Til sammen blir det med dette nødvendig med 12 nye omformere og det antas at en ytelse på 2 x 7,5 MVA er nødvendig.

Beskrivelse av kostnader for investering	
12 Omformer stasjoner hver på 2 x 7,5 MVA	12 x 70 000 000
Kontaktledningsanlegg Komplett med sugetransformatorer	485 x 2 500 000

<b>Til sammen banestrømforsyning og kontaktledningsanlegg</b>	<b>2 052 500 000</b>
Planlegging, administrasjon og byggleidelse 10 %	205 250 000
Diverse uforutsett 15 %	307 875 000
<b><u>Til sammen m/ekstrakostnader</u></b>	<b><u>2 565 625 000</u></b>

<b>Beskrivelse av driftskostnader</b>	
Omformere	12 x 2 200 000
Sugetransformatorer	485 x 333
<b><u>Til sammen</u></b>	<b><u>26 561 500</u></b>

### V8.1.2 Spenning 13 – 13,5 kV for konvensjonelt anlegg

I henhold til simuleringer i forbindelse med Hovedplan kan det se ut som om spenningen på strekningene Dombås – Oppdal – Lundamo kommer mellom 12 og 13 kV nokså langvarig. Selv om lokomotivene (EG3100) det var simulert med hadde ikke den effektbegrensningen ved lave spenninger som er normert, ville det sannsynligvis forbedret spenningen noe om dette hadde vært implementert. Antagelig vil effektbegrensning etter norm EN 50388 forårsake at spenningen ikke kommer under 12,0 kV, for eksempel mellom Dombås – Oppdal - Lundamo. Derfor antas det at det også nå er nødvendig med nye omformere på disse strekningene. Bare på strekningen Fåberg – Fron antas det ikke nødvendig med ny omformer. Dermed er det behov for 11 nye omformerstasjoner.

<b>Beskrivelse av kostnader for Investering</b>	
<u>11 omformerstasjoner hver på 2 x 7,5 MVA</u>	11 x 70 000 000
<u>Kontaktledningsanlegg</u> Komplett med sugetransformatorer	485 x 2 500 000
<b><u>Til sammen banestrømforsyning og kontaktledningsanlegg</u></b>	<b><u>1 982 500 000</u></b>
Planlegging, administrasjon og byggleidelse 10 %	198 250 000
Diverse uforutsett 10 %	198 250 000
<b><u>Til sammen m/ekstrakostnader</u></b>	<b><u>2 379 000 000</u></b>

<b>Beskrivelse av driftskostnader</b>	
Omformere	11 x 2 200 000
Sugetransformatorer	485 x 333
<b><u>Til sammen</u></b>	<b><u>24 361 500</u></b>

### V8.1.3 Spenning 12 – 12,5 kV for konvensjonelt anlegg

For å kunne gi spenning mellom 12,0 og 12,5 kV er det nok ikke nødvendig med omformere på Hjerkin og Garli. Omformere trenges da på Tangen, Rudshøgda, Fåberg, Fron, Otta, Dombås, Oppdal, Lundamo og Stavne. En antar at for Oppdal og Lundamo omformere er det nødvendig med aggregater på 2 x 12 MVA, mens det på strekningene med ca 40 km til nabo omformerne i en eller begge retningene bare er nødvendig med 2 x 7,5 MVA. Altså er behovet 7 stasjoner med 2 x 7,5 MVA og 2 med 2 x 12 MVA aggregater.

Beskrivelse av kostnader for Investering	
<u>Omformer stasjoner hver på 2 x 7,5 MVA</u>	7 x 70 000 000 = 490 000 000
<u>Omformer stasjoner hver på 2 x 12 MVA</u>	2 x 100 000 000 = 200 000 000
<u>Kontaktledningsanlegg</u> Komplett med sugetransformatorer	485 x 2 500 000 = 1 212 500 000
<b>Til sammen banestrømforsyning og kontaktledningsanlegg</b>	<b>1 902 500 000</b>
Planlegging, administrasjon og byggleidelse 10 %	190 250 000
Diverse uforutsett 10 %	190 250 000
<b><u>Til sammen m/ekstrakostnader</u></b>	<b><u>2 283 000 000</u></b>

Beskrivelse av driftskostnader	
Omformere	7 x 2 200 000 2 x 2 500 000
Sugetransformatorer	485 x 333
<b><u>Til sammen</u></b>	<b><u>20 561 500</u></b>

### V8.1.4 Kostnader for å unngå feil i konvensjonelt anlegg og normal spenning 14 – 15 kV

#### V8.1.4.1 Utfall av en mateenhet og fortsatt normal spenning 14 – 15 kV

For å få samme spenning i normalsituasjon antas det at alle stasjonene må ha aggregater på 2 x 12 MVA istedenfor 2 x 7,5 MVA. Ekstrakostnadene blir dermed:

Beskrivelse av ekstra kostnader	
<u>Omformer stasjoner hver på 2 x 12 MVA</u>	12 x (100 000 000 -70 000 000)
<b>Ekstra til sammen</b>	<b><u>360 000 000</u></b>

#### V8.1.4.2 Utfall av en omformerstasjon og spenning ikke under 12,0 kV

Antar at om en hel omformerstasjon faller ut vil en med samme omformerytelse som i avsnitt V8.1.4.1 kunne opprettholde en spenning ikke lavere enn 12,0 kV. Samme kostnad som ovenfor.

### V8.1.5 Kostnader for å unngå feil i konvensjonelt anlegg og normal spenning 13 – 13,5 kV

#### V8.1.5.1 Utfall av en mateenhet og fortsatt normal spenning 13 – 14 kV

For å få samme spenning i normalsituasjon antaes det at alle stasjonene må ha aggregater på 2 x 12 MVA istedenfor 2 x 7,5 MVA. Ekstrakostnadene blir dermed:

Beskrivelse av ekstra kostnader	
<u>Omformer stasjoner hver på 2 x 12 MVA</u>	12 x (100 000 000 -70 000 000)
<b>Ekstra til sammen</b>	<b><u>360 000 000</u></b>

#### V8.1.5.2 Utfall av en omformerstasjon og spenning ikke under 12,0 kV

Antar at om en hel omformerstasjon faller ut vil en med samme omformerytelse som i avsnitt V8.1.5.1 vil kunne opprettholde en spenning ikke lavere enn 12,0 kV. Samme kostnad som ovenfor.

### V8.1.6 Kostnader for å unngå feil i konvensjonelt anlegg og normal spenning 12 – 12,5 kV

#### V8.1.6.1 Utfall av en mateenhet og fortsatt normal spenning 12 – 12,5 kV

For å få samme spenning i normalsituasjon antaes det at alle stasjonene må ha aggregater på 2 x 12 MVA istedenfor 2 x 7,5 MVA. Ekstrakostnadene blir dermed:

Beskrivelse av ekstra kostnader	
<u>Omformer stasjoner hver på 2 x 12 MVA</u>	7 x (100 000 000 -70 000 000)
<b>Ekstra til sammen</b>	<b><u>210 000 000</u></b>

#### V8.1.6.2 Utfall av en omformerstasjon og spenning ikke under 12,0 kV

Antar at om en hel omformerstasjon faller ut ikke kunne greie å opprettholde spenning på over 12,0 kV.

## V8.2 Kostnader for AT-system

En legger her kostnader til grunn for AT-system med negativ- og positivleder med mulighet for stor avstand mellom omformerne, om lederne kan henges høyt opp i masten. Dermed kan en få dobbeltsidig mating for mye av det arbeidet som normalt gjøres på kontaktledningen. Her ser en på kostnader for det alternativet som en har kalt seksjonert AT-system, som forutsettes å ha samme egenskaper som AT-system med strømbalansetransformator (CUS). I dette oppsettet har en få forutsetninger for å kunne vurdere hvilke avstander mellom omformere som vil gi spenninger innenfor de tre nivåene. Rene antagelser legges til grunn, og en gjør antagelser om nødvendig tverrsnitt av negativ- og positivleder bare for situasjonene med normal drift.

### V8.2.1 Spenning 14 – 15 kV for AT-system

For å få spenning i dette området trenger en ikke å gjøre antagelser da simuleringer [2] viser at med tre eller fire omformere på Dovrebanen vil en kunne få denne spenningen. For fire omformere er sett på enkle ledere av typen 240 Al. Teknisk/økonomiske betraktninger viser at tre omformere og AT-system med doble ledere for negativ- og positivleder av type 150 Al, kan være mer optimalt enn fire omformere. Med tre omformere blir det ca 160 km avstand mellom dem. Om dette ut fra andre systembegrensninger er tilfredsstillende må vise seg i senere arbeid.

Materialkostnadene for 4 x 150 Al ledere, blir etter regnemåten i [[3]] der en tar utgangspunkt i konvensjonelt kl-anlegg med dobbel returleder og legger til to ekstra ledere;  $2 \cdot 200\,000 - 2 \cdot 28\,000 + 4 \cdot 0,70 \cdot 28\,000 = 2\,222\,400$  kr/km, der hver leder på 240 Al som ikke skal være med koster 28 000 kr/km og det er antatt at de fire lederne med 150 Al koster 30 % mindre for hver. Utgangspunktet for å beregne kostnader for isolatorer var at det kun er en isolator pr. mast, for tilfele med fire isolatorer pr mast antar en at materialprisen øker fire ganger, arbeidskostnadene økes med 40 % og at maskinkostnadene blir de samme. Det er vanlig å sette hvert av disse tre elementene til en tredjedel hver. Kostnadene blir dermed  $(1/3 \cdot 4 \cdot 38\,000 + 1/3 \cdot 1,4 \cdot 38\,000 + 1/3 \cdot 38\,000) = 81\,100$  kr/km. For dette AT-systemet forutsettes det høyere master (9,5 m) som er satt til en ekstrakostnad på 47 500 kr/km. Byggleidelse 300 000 kr/km kommer i tillegg. Det må også trekkes fra kostnader for sugetransformator som ikke skal være med på 97 000 kr/km. Til sammen kommer kostnaden da på 2 554 000 mill kr/km for selve kontaktledningsanlegget. Oljeisoleret autotransformatorer i kiosk på bakken med en ytelse på 3 MVA som ble funnet tilstrekkelig i [[1]], koster 1 103 000 kr/stk. Til sammen er det behov for et antall på 50 enheter.

For å dimensjonere anlegget for normal drift antas det at aggregater på 2 x 12 MVA er tilstrekkelig. En ser da bare på dimensjonering med hensyn på normal driftsituasjon, det samme gjelder også valg av tverrsnitt for negativ- og positivleder.

Beskrivelse av kostnader for investering	
3 Omformer stasjoner hver på 2 x 12 MVA	3 x 100 000 000
<u>Nytt kontaktledningsnett for AT-system</u> Fundamenter, master, kontaktledning, negativ- og positivleder Autotransformatorer	485 x 2 554 000 50 x 1 103 000
<b>Til sammen banestrømforsyning og kontaktledningsanlegg</b>	<b>1 593 840 000</b>
Planlegging, administrasjon og byggleidelse 10 %	159 384 000
Diverse uforutsett 10 %	159 384 000
<b><u>Til sammen m/ekstrakostnader</u></b>	<b><u>1 912 608 000</u></b>

Beskrivelse av driftskostnader	
Omformere	3 x 2 500 000
Sugetransformatorer	485 x 1500

<b>Til sammen</b>	<b>8 227 500</b>
-------------------	------------------

### V8.2.2 Spenning 13 – 13,5 kV for AT-system

Antagelig kan en for Dovrebanen gå ned til bare to omformere om en skal tilfredsstille dette spenningskravet i normal drift. Anta at en da settet nominell avstand mellom omformerne til 200 km. Passende plassering for omformerne er ikke selvsagt, men anta at disse kan plasseres på Fron og Oppdal. Uansett er plasseringen ikke så interessant i denne sammenhengen. Det antas at omformerstasjoner på 2 x 12 MVA er tilstrekkelig.

En har ikke noe grunnlag for å si noe om nødvendig tverrsnitt av ledere, men en får anta at 2 x 240 Al for hver av negativ- og positivleder er passende for å tilfredsstille spenningskravet og heller ikke overbelaste lederne i normalt tilstand. Materialkostnadene for 4 x 240 Al ledere, blir etter den benyttede regnemåten der en tar utgangspunkt i konvensjonelt kl-anlegg med dobbel returleder med 2 x 240 Al og legger til to ekstra ledere;  $2 \cdot 200\,000 + 2 \cdot 28\,000 = 2\,256\,000$  kr/km, der hver leder på 240 Al koster 28 000 kr/km. Til dette kommer ekstra isolatorer med 81 100 kr/km og byggleidelse på 300 000 kr/km, høyere master til en ekstrakostnad på 47 500 kr/km. i tillegg til at det må trekkes fra kostnader for sugetransformator som ikke skal være med, til 97 000 kr/km. En finner da total kostnaden til 2 587 600 kr/km.

Beskrivelse av kostnader for investering	
<u>2 Omformer stasjoner hver på 2 x 12 MVA</u>	2 x 100 000 000
Nytt kontaktledningsnett for AT-system Fundamenter, master, kontaktledning, negativ- og positivleder Autotransformatorer	485 x 2 587 600 50 x 1 103 000
<b>Til sammen banestrømforsyning og kontaktledningsanlegg</b>	<b>1 510 136 000</b>
Planlegging, administrasjon og byggleidelse 10 %	151 013 600
Diverse uforutsett 10 %	151 013 600
<b><u>Til sammen m/ekstrakostnader</u></b>	<b><u>1 812 163 200</u></b>

Beskrivelse av driftskostnader	
Omformere	2 x 2 500 000
Sugetransformatorer	485 x 1500
<b><u>Til sammen</u></b>	<b><u>5 727 500</u></b>

### V8.2.3 Spenning 12 – 12,5 kV for AT-system

Med denne spenningen antas det at en kan forsyne hele Dovrebanen fra en omformer og at en velger ledere for negativ- og positivledere slik at de ikke kan overbelastes i normalsituasjon. En får anta et tverrsnitt på 2 x 300 Al er tilstrekkelig. En stor omformer på 3 x 12 MVA settes inn i regnestykket. Denne er satt til å koste 144 mill kr pr stk.

For å finne kostnaden for 2 x 300 Al tar en igjen utgangspunkt i konvensjonelt kl-anlegg og antar at 300 Al koster 30 % mer enn 240 Al. Regnestykket blir nå;  $2\ 200\ 000 - 2 \times 28\ 000 + 4 \times 1,3 \times 28\ 000 = 2\ 289\ 600$  kr/km. Så kommer de samme kostnadene som ovenfor for isolatorer, byggleidelse, høyere master, samt sugetransformatorer som må trekkes fra. Til sammen blir kostnadene nå 2 621 200 kr/km.

Beskrivelse av kostnader for Investering	
<u>En omformer stasjoner på 3 x 12 MVA</u>	144 000 000
<u>Nytt kontaktledningsnett for AT-system</u> Fundamenter, master, kontaktledning, negativ- og positivleder Autotransformatorer	485 x 2 621 200 50 x 1 103 000
<b>Til sammen banestrømforsyning og kontaktledningsanlegg</b>	<b>1 470 432 000</b>
Planlegging, administrasjon og byggleidelse 10 %	147 043 200
Diverse uforutsett 10 %	147 043 200
<b><u>Til sammen m/ekstrakostnader</u></b>	<b><u>1 764 518 400</u></b>

Beskrivelse av driftskostnader	
Omformer	1 x 2 500 000
Sugetransformatorer	485 x 1500
<b><u>Til sammen</u></b>	<b><u>3 227 500</u></b>

#### V8.2.4 Kostnader for å unngå feil i AT-system og normal spenning 14 – 15 kV

##### V8.2.4.1 Utfall av en mateenhet og fortsatt normal spenning 14 – 15 kV

For å få samme spenning ved utfall av en mateenhet som i normalsituasjon antas det at alle stasjonene må ha aggregater på 3 x 12 MVA istedenfor 2 x 12 MVA. Ekstrakostnadene blir dermed:

Beskrivelse av ekstra kostnader	
<u>Omformer stasjoner hver på 3 x 12 MVA</u>	3 x (144 000 000 -100 000 000)
<b>Ekstra til sammen</b>	<b><u>132 000 000</u></b>

##### V8.2.4.2 Utfall av en omformerstasjon og spenning ikke under 12,0 kV

Antar at om en hel omformerstasjon faller ut vil en med samme omformerytelse som i avsnitt V8.1.4.1 kunne opprettholde en spenning ikke lavere enn 12,0 kV. Samme kostnad som ovenfor.

## V8.2.5 Kostnader for å unngå feil i AT-system og normal spenning 13 – 13,5 kV

### V8.2.5.1 Utfall av en mateenhet og fortsatt normal spenning 13 – 13,5 kV

For å få samme spenning ved utfall av en mateenhet som i normalsituasjon antas det at alle stasjonene må ha aggregater på 3 x 12 MVA istedenfor 2 x 12 MVA. Ekstrakostnadene blir dermed:

Beskrivelse av ekstra kostnader	
Omformer stasjoner hver på 3 x 12 MVA	2 x (144 000 000 -100 000 000)
<b>Ekstrakostnader til sammen</b>	<b><u>132 000 000</u></b>

### V8.2.5.2 Utfall av en omformerstasjon og spenning ikke under 12,0 kV

Skal en kunne dimensjonere AT-systemet for å kunne takle utfall av en hel omformerstasjon må sannsynligvis tverrsnittet av negativ- og positivleder enten være svært stort eller en må øke spenningsnivået. Dette anses som urealistisk å kunne dimensjonere systemet for.

## V8.2.6 Kostnader for å unngå feil i AT-system og normal spenning 12 – 12,5 kV

Med kun en omformerstasjon på hele Dovrebanen vil feil i banestrømforsyningen som en her har sett på, sannsynligvis få store konsekvenser og urealistisk å dimensjonere for.

## V8.3 Oppsummering og kostnad på km

Nedenfor viser en oppstilling av kostnader avhengig av de forskjellige spenningskravene. Disse er regnet ut i kostnad pr. kilometer få å kunne sammenligne med andre banestrekninger.

	Krav til spenning [kV]	Kostnader totalt	Kostnader pr km [mill kr/km]
<b>AT-system</b>	14 – 15	<b><u>1 912 608 000</u></b>	3,944
	13,0 – 13,5	<b><u>1 812 163 200</u></b>	3,736
	12 – 12,5	<b><u>1 764 518 400</u></b>	3,638
<b>Konvensjonelt system</b>	14 – 15	2 565 625 000	5,290
	13,0 – 13,5	2 379 000 000	4,905
	12 – 12,5	2 283 000 000	4,707

## V8.4 Referanser

- [1] BanePartner på oppdrag fra Jernbaneverket Region Nord, *Hovedplan for Banestrømforsyningen på Dovrebanen, Fase 2*, 01.10.02
- [2] Banepartner på oppdrag fra Jernbaneverket Region Nord, *Simuleringsrapport Banestrømforsyningen på Dovrebanen, Fase 2*, 01.10.02
- [3] Jernbaneverket Utbygging Prosjektjenester på oppdrag fra Jernbaneverket Infrastruktur Premiss og utvikling Elkraft, *Autotransformator for norske forhold – Teknisk/økonomisk sammenligning av forskjellige konsepter for AT-system*, 09.03.04



## VEDLEGG 9 INNDATA FOR OG UTREGNING AV KOST/NYTTEVURDERING

Årlig energiforbruk		[GWh]	126	Sluttrapport Strekningsvise utviklingsplaner (inneholder tilleggsuttak for infrastruktur) Gjennomsnitt mellom dagens situasjon om delmål 2010 10 tog Oslo-Trh + nattogene, pluss 16 tog Oslo-Lillehammer gitt en vekt på 0,5
Antall tog	Godstog	[tog/døgn]	15	
	Persontog	[tog/døgn]	20	
Last/pass	Godstog	[lastbærere/tog]	40	
	Persontog	[passasjerer/tog]	200	
Forsinkelseskostnad	Godstog	[kr/lastbærer/time]	1058	
	Persontog	[kr/passasjer/time]	81	
Energipris		[kr/MWh]	257	
Nettleie		[kr/innstallert MVA/år]	0,0536	33,5 mill nettleie totalt i 2003, 5 % fastledd + 75 % effektledd, 500 MVA installert
Levetid		[År]	30	
Internrente		[%]	7	
Prisstigning		[%]	0	Tar ikke hensyn til denne
Restverdi			0	

### Konvensjonelt system

	12,0-12,5 kV	13,0-13,5 kV	14,0-15,0 kV	
Totale investeringskostnader	2283,0	2379,0	2565,6	Se vedlegg
Årlige driftskostnader	20,6	24,4	26,6	Se vedlegg
Kontaktledningstap %	6,3	4,0	4,0	6,3 % beregnet for dagens anlegg med dagens omformerplassering, de andre antatt
Kontaktledningstap	2,0	1,3	1,3	
Antall omformerstasjoner	9,0	11,0	12,0	Se vedlegg
Omformingstap %	8,0	10,0	10,0	Antatt 8 % for god sammenlagring og 10 % for varierende belastning
Omformingstap	2,6	3,2	3,2	
Nettleie	8,2	8,8	4,8	Se vedlegg
Forsinkelse per tog [min]	1,0	0,1	0,0	Se rapport
Forsinkelseskostnader godstog	4,0	0,3	0,0	
Forsinkelseskostnader persontog	2,0	0,2	0	
Investeringskostnader	2283	2379	2566	
Driftskostnader	255	302	330	
Tapskostnader	159	166	116	
Forsinkelseskostnader	74	6	0	
<b>Totalt</b>	<b>2772</b>	<b>2853</b>	<b>3011</b>	

### Autotransformatorsystem

	12,0-12,5 kV	13,0-13,5 kV	14,0-15,0 kV	
Totale investeringskostnader	1764,5	1812,2	1912,6	Se vedlegg
Årlige driftskostnader	3,2	5,7	8,2	Se vedlegg
Kontaktledningstap %	10,0	7,0	5,5	5,5 % beregnet for 160 km/omf, de andre antatt
Kontaktledningstap	3,2	2,3	1,8	
Antall omformerstasjoner	1,0	2,0	3,0	Se vedlegg
Omformingstap %	8,0	8,0	8,0	Antatt likt og jevnt belastet
Omformingstap	2,6	2,6	2,6	
Nettleie	1,9	2,6	3,9	Se vedlegg
Forsinkelse per tog [min]	1,0	0,1	0,0	Se rapport
Forsinkelseskostnader godstog	2,7	0,2	0,0	
Forsinkelseskostnader persontog	2,1	0,2	0	
Investeringskostnader	1765	1812	1913	
Driftskostnader	40	71	102	
Tapskostnader	96	92	102	
Forsinkelseskostnader	59	5	0	
<b>Totalt</b>	<b>1960</b>	<b>1980</b>	<b>2117</b>	

## VEDLEGG 10 REDUNDANS I ANDRE JERNBANETEKNISKE ANLEGG

For å få et kort inntrykk av hvaslags redundans som det er lagt opp til for de jernbanetekniske anleggene for de andre fagene i Jernbaneverket, er det i dette vedlegget satt opp en kort oversikt. Det er forsøkt å se overordnet på store sentrale systemer og komponenter.

### Signal

For konvensjonelle sikrings- og signalanlegg er strømforsyningen dublert. Primær strømforsyning skjer via bygdenettet og reserven skjer fra kontaktledningen.

Feil i sikrings- og signalanlegg på en fjernstyrt stasjon fører til at tog må kjøre med redusert hastighet (stoppe på halvdel av frie oversiktelige strekning foran, maksimalt 40 km/t). Ved hvert signal (innkjørsignal, utkjørsignal og blokksignal) må toget stoppe og lokomotivfører må kontakte togleder. Telefonkjøring kan praktiseres ved utfall av en til noen stasjoner, men ved mange stasjoner blir det fort uoversiktelig og vanskelig for togleder å ha kontrollen ettersom deteksjonen av belegg på sporfeltene også svikter. Telefonkommunikasjon og prosedyrer fungerer altså som backup. Avhengig av strekning og trafikkbelastning kan dette føre til fra enkelte forsinkelser til store forsinkelser.

Feil i sikrings- og signalanlegg på manuelt betjent stasjon fører til at tog på utsiden av stasjonen må stoppe og kontakte togekspeditor før innkjøring. Prosedyrer fungerer som backup. Dette kan imidlertid ta ekstra tid og avhengig av trafikkbelastningen kan forsinkelser oppstå.

Ved utfall av togledersentral har en ingen backup. I teorien kan en fremføre tog ved hjelp av telefonkjøring, men i praksis vil dette i svært mange tilfeller være tilnærmet umulig, det vil si stopp i togtrafikken. Kritiske komponenter i sentralen er normalt dublert og det finnes UPS for strømforsyningen.

Sikrings- og signalanleggene er bygd opp etter fail-safe-prinsippet. Det vil si at ved en feil i anlegget skal det gå til en sikker tilstand, det vil si signal "Stopp". Dersom et signal ikke vises der lokomotivfører skal forvente at dette vises, skal det forholdes som om signal "Stopp" vises.

### Tele

Telesystemet for kommunikasjon mellom trafikkstyring og tog er i normal drift lite i bruk. Systemene utgjør i stor grad en backup til signal- og sikringsanleggene, dog med mindre kapasitet i forhold til antall tog som kan fremføres samtidig. I dag har en normalt både togradio og blokktelefon som kommunikasjonskanaler.

Kommunikasjon mellom togledersentral og sikringsanlegg på stasjon går normalt over jernbanens interne telenett, men kan ved behov legges over modemforbindelse på det offentlige telenettet.

Kommunikasjon mellom trafikkstyrer på manuelt betjente linjer foregår normalt ved hjelp av linjetelefon eller signaltelegraf for utveksling av togmeldinger. Ved bortfall av denne primære kommunikasjonskanalen kan offentlig telenett benyttes sammen med spesielle prosedyrer. Dette medfører normalt ikke mye ekstraarbeid, og sett i sammenheng med at trafikkbelastningen på slike linjer normalt er lav medfører ikke det nødvendigvis forsinkelser.

Når, og hvis, GSM-R utvides til også å omfatte ERTMS vil dette systemet være kommunikasjonsbærer for trafikkstyringen. GSM-R-systemet bygges slik at ethvert sted langs linjen dekkes av to basestasjoner. Ved utfall av en basestasjon har en derfor likevel dekning. Ved utfall av to påfølgende basestasjoner vil en ha et område uten dekning, og tog vil ikke bli sluppet inn på denne strekningen uten at forhåndsregler tas. Forsinkelser i togframføringen må påregnes på samme måte som utfall av sikringsanlegg på stasjon. GSM-R operasjonssenter vil være like kritisk som en togledersentral.

På de fleste stasjoner finnes høytalertjeneste som informerer om toggangen. På enkelte stasjoner understøttes dette av informasjonsskjermer. Ved avvik i togdriften er slik tjeneste nyttig for informering av de reisende. Systemene har ikke backup og påvirker ikke direkte toggangen, men har gjerne innvirkning på om de reisende kommer seg med toget sitt eller ikke.

## Bane

På en enkelsporet bane er det svært sjelden at en kan si en har redundans i over- og underbyggingens komponenter. Ved utfall av en komponent (bro, fylling, sporveksel osv.) eller feil (skinnebrudd, utglidning, setninger osv.) er det svært sjelden en har omkjøringsmuligheter og stopp i trafikken er nødvendig. Ved delvis defekte komponenter eller ved redusert tilstand kan redusert hastighet brukes som virkemiddel som normalt kan føre til forsinkelse.

På en dobbelsporet strekning kan en ved bruk av overkjøringsløyper gå over til midlertidig drift. Dette er svært kapasitetsbegrensende og fører ofte til forsinkelser.

Etter hva en forstår dimensjonerer en stikkrenner for 50 års-flommen og underbygningen for øvrig for 100 års-frosten for overbygningsklasse K0 og K1 og ned til 10 års-frosten for klasse K5. Ved dimensjonering er skal det normalt legges til en sikkerhetsfaktor på 1,3.

## Oppsummering

Som en oppsummering på dette finner en at det er sjelden at det for systemer og store komponenter for de ulike anleggene benyttes redundans etter n-1 prinsippet. For togframføringen er ofte andre anlegg, prosedyrer og redusert fremføringshastighet backup, men da med innvirkning på toggangen. Kritiske anlegg/funksjoner er gitt redundans.

## VEDLEGG 11 BERGNING AV TOTAL NEDETID

Oslo-området pri 1

Ref	Utilgj. per enh.	Enhet	Antall enheter	Utilgjengelighet
1.3.2.1		44 stasjon	6	264
<b>SUM</b>	<b>4,981132075</b>	<b>mil</b>	<b>53</b>	<b>264</b>
2.3.2.1		44 stasjon	6	264
2.3.2.2		1 oslo-område	1	1
2.3.3.1		5 mil	53	265
2.3.3.2		22 stasjon	6	132
<b>SUM</b>	<b>12,49056604</b>	<b>mil</b>	<b>53</b>	<b>662</b>
3.3.2.1		0,85 stasjon	6	5,1
3.3.2.2		0,15 stasjon	6	0,9
3.3.2.3		0,04 mil	0	0
3.3.2.4		0,3 mil	53	15,9
3.3.3.1		0,1 roterende enhet	6	0,6
<b>SUM</b>	<b>0,424528302</b>	<b>mil</b>	<b>53</b>	<b>22,5</b>
4.2.2.1		0,15 stasjon	6	0,9
4.2.2.2		0,5 mil	53	26,5
4.2.2.3		0,0006 mil	53	0,0318
<b>SUM</b>	<b>0,517581132</b>	<b>mil</b>	<b>53</b>	<b>27,4318</b>

80 km mellom omf,  
2 omf i hver stasjon, kon bat.

Pri 1-3

	Utilgj. per enh.	Enhet	Antall enheter	Utilgjengelighet
1.3.2.1		44 stasjon	0	0
<b>SUM</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>mil</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2.3.2.1		44 stasjon	2	88
2.3.2.2		1 oslo-område	0	0
2.3.3.1		5 mil	8	40
2.3.3.2		22 stasjon	2	44
<b>SUM</b>	<b>21,5</b>	<b>mil</b>	<b>8</b>	<b>172</b>
3.3.2.1		0,85 stasjon	2	1,7
3.3.2.2		0,15 stasjon	2	0,3
3.3.2.3		0,04 mil	8	0,32
3.3.2.4		0,3 mil	8	2,4
3.3.3.1		0,1 roterende enhet	4	0,4
<b>SUM</b>	<b>0,64</b>	<b>mil</b>	<b>8</b>	<b>5,12</b>
4.2.2.1		0,15 stasjon	2	0,3
4.2.2.2		0,5 mil	8	4
4.2.2.3		0,0006 mil	8	0,0048
<b>SUM</b>	<b>0,5381</b>	<b>mil</b>	<b>8</b>	<b>4,3048</b>

Pri 4-5

	Utilgj. per enh.	Enhet	Antall enheter	Utilgjengelighet
1.3.2.1		44 stasjon	0	0
<b>SUM</b>	<b>#DIV/0!</b>	<b>mil</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2.3.2.1		88 stasjon	2	176
2.3.2.2		1 oslo-område	0	0
2.3.3.1		10 mil	8	80
2.3.3.2		44 stasjon	2	88
<b>SUM</b>		<b>43 mil</b>	<b>8</b>	<b>344</b>
3.3.2.1		1,7 stasjon	2	3,4
3.3.2.2		0,3 stasjon	2	0,6
3.3.2.3		0,08 mil	8	0,64
3.3.2.4		0,6 mil	8	4,8
3.3.3.1		0,2 roterende enhet	4	0,8
<b>SUM</b>		<b>1,28 mil</b>	<b>8</b>	<b>10,24</b>
4.2.2.1		0,3 stasjon	2	0,6
4.2.2.2		1 mil	8	8
4.2.2.3		0,0012 mil	8	0,0096
<b>SUM</b>		<b>1,0762 mil</b>	<b>8</b>	<b>8,6096</b>

## VEDLEGG 12 PROSJEKTFORSLAG OVERORDNET INFRASTRUKTUR TILGJENGELIGHET

Jernbaneverket har definert begrepet "god infrastruktur" i 1B-Ve Vedlikeholdsboken. Ulike krav til infrastrukturelementenes kvalitet stilles i Teknisk Regelverk, både prosjektering, bygging og vedlikehold. Samtidig har Jernbaneverket mål når det gjelder punktlighet.

Jernbaneverket mangler imidlertid en koordinering av disse målene/kravene gjennom overordnede strategier for hvor god infrastrukturen skal være. En har også liten oversikt over hvordan de ulike anleggene/komponentene bidrar til infrastrukturens totale tilgjengelighet, spesielt i forhold til pris. Det gjør det vanskelig å prioritere mellom fagområdene, banestrekningene og anleggene/komponentene. Et klart eksempel på dette er JL's manglende vedtak i forbindelse med behandlingen av "Fremtidig banestørforsyning".

Det bør derfor utarbeides "Krav til infrastrukturens tilgjengelighet" hvor følgende inngår:

- Definerings av begreper og utarbeidelse av metoder for å vurdere tilgjengeligheten, sette krav til og til slutt måle den
- Kartlegging av dagens tilgjengelighet
- Utarbeidelse av overordnet krav til infrastrukturens tilgjengelighet
- Utarbeidelse av overordnet nøkkel til fordeling av midler for bedring av tilgjengelighet mellom fagområdene
- Utarbeidelse av overordnet nøkkel til fordeling av midler for bedring av tilgjengelighet mellom banestrekningene (baneprioritet)
- Beskrivelse av hvordan fagmiljøene og banesjefene skal kunne vurdere tilgjengeligheten mer i detalj og prioritere deretter (eventuell samkjøring mot 1B-Ve)

Hensikten med "Krav til infrastrukturens tilgjengelighet" er:

- Klare mål for hvor god infrastrukturen skal være (styring av Jernbaneverket)
- Bedre kunne argumentere for nødvendige bevilgninger (både investering, fornyelse og vedlikehold)
- Klar prioritering av midler mellom fagområdene (bane, tele, signal og elkraft)
- Klar prioritering av midler mellom anleggene/komponentene
- Klar prioritering av midler mellom banestrekningene (baneprioritet)
- Klar prioritering av midler mellom kort og lang sikt
- Kunne love våre eiere, Samferdselsdepartementet, en gitt tilgjengelighet og kvalitet
- Kunne love våre kunder, togselskapene, en gitt tilgjengelighet, kvalitet og forutsigbarhet (bør tas inn i Sportilgangsavtaler/Network Statement)
- Bedre kunne stille riktige krav til anlegg og komponenter i Teknisk Regelverk
- På sikt kunne bedre kvaliteten og redusere kostnadene ved at en benytter midlene der de trengs for å samlet sett oppnå en mest mulig optimal infrastruktur
- Kunne inngå som et underlag for eventuelle fremtidige kompensasjonsordninger (jamfør regler for erstatning for manglende infrastruktur som er en del av EUs jernbanepakke 3)

Togselskap som ønsker å kjøre elektriske tog på det statlige jernbanenettet må godta "Jernbaneverkets standardvilkår for avregning av 16 2/3 Hz energi". Denne avtalen er i stor grad ensidig gjennom å stille krav til togselskapene fremfor Jernbaneverket. "Krav til infrastrukturens tilgjengelighet" vil gjøre Jernbaneverket i stand til å i denne avtalen også beskrive/love en kvalitet på energiforsyningen på lik linje med netteiere i Norge for øvrig er

forpliktet til gjennom "Kvalitetsforskriften" (som jernbane er unntatt fra). Togselskapene har lenge etterspurt krav til Jernbaneverkets leveranser i standardvilkårene.

Prosjektet er meget tverrfaglig. Det er sannsynlig at en i tillegg til mange tekniske vurderinger også må benytte en del samfunnsøkonomiske modeller og analyser. Ekspertise eksternt bør innhentes for å veilede og bistå prosjektet. Det antas at om en skal gjennomføre alt som beskrevet over, vil et år med arbeid ikke være tilstrekkelig. Kostnadsomfang er vanskelig å si sikkert nå. Det er mulig det kan være hensiktsmessig med et forprosjekt først.

Som medlemmer av prosjektet foreslås M, U, IT, IV, IS, IRx. Det ferdige produktet bør forankres som et styringsdokument i Jernbaneverket (1B-?). Det er usikkert hvem som bør gjennomføre dette (M, U, I?).

Når det gjelder definisjoner og metoder kan en med fordel samarbeide med andre infrastrukturforvaltninger slik at en får lik praksis innen området.







Jernbanelibret  
Biblioteket

JBV



09TU09611

102001