

<b>1</b>	<b>BANESTRØMFORSYNING .....</b>	<b>3</b>
1.1	Spenningsforhold og frekvens.....	4
1.1.1	Banestrømforsyningssystem .....	4
1.1.2	Impedans i kontaktledningsanlegget.....	4
1.1.3	Spenningsnivå.....	4
1.1.4	Minimum spenning .....	5
1.1.5	Maksimal spenning.....	5
1.1.6	Underspenningsvern .....	5
1.1.7	Korttids overspenninger .....	6
1.1.8	Overharmoniske spenninger i eksisterende anlegg .....	6
1.1.9	Lastavhengig fasevinkel for spenning.....	6
1.1.10	Frekvens .....	7
1.1.11	Dokumentasjon og test .....	8
1.2	Tilgjengelig effekt .....	8
1.2.1	Maksimum togstrøm.....	8
1.2.2	Krav til effektfaktor .....	9
1.2.3	Dokumentasjon og test .....	9
1.3	Tilbakemating av effekt .....	9
1.3.1	Dokumentasjon og test .....	11
1.4	Samordning av vernutløsning i matestasjonsanlegg og rullende materiell .....	11
1.4.1	Dokumentasjon og test .....	12
1.5	Pendlinger og stabilitet .....	13
1.5.1	Spenningsammenbrudd ved stor kontaktledningsimpedans.....	13
1.5.2	Pendlinger i rotors hastighet i roterende omformeraggregater.....	13
1.5.3	Krav til rullende materiell.....	15
1.5.4	Dokumentasjon og test .....	16
1.6	Inndata til togmodell for simulering av banestrømforsyningen .....	19
<b>2</b>	<b>TOGVARMEANLEGG .....</b>	<b>19</b>
2.1	System for tilkopling.....	19
2.2	Sammenkopling .....	20
<b>3</b>	<b>KONTAKTLEDNINGSANLEGG .....</b>	<b>20</b>
3.1	Materiale i kontakttråden.....	20
3.2	Kontakttråd høyder .....	20
3.2.1	Nominell kontakttråd høyde.....	20
3.2.2	Maksimal kontakttråd høyde.....	21
3.2.3	Minimum kontakttråd høyde .....	21
3.3	Kontakttråd høydeendring .....	21
3.4	Kontakttrådens maksimale avvik fra spormidt (vindutblåsning).....	23
<b>4</b>	<b>STRØMAVTAKER .....</b>	<b>24</b>
4.1	Typer av strømtakere .....	24
4.2	Materialvalg for slepekull .....	24
4.3	Strømtakerens vertikale arbeidsområde .....	24
4.4	Avstander mellom flere aktive strømtakere i samme tog.....	25
4.5	Autodroppfunksjon.....	25
<b>5</b>	<b>GRENSESNIITT MELLOM STRØMAVTAKER OG KONTAKTRÅD .....</b>	<b>25</b>
5.1	Statisk trykk.....	25
5.2	Strømtakerens maksimale avvik fra spormidt .....	26
5.2.1	Dokumentasjon av strømtakerens maksimale avvik fra spormidt .....	26
5.3	Aerodynamisk utbalansering .....	26
5.4	Krefter mellom strømtaker og kontakttråd .....	27
5.4.1	Grenseverdier for krefter mellom strømtaker og kontakttråd .....	27
5.4.2	Måling av krefter mellom strømtaker og kontakttråd .....	28
5.4.3	Simulering av krefter mellom strømtaker og kontakttråd.....	28
5.5	Fritt profil for strømtaker .....	29
<b>6</b>	<b>EMC .....</b>	<b>29</b>

<b>1</b>	<b><u>TRACTION POWER SUPPLY</u></b>	<b>3</b>
1.1	<u>Voltage variation and frequency</u>	4
1.1.1	<u>Traction power supply system</u>	4
1.1.2	<u>Catenary impedance</u>	4
1.1.3	<u>Voltage level</u>	4
1.1.4	<u>Minimum voltage</u>	5
1.1.5	<u>Maximum voltage</u>	5
1.1.6	<u>Undervoltage protection</u>	5
1.1.7	<u>Short-term overvoltages</u>	6
1.1.8	<u>Higher-order harmonic voltages in existing electrical infrastructure</u>	6
1.1.9	<u>Voltage phase angle variation with load</u>	6
1.1.10	<u>Frequency</u>	7
1.1.11	<u>Documentation and testing</u>	8
1.2	<u>Available power</u>	8
1.2.1	<u>Maximum train current</u>	8
1.2.2	<u>Power factor requirements</u>	9
1.2.3	<u>Documentation and testing</u>	9
1.3	<u>Regenerative power feedback</u>	9
1.3.1	<u>Documentation and testing</u>	11
1.4	<u>Co-ordinated function of protective relays in feeder stations and rolling stock</u>	11
1.4.1	<u>Documentation and testing</u>	12
1.5	<u>Oscillation and stability</u>	13
1.5.1	<u>Voltage collapse in case of large catenary impedance</u>	13
1.5.2	<u>Oscillation of rotor speed in rotating converters</u>	13
1.5.3	<u>Requirements for rolling stock</u>	15
1.5.4	<u>Documentation and testing</u>	16
1.6	<u>Input to train model for traction power supply simulation</u>	19
<b>2</b>	<b><u>TRAIN PRE-HEATING INSTALLATIONS</u></b>	<b>19</b>
2.1	<u>Connection systems</u>	19
2.2	<u>Connection</u>	20
<b>3</b>	<b><u>CATENARY</u></b>	<b>20</b>
3.1	<u>Contact wire materials</u>	20
3.2	<u>Contact wire height</u>	20
3.2.1	<u>Nominal contact wire height</u>	20
3.2.2	<u>Maximum contact wire height</u>	21
3.2.3	<u>Minimum contact wire height</u>	21
3.3	<u>Contact wire height alteration</u>	21
3.4	<u>Maximum contact wire displacement from centre of track (wind)</u>	23
<b>4</b>	<b><u>PANTOGRAPH</u></b>	<b>24</b>
4.1	<u>Types of pantographs</u>	24
4.2	<u>Collector strip materials</u>	24
4.3	<u>The pantograph's vertical operating range</u>	24
4.4	<u>The distance between multiple active pantographs on a train</u>	25
4.5	<u>Automatic lowering device</u>	25
<b>5</b>	<b><u>INTERFACE BETWEEN PANTOGRAPH AND CONTACT WIRE</u></b>	<b>25</b>
5.1	<u>Static contact force</u>	25
5.2	<u>Maximum pantograph displacement from the track centre line</u>	26
5.2.1	<u>Documentation for pantograph maximum displacement from the track centre line</u>	26
5.3	<u>Aerodynamic correction</u>	26
5.4	<u>Forces between pantograph and contact wire</u>	27
5.4.1	<u>Limiting values for forces between pantograph and contact wire</u>	27
5.4.2	<u>Measurement of forces between pantograph and contact wire</u>	28
5.4.3	<u>Simulation of forces between pantograph and contact wire</u>	28
5.5	<u>Gauge for pantograph</u>	29
<b>6</b>	<b><u>EMC</u></b>	<b>29</b>

## 1 BANESTRØMFORSYNING

Den elektriske energien til togfremføring blir i hovedsak omformet fra høyspent 3-fase 50 Hz til 1-fase 16 2/3 Hz av roterende eller statiske omformerenheter. 1-fasenettet blir på et par steder forsynt direkte fra kraftverk som produserer 16 2/3 Hz. Noen steder mates 1-fasenettet fra transformatorstasjoner som er tilkoblet høyspent fjernledning for 16 2/3 Hz.

Hele 1-fasenettet er normalt sammenkoblet. Dette er mulig fordi omformerstasjonene samkjører også på 3-fasesiden.

1-fasenettet kan seksjoneres enten ved hjelp av effektbryter i matestasjonsanlegg, koblingshus eller sonegrensebrytere eller ved hjelp av skillebrytere og lastskillebrytere som er fordelt rundt omkring i kontaktledningsanlegget. Midlertidig oppdeling av kontaktledningsnettet er nødvendig for å utføre ettersyn og vedlikehold og følgelig et normalt driftstilfelle.

Avstanden mellom omformerstasjonene er opp til 92 km. Lengste en-sidige mating i normal drift er 63 km.

1-fasenettet i Norge er generelt mye svakere enn ellers i Europa.

Roterende omformeraggregater består av en 3-fase synkronmotor og en 1-fase synkrongenerator som er satt sammen på en felles aksel. Roterende omformerenheter finnes med fire forskjellige merkeeffekter: 3.1, 5.8, 7.0 og 10 MVA. Roterende omformerenheter er fra merkeeffekt overbelastbar med ca. 40 % i 6 minutter og ca. 100 % i 2 sekunder.

Ved økende belastning øker fasevinkelen mellom inngående 3-fasespenning og generert 1-fasespenning betraktelig, se avsnitt "Lastavhengig fasevinkel for spenning. Dersom et tog forsynes fra 2 omformerstasjoner bidrar dette til å lede forbruket mot den omformerstasjonen som er minst belastet. Overskuddsenergi fra regenerativ bremsing leveres tilbake til 50 Hz nettet ved at fasevinkelen skifter retning.

Ved økende overbelastning opprettholdes generert spenning inntil omformeraggregatets

## 1 TRACTION POWER SUPPLY

The electrical traction power supply is mainly converted from high voltage 3-phase 50 Hz to single-phase 16 2/3 Hz supply by rotating or static converter units. In a few locations the single-phase network is fed directly from power stations or from transformer stations which are connected to dedicated parallel high voltage transmission lines for 16 2/3 Hz.

The entire single-phase network is normally interconnected. This is possible because converter stations are also interconnected through the 3-phase network.

It can be sectioned by circuit breakers in the feeder stations, switching posts or mid section coupling posts or by disconnectors and switch-disconnectors distributed within the catenary. Temporary sectioning of the catenary is necessary in order to do maintenance and is consequently a frequent mode of operation.

The distance between converter stations are up to 92 km. Longest distance with power supply only in one end is normally 63 km.

In general the Norwegian single-phase network is much weaker than in the rest of Europe.

Rotating converter units consists of a 3-phase synchronous motor and a single-phase synchronous generator mounted on a common shaft. Rotating converter units exist in 4 sizes of nominal apparent power: 3.1, 5.8, 7.0 and 10 MVA. Rotating converter units' loading may exceed the rated power by approximately 40 % for 6 minutes and approximately 100 % for 2 seconds. The phase angle between incoming 3-phase voltage and generated single-phase voltage increases considerably with increasing load, see section "Voltage phase angle variation with load". If a train is supplied from two converter stations, then this will contribute to assigning the load to the least loaded converter station. Excess energy from regenerative braking is returned to the 50 Hz network by changing the phase angle direction. During increasing overloading the generated voltage is maintained until the converter unit is

momentant frakoples helt.

Statiske omformerenheter finnes med merkeeffekter mellom 6.5 og 12.0 MVA. Ved økende belastning er de programmert til å etterligne roterende omformeraggregater med hensyn på forholdet mellom 3-fasespenningen og generert 1 fasespenning.

Noen statiske omformere kan sende overskuddsenergi fra regenerativ bremsing tilbake til 50 Hz-nettet eller brenne den av i motstander. Andre kan ikke motta regenerativ bremseenergi og denne blir da overført via kontaktledningen til samkjørende omformerstasjoner.

Ved overbelastning av statiske omformerenheter vil de gå i strømgrense og spenningen på utgangen blir redusert. Kortvarig innledningsvis er da generert spenning ikke sinusformet.

Omformestasjonenes merkeytelse varierer fra 1x3.1 MVA til 3x12.0 MVA. Antallet omformeraggregater i drift i hver omformerstasjon tilpasses døgnvariasjoner i strømforbruket.

## 1.1 Spenningsforhold og frekvens

### 1.1.1 Banestrømforsyningssystem

$U_n=15 \text{ kV}$ ,  $f=16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$

### 1.1.2 Impedans i kontaktledningsanlegget.

Typisk kontaktledningsimpedans regnes å være:  $Z_{KL,min} \approx 0,18 + j0,19 [\Omega/\text{km} (16 \frac{2}{3} \text{ Hz})]$ . Verdien varierer med lokale forhold og anleggets konstruksjon. Store deler av nettet har noe større impedans. Inntil 20 % større verdier må påregnes.

Opplysninger om kontaktledningsimpedansen for bestemte banetrekninger vil bli oppgitt av Jernbaneverket ved behov.

### 1.1.3 Spenningsnivå

Spenningen ved matestasjonsanlegg er normalt justert til 16.5 kV eller 16.5 kV med svakt fallende karakteristikk som funksjon av induktiv strøm. Ved utfall av omformerenheter i svakt dimensjonerte omformerstasjoner er det normalt

instantaneously disconnected.

Static converter units have nominal apparent power between 6.5 and 12 MVA. They are programmed to imitate rotating converter units with respect to the relationship between 3-phase voltage and generated single-phase voltage, during increasing load.

Some static converters may return excess energy from regenerative braking to the 50 Hz network or dissipate it in resistors. Others can not receive energy from regenerative braking and this energy will then be transferred on the catenary to interconnected converter stations.

When overloaded, the static converter units will reach the converter's current limit while the voltage at the secondary side will be reduced. Then for a brief introductory period, the generated voltage is not sine shaped.

The converter stations' nominal apparent power varies between 3.1 MVA to 3x12.0 MVA. Number of active converter units in each station is adapted to daily variation in powerdemand.

## 1.1 Voltage variation and frequency

### 1.1.1 Traction power supply system

$U_n=15 \text{ kV}$ ,  $f=16 \frac{2}{3} \text{ Hz}$

### 1.1.2 Catenary impedance

$Z_{KL,min} \approx 0.18 + j0.19 [\Omega/\text{km} (16 \frac{2}{3} \text{ Hz})]$  is considered the typical value for catenary impedance. The value varies depending on local conditions and the catenary construction. Large parts of the network have somewhat larger impedance. 20 % larger impedance must be reckoned with in some sections. Information about the catenary impedance for specific railway sections may be supplied by the NNRA if necessary.

### 1.1.3 Voltage level

The voltage at the feeder station is usually adjusted to 16.5 kV or 16.5 kV with a gently declining characteristic as a function of inductive current. If converter station total capacity is scarce because a converter unit is out of

lagt inn ytterligere spenningsreduksjon som funksjon av induktiv strøm.

Banestømforsyningen vil under normal driftssituasjon (i.h.t. definisjon pkt. 3.16 prEN 50163:2003) overholde krav til  $U_{\text{mean useful}}(\text{Zone})$  og  $U_{\text{mean useful}}(\text{train})$  for "conventional TSI lines and classical lines" gitt i avsn. 8 i prEN 50388:2004.

#### 1.1.4 Minimum spenning

- Klasse 1 - Minimum spenning: Minimum spenningsnivå ved utgangen på matestasjoner og på strømvaktakere er i henhold til  $U_{\text{min1}}$  og  $U_{\text{min2}}$  gitt av prEN50163:2001 for  $U_n=15$  kV ( $U_{\text{min2}}=11.0$  kV og  $U_{\text{min1}}=12.0$  kV)
- Klasse 2 - Minimum spenning: I henhold til spenningsklasse 1, men med  $U_{\text{min2}}=10.0$  kV og  $U_{\text{min1}}=11.0$  kV

Klasse 2 finnes på en del strekninger der det er lang avstand mellom banestømforsyningens innmatingspunkter. Hovedårsaken til spenningsreduksjonen er gammelt rullende materiell som ikke har en effektiv strømbegrensning som funksjon av spenningen på strømvaktakeren.

#### 1.1.5 Maksimal spenning

Maksimum spenningsnivå ved utgangen på matestasjoner og på strømvaktakere er  $U_{\text{max1}}$  og  $U_{\text{max2}}$  gitt av prEN50163:2004 for  $U_n=15$  kV. Jernbaneverket har ingen krav til lengde på tidsperiode "unspecified periode" beskrevet i underpunkt 4.1 f dersom spenningsøkningen forårsakes av regenerativ bremsing. Dette innebærer at et tog kan generere spenning inntil  $U_{\text{max2}}$  kontinuerlig ved regenerativ bremsing.

#### 1.1.6 Underspenningsvern

Underspenningsvern i matestasjonsanlegg er normalt innstilt på 10 kV. Underspenningsfrakopling i rullende materiell skal være innstilt på i mellom 85% og 95 % av  $U_{\text{min2}}$  i henhold til anbefaling i prEN50163:2004,

service, a further current reduction as a function of inductive current is usually added.

The traction power supply will under normal operating conditions (in accordance with the definition in section 3.16 in prEN 50163:2004) comply with the requirements for  $U_{\text{mean useful}}(\text{Zone})$  and  $U_{\text{mean useful}}(\text{train})$  for conventional TSI lines and classical lines given in section 8 of prEN 50388:2004.

#### 1.1.4 Minimum voltage

- Class 1 – Minimum voltage: Minimum output voltage level at the feeder stations and at pantographs is in accordance with  $U_{\text{min1}}$  and  $U_{\text{min2}}$  given by prEN50163:2001 for  $U_n=15$  kV ( $U_{\text{min2}}=11.0$  kV and  $U_{\text{min1}}=12.0$  kV)
- Class 2 – Minimum voltage: According to class 1 but using  $U_{\text{min2}}=10.0$  kV and  $U_{\text{min1}}=11.0$  kV

Class 2 can be found at sections of the track where the distances between traction power supply feeding points are long. The reason for the voltage reduction is older rolling stock, which do not have an efficient current limitation as a function of the pantograph voltage.

#### 1.1.5 Maximum voltage

Maximum output voltage level at feeder stations and at the pantographs is in accordance to  $U_{\text{max1}}$  and  $U_{\text{max2}}$  given by prEN50163:2004 for  $U_n=15$  kV. The Norwegian National Rail Administration does not have any requirements for the unspecified period in item 4.1 f, if the increased catenary voltage is caused by regenerative braking of rolling stock. This implies that a train may continuously generate voltage up to  $U_{\text{max2}}$  during regenerative braking.

#### 1.1.6 Undervoltage protection

Undervoltage protection in feeder stations is usually set to 10 kV. Undervoltage disconnection of rolling stock must be set between 85% and 95 % of  $U_{\text{min2}} = 11.0$  kV as recommended in prEN50163:2004, section 4.1, Note 2.

punkt 4.1, Note 2.

**1.1.7 Korttids overspenninger**

Korttids overspenninger skal være i henhold til krav i EN 50124-2.

**1.1.8 Overharmoniske spenninger i eksisterende anlegg**

Rullende materiell må fungere tilstrekkelig når kontaktledningsspenningen er som beskrevet nedenfor. Grenseverdier for overharmonisk støy fra rullende materiell er spesifisert annet sted i dette dokumentet.

Nivået på THD (total harmonic distortion) for kontaktledningsspenningen kan være opp til 0.3, eller noe høyere, hvor:

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

U<sub>1</sub>= Grunnharmonisk spenning.  
n = Forskjellige overharmoniske,  
n = 2, 3, 4, ...

Størrelsen på de forskjellige overharmoniske spenningene, når THD<sub>U</sub> = 0.17 og U<sub>1</sub> = 1.0, kan antas å være i henhold til følgende tabell:

Overharmoniske	1	3	5	7	THD
Spenningsnivå	1.0	0.15	0.08	0.02	0.17

Størrelsene på de overharmoniske spenningene for THD<sub>U</sub> = 0.3 kan antas å være direkte proporsjonel med THD<sub>U</sub> 0.17. Høyere overharmoniske spenninger eksisterer, først og fremst 9'ende, men disse er relativt små.

De ovenfor spesifiserte overharmoniske spenninger kan ha alle mulige vinkler.

**1.1.9 Lastavhengig fasevinkel for spenning.**

Ved økende last øker omformeraggregatenes polhjuls vinkel og dermed fasevinkelen for generert 1-fasespenning relativt spenningen i

**1.1.7 Short-term overvoltages**

Short-term overvoltages are supposed to be according to the requirements in EN 50124-2.

**1.1.8 Higher-order harmonic voltages in existing electrical infrastructure**

Rolling stock must be able to function satisfactory when the catenary voltage is as described below. Limiting values for higher-order harmonic distortion from rolling stock are specified under another section of this document.

Catenary voltage THD (total harmonic distortion) level may approach 0.3 or somewhat larger where:

$$THD_U = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

U<sub>1</sub>= Fundamental harmonic voltage.  
n = Various higher-order harmonics  
n = 2, 3, 4, ...

The magnitude of the various higher-order harmonic voltages for THD<sub>U</sub> = 0.17 and U<sub>1</sub> = 1.0, may be anticipated to be in accordance with the following table:

High-order harm.	1	3	5	7	THD
Voltage level	1.0	0.15	0.08	0.02	0.17

The magnitude of the higher-order harmonic voltages for THD<sub>U</sub> = 0.3 may be anticipated to be directly proportional to THD<sub>U</sub> 0.17. Higher-order harmonic voltages exist, mainly the 9<sup>th</sup> harmonic, but these are relatively small.

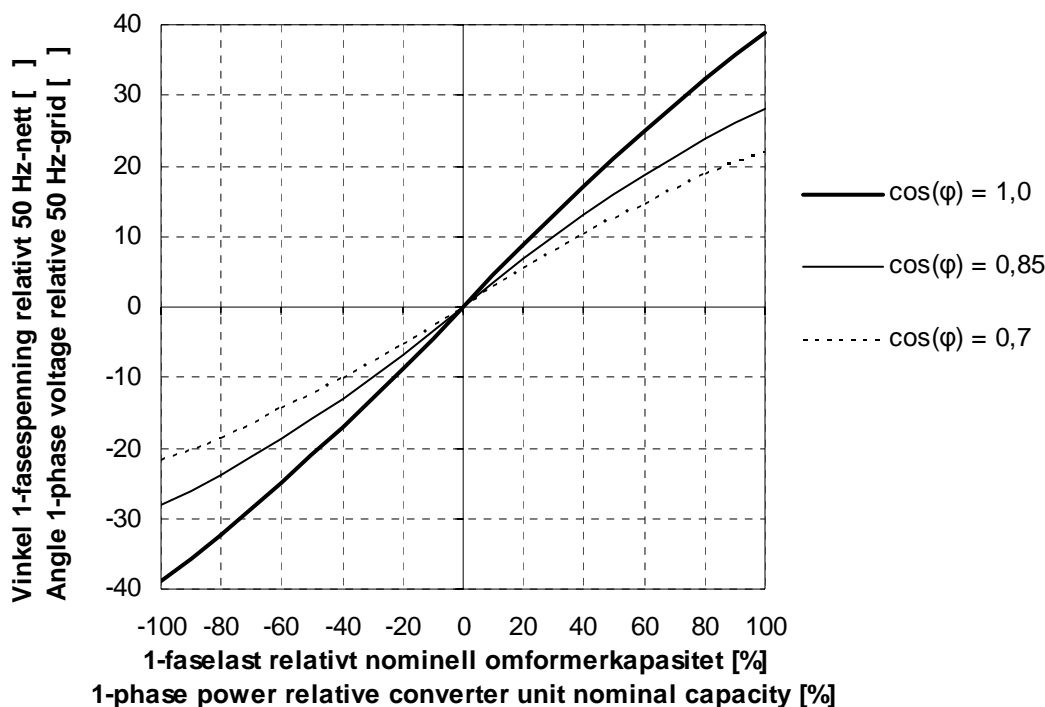
The harmonics specified above may have all possible angles.

**1.1.9 Voltage phase angle variation with load.**

During increasing load the converter units' power angle and thus the phase angle for generated single-phase voltage relative the

forsyningsnettet vesenlig. Figur 1 viser dette for 10 MVA omformeraggragater. 5,8 MVA omformeraggragater har ca. 10 % større fasevinkel ved samme relative belastning.

voltage in the distribution grid increase considerably. Figur 1 shows this for 10 MVA converter units. 5.8 MVA converter units have approximately 10 % larger phase angle for the same relative load.



Figur 1 Fasevinkel 1-fasespenning relativt 3 fasespenning for 10 MVA roterende omformeraggregat.

Figure 1 Phase angle single-phase voltage relative to 3-phase voltage for 10 MVA rotating converter units.

Mens aggregatet endrer polhjulsvinkel vil, tiltakende med hvor hurtig endringen er, både spennings steilhet og 0-gjennomgang forskyves i forhold til ideell sinus. Ved økende avstand til omformerstasjonen vil spennings fase variere enda mer med lasten grunnet kontaktledningens induktive impedans.

While the unit change power angle, the voltage's steepness and crossing through zero will, increasing with the speed of change, be displaced related to an ideal sine. By increasing the distance to the converter station, the voltage's phase will vary even more with the load due to the catenary's inductive impedance.

1.1.10 Frekvens

1.1.10 Frequency

Banestrømforsyningens spenning har en frekvens på 16 2/3 Hz. Frekvensen er synkron med det norske 3-fasenettet og er normalt 16 2/3 Hz +/-0,033 Hz og ved spesielle situasjoner 16 2/3 Hz +/-0,166 Hz.

The traction power supply frequency is 16 2/3 Hz. The frequency is synchronous with the Norwegian 3-phase network and is usually 16 2/3 Hz +/-0.033 Hz. Under special conditions it is 16 2/3 Hz +/-0.166 Hz.

Synkron frekvens er innenfor grensen for frekvensvariasjon gitt av prEN 50163:2004,

Synchronous frequency is within the variation given by prEN50163:2004, section 4.2.

avsn. 4.2.

### 1.1.11 Dokumentasjon og test

Spenningsnivå på rullende materiell skal testes i henhold til EN 50215, punkt 9.15. Test av spenningsnivå skal utføres på et representativt område av aktuelle driftsstrekninger og skal gjøres for aktuelle driftssituasjoner som akselerasjon, retardasjon, slire-/glidevernsinngrep og tilbakemating.

## 1.2 Tilgjengelig effekt

Det rullende materiellets ytelse skal tilpasses de leveringsbetingelser matestasjonene har på den enkelte strekning samt de belastninger som genereres av annet materiell som trafikkerer nettet. Stedlige begrensinger for effektuttak vil kunne gis ved utarbeidelse av hver enkel ruteplan.

Alle togstammer skal utrustes med en løsning med automatisk strømbegrensning som funksjon av spenning på strømvaktaker i henhold til prEN 50388:2004, punkt 7.2.

### 1.2.1 Maksimum togstrøm

Banestrømsforsyningen er delt i følgende klasser for maksimum togstrøm fra en togstamme ( $I_{max}$ ):

- Klasse 1 –  $I_{max} = 700$  A
- Klasse 2 –  $I_{max} = 900$  A
- Klasse 3 –  $I_{max} = 1200$  A

$I_{max}$  angir maksimum togstrøm som tillates på en strekning for en togstamme som har automatisk strømbegrensning som funksjon av spenning på strømvaktakeren i henhold til pkt. 2.2. Uttak av strøm på  $I_{max}$  vil på enkelte strekninger kunne gi spenninger godt under krav i prEN50163:2003 selv uten andre tog på strekningen dersom spenningsavhengig strømbegrenser ikke er virksom.

For eldre materiell uten installert strømbegrensning må  $I_{max}$  vurderes i hvert enkelt tilfelle.

Dersom en togstamme kan overskride  $I_{max}$  for

### 1.1.11 Documentation and testing

Rolling stock voltage level must be tested according to EN 50215, section 9.15. Voltage level testing must be carried out in a area representative of probable sections of operation and must be applied to probable operating conditions such as acceleration, retardation, activation of wheel slip and slide protection and regenerative power feedback.

## 1.2 Available power

The apparent power of the rolling stock must be adjusted to the individual section's feeder station supply requirements and to the load generated by other rolling stock running on the network. Local power collection limits may be given when timetables are prepared.

All trains are required to be equipped with a solution for automatic current limitation as a function of the pantograph voltage, according to prEN 50388:2004, section 7.2.

### 1.2.1 Maximum train current

The traction power supply is divided into the following classes of maximum train current from one complete train ( $I_{max}$ ):

- Class 1 –  $I_{max} = 700$  A
- Class 2 –  $I_{max} = 900$  A
- Class 3 –  $I_{max} = 1200$  A

$I_{max}$  denotes maximum train current allowable for a train, which is equipped with automatic current limitation as a function of the pantograph voltage according to section 2.2. Voltages well below prEN50163:2003 requirements may occur when collecting  $I_{max}$  on some sections, even when no other rolling stock is present in the section, unless voltage dependent current limitation is in operation.

For older rolling stock without installed current limitation  $I_{max}$  must be considered in every individual case.

If a train can exceed  $I_{max}$  for the given section it



aktuell strekning skal togstammen utrustes med en strømvelger i henhold til prEN 50388:2004, punkt 7.3 som begrenser  $I_{max}$ . Infrastrukturen i Norge er ennå ikke utrustet med løsninger for automatisk overføring av  $I_{max}$ . Innstilling av strømvelgeren for begrensnings av  $I_{max}$  kan derfor foreløpig gjøres manuelt.

### 1.2.2 Krav til effektfaktor

Minimum gjennomsnittsverdi på induktiv effektfaktor for rullende materiell for spenning mellom  $U_{min1}$  og  $U_{max1}$  (definert i prEN50163:2003) skal være i henhold til prEN 50388:2004, tabell 1, kolonne for "classical lines". Lavere verdier kan vurderes akseptert for eldre materiell. For lave effektuttak tillates induktiv effektuttak på opptil 100 kVar.

Kapazitiv effektfaktor skal være i henhold til prEN 50388:2004, punkt 6.3. Kapazitiv effekt ved tilbakemating skal i tillegg begrenses til maksimum 60 kVar.

### 1.2.3 Dokumentasjon og test

Dokumentasjon på automatisk strømbegrensning som funksjon av spenningen kreves før prøvekjøring tillates.

Automatisk strømbegrensning som funksjon av spenning skal dokumenteres ved testkjøring som typetest.

Testing av effektfaktor skal gjøres i henhold til pkt. 13 og 14 i prEN 50388:2004. Det skal i tillegg vises at kapazitiv effekt ved regenerativ bremsing er begrenset til maksimum 60 kVar.

## 1.3 Tilbakemating av effekt

Normalt vil det meste av tilbakematet effekt fra rullende materiell bli opptatt av andre tog. De fleste roterende og noen statiske omformerstasjoner har muligheten til å mate tilbake effekt til 3-fasenettet. Noen statiske omformerstasjoner har igjen utrustning som kan brenne av noe tilbakematet effekt, mens andre statiske omformerstasjoner ikke har noen mulighet til å ta imot tilbakematet effekt fra 1-

must be equipped with a current selector according to prEN 50388:2004, section 7.3 which limits  $I_{max}$ . Norwegian infrastructure is not yet equipped with solutions for automatic transfer of  $I_{max}$ . Setting the current selector to limit  $I_{max}$  can thus for the time being be done manually.

### 1.2.2 Power factor requirements

Minimum average value for rolling stock inductive power factor for voltage between  $U_{min1}$  and  $U_{max1}$  defined in prEN50163:2003, must be according to prEN 50388:2004, table 1, column for classical lines. Allowing lower values might be considered for older rolling stock. For small power outputs, inductive power outputs up to 100 kVAr are allowed.

Capacitive power factor must be according to prEN50388:2004, section 6.3. Capacitive power from regenerative power feedback must additionally be limited to maximum 60 kVar.

### 1.2.3 Documentation and testing

Before trial runs are allowed, documentation for automatic current limitation as a function of voltage is required.

Automatic current limitation as a function of voltage must be documented through test runs as type test.

Power factor testing must be carried out according to prEN 50388:2004 section 13 and 14. In addition, it must be shown that reactive power feedback during regenerative braking is limited to maximum 60 kVar.

## 1.3 Regenerative power feedback

Normally, most of the regenerative power from rolling stock will be consumed by other trains. Most of the rotating converters and some static converters may feed power back to the 3-phase network. Some static converter stations are fitted with equipment to burn some regenerative power, while some static converter stations can not receive power feedback from the single-phase network at all. In these stations the

fasenettet i det hele tatt. Energien blir i disse stasjonene "skjøvet" videre ved å vri på spenningens fase.

Midlertidig oppdeling av nettet kan føre til store begrensninger i og også fullstendig bortfall av 1-fasenettets mulighet til å ta opp tilbakematet effekt. Rullende materiell må fungere også når dette er tilfelle

Restriksjonene i tilbakematet effekt under er satt med hensyn til kontaktledningens termiske kapasitet og vern på utgående linjeavgangers mulighet til å detektere en kortslutning samtidig som rullende materiell mater tilbake effekt.

Den elektriske energiforsyningen tillater følgende maksimumsverdier for tilbakematet effekt fra ett tog:

- Ofofbanen: 8 MW
- Resten av landet: 5 MW

Jernbaneverket kan etter vurdering heve restriksjonene på delstrekninger ved konkrete ønsker om trafikk og bruk av rullende materiell.

Det tillates ikke at det mates tilbake effekt med kapasitiv effektfaktor.

Begrensning av tilbakematet effekt for strekningen skal skje automatisk (eller ved strømvælger nevnt i pkt. 1.2.1).

Dersom det kan dokumenteres tilfredsstillende løsninger i rullende materiell som automatisk stopper tilbakemating fra toget ved kortslutning i den tilgrensende seksjonen kan restriksjonene på grunn av vernenes mulighet til deteksjon opphøre.

Krav til regenerativ bremsing i prEN 50388:2004 skal følges. Rullende materiell skal ikke fortsette å mate tilbake effekt dersom krav til maksimalspenning gitt i prEN 50163:2003 overskrides. Det er ikke satt noen krav til lengde på tidsperiode "unspecified periode" beskrevet i underpunkt f) til tabell 1 i prEN 50163:2003 ved tilbakemating.

Tilbakematet effekt kan på enkelte strekninger begrenses av ikke-elektriske årsaker. Se blant annet kap. 3, pkt. 1.6.4 vedrørende sporets

energy is "pushed" forward by shifting the phase angle.

Temporary sectioning of the network may to a large extent reduce or completely disable, the single-phase network's ability to absorb regenerative power feedback. Rolling stock must function satisfactorily also when regenerative power feedback is not possible.

The limits for regenerative power underneath are set with regard to the catenary's thermal capacity and with regard to allowing the protection for outgoing lines to detect a short-circuit while rolling stock feed back regenerative power simultaneously.

The electric power supply allows the following maximum values for power feedback from a train:

- The Ofofbanen line (to Narvik): 8 MW
- The rest of the country: 5 MW

The NNRA may after consideration, remove the restrictions on sections of the network in response to specific requests for traffic or use of rolling stock.

It is not allowed to feed back power having capacitive power factor.

Power feedback limiting for a section must be automatic (or by a current selector mentioned in item 1.2.1)

If satisfactory solutions in rolling stock, which automatically stop power feedback from the train when short-circuit occur in the adjoining section, can be documented the restrictions can be lifted due to the protection's ability to detect short-circuits.

Requirements for regenerative braking in prEN 50388:2004 must be followed. Rolling stock must not continue to feed back power if the requirements for maximum voltage given by prEN 50163: 2003 are exceeded. No requirement for the duration of unspecified period described in EN 50163, table 1, subsection f) is given for regenerative power feedback.

Regenerative power feedback may in some sections be limited by non-electrical reasons. See for instance chapter 3, section 1.6.4

lengdeforforskyvningsmotstand.

### 1.3.1 Dokumentasjon og test

Testing av regenerativ bremsing skal gjøres i henhold til prEN 50388:2004, pkt. 13 og 14.

Anordning/prosedyre for begrenning av maksimum tilbakematet effekt i henhold til oppgitt informasjon skal dokumenteres.

Tester med relevans mot infrastrukturen spesifisert i EN 50215:1999, punkt 9.3.1.5 skal gjennomføres.

### 1.4 Samordning av vernutløsning i matestasjonsanlegg og rullende materiell

Subtransient kortslutningstrøm er for Jernbaneverkets infrastruktur maksimalt 25 kA.

Før en 15 kVs linjeavgang spenningssettes sjekkes linjen for feil via en prøvemotstand på 640 ohm. Dersom linjeimpedansen er høy nok vil linjeavgangens effektbryter bli lagt inn.

Primærvernet for 15 kV's linjer er normalt et distansevern. Distansevernets sone 1 dekker normalt 60–85 % av linjen og har normal en utkoblingsstid på under 0,15 s. Sone 2 dekker hele linjen og normalt 20–50 % av neste linje. Utløsningstiden er normalt under 0,3 s. Sone 2 startes av et strømsprang på 200 A eller spenningsprang på 2 kV i løpet av 0,2 s. Som sekundærvern på 15 kV's linjer brukes normalt et overstrømsvern. Momentant overstrømsvern og termisk vern benyttes også for noen 15 kV's linjer. 15 kV's linjeavganger har underspenningsvern med normal innstilling på 10 kV, 2,0 s. Se JD 546 kap. 5, pkt. 12 for mer detaljert informasjon om banestrømsforsyningens vernutrustning.

Banestrømforsyningens anleggene har normalt automatisk gjenninnkobling dersom effektbryteren er utløst av overstrømsvern, distansevern, 100 Hz vern eller

concerning longitudinal creep resistance of the track.

### 1.3.1 Documentation and testing

Testing of regenerative braking must be carried out according to prEN 50388:2004, section 13 and 14.

Arrangement/ procedure for limiting maximum regenerative power feedback according to given information must be documented.

Tests relevant to infrastructure specified in EN 50215:1999, section 9.3.1.5 are required.

### 1.4 Co-ordinated function of protective relays in feeder stations and rolling stock

The sub-transient short circuit current for the Norwegian National Rail Administration's infrastructure is maximum 25 kA.

Before a 15 kV line branch is activated and voltage applied the branch is tested for faults using a 640-ohm test resistor. If the line impedance is sufficiently high the branch circuit breaker will be switched on.

Usually the primary protection for 15 kV lines is distance protection. Zone 1 of the distance protection normally cover 60-85% of the line and have a disconnect time of less than 0.15 s. Zone 2 cover the whole line and usually 20-50% of the adjacent line. The disconnect time is usually less than 0.3 s. Zone 2 is triggered by a current step of 200 A or a voltage step of 2 kV during 0.2 s. As secondary protection overcurrent protection is usually used. Some 15 kV lines also have fast high-current and thermal overload protection. 15 kV branches have undercurrent protection, usually set to 10 kV, 2.0 s. See JD 546, chapter 5, section 12 for more details on traction power supply protection.

The traction power supply usually has automatic circuit breaker re-closing when the circuit breaker has tripped due to overcurrent, distance, 100 Hz or undervoltage protection on a feeder

underspenningsvern på et utgående linjefelt. Gjenninnkobling foretas 5 s etter at effektbryteren er utløst og deretter henholdsvis 30 s og 180 s etter at forutgående gjenninnkoblingsforsøk er avsluttet.

Samordning av vernutløsning i matestasjonsanlegg og rullende materiell skal være i henhold til prEN 50388:2004.

Maksimum toppverdi på "inrush current" fra transformatoren eller annet utstyr i en togstamme skal ikke overskride 1000 A i løpet av de 2 første periodene (120 ms). Etter 1.0 sekund skal RMS-verdien av "inrush current" være mindre enn 200 A. Kravene gjelder ved innkopling mot 16,500 kV (RMS) stiv spenning.

#### 1.4.1 Dokumentasjon og test

Trafikkutøver skal i henhold til prEN 50388:2004, punkt 11.1 utarbeide et dokument som dokumenterer samordning mellom vern i matestasjonsanlegg og på rullende materiell. Dokumentasjon skal utarbeides før prøvekjøring tillates.

Testing i forbindelse med vernkoordinering skal gjøres i henhold til pkt. 13 og 14 i prEN 50388:2004.

Test av "inrush current" skal gjøres i umiddelbar nærhet av en omformerstasjon uten annet strømforbruk av betydning på den aktuelle linjen. Omformerstasjonen skal ha roterende omformeraggregater med minimum 20 MVA samlet merkeytelse i drift under testen. "Inrush current" skal måles på primærsiden av togtransformatoren. Testen skal gjennomføres minimum 10 ganger. Ved test av "inrush current" skal effektbryteren i toget lukkes ved spenningens 0-gjennomgang. Hvis ikke dette lar seg gjøre skal testen gjennomføres minimum 20 ganger. Målingen skal gjøres med en transientrecorder med samplingsfrekvens på minimum 1 KHz. (0.4 kHz "anti-aliasing" filter eller tilsvarende). Målt ubelastet kontakttledningsspenning skal fremgå i dokumentasjonen. Evt. skal omregning av strømmer til spesifisert spenning inngå i dokumentasjonen i tillegg til de målte verdier.

branch. Re-closing is executed 5 s after the circuit breaker has tripped and then 30 s and 180 s respectively after the previous re-closing attempt is terminated.

Protection trip co-ordination in feeder station installations and rolling stock must be according to prEN 50388:2004.

Maximum magnitude of inrush current from the transformer or other equipment in a train must not exceed 1000 A during the 2 first periods (120 ms). After 1.0 s the RMS value of the inrush current must be less than 200 A. These requirements are valid when connecting to 16.5 kV (RMS) rigid voltage.

#### 1.4.1 Documentation and testing

The railway undertaking is according to prEN 50388:2004, section 11.1, required to prepare a document to substantiate co-ordination between feeder station protection gear and rolling stock protection gear. The documentation must be prepared before test drives are allowed.

Testing of protection co-ordination must be accomplished according to prEN 50388:2004 section 13 and 14.

Inrush current testing is required to take place close to a feeder station when no other substantial load is present on the line. The feeder station must have rotating converter units of which the total nominal apparent power during testing must be minimum 20 MVA. Inrush current is measured on the primary side of the train transformer. The test must be carried out no less than 10 times. During the inrush current test, the train circuit breaker must close at the voltage's crossing through zero. If this is not possible the test must be executed no less than 20 times. The measurement must be carried out by a transient-recorder using a minimum sampling frequency of 1 KHz. (0.4 kHz anti-aliasing filter or equivalent). The documentation has to show measured unloaded catenary voltage. In addition to measured values any current values converted to specified voltage must be included in the documentation.

## 1.5 Pendlinger og stabilitet

Norsk banestrømforsyning er generelt mye svakere enn ellers i Europa. Dette innebærer at:

1. kraftige tog har maksimalt effektuttak i samme størrelsesorden som en omformerstasjons leveringskapasitet. (Antall omformeraggregater i drift i hver omformerstasjon tilpasses døgnvariasjoner i effektbehovet).
2. ett enkelt tog ofte utgjør hele eller en overveiende del av omformerstasjonens samlede last. Dette innebærer at spenningsreguleringen i tog og omformeraggregat arbeider direkte mot hverandre i et en til en forhold.
3. det enkelte steder er så stor impedans i kontaktledningsanlegget at spenningen kan varierer opptil flere kilovolt bare som følge av endring av effektuttaket i toget selv eller annet tog i nærheten.

Erfaring viser at spesiell optimering i henhold til prEN 50388:2004, avsn 10.3 hvor særnorske forhold er lagt til grunn, er nødvendig for at europeisk togmateriell (med traksjonssystem basert på vekselretterteknikk) skal fungere tilfredsstillende i Norge.

Spesielt er ustabilitet mot roterende omformere som beskrevet nedenfor et vanlig problem. Også ustabilitet mellom lokomotivers spenningsregulering og vekselretter for kontaktledningsspenningen i statiske omformerstasjoner har vært registrert.

### 1.5.1 Spenningsammenbrudd ved stor kontaktledningsimpedans.

Spenningsammenbrudd ved stor impedans i kontaktledningsanlegget vil normalt ikke kunne oppstå forutsatt at togets effekttopptak reguleres som spesifisert i kapittel "Tilgjengelig effekt".

### 1.5.2 Pendlinger i rotors hastighet i roterende omformeraggregater.

De roterende omformeraggregatene har en elektromekanisk resonansfrekvens i området 1,0 – 2,0 Hz, typisk ca. 1,6 Hz. Resonansfrekvensen vil variere avhengig av aggregatstørrelse, antall

## 1.5 Oscillation and stability

Norwegian power supply is generally much weaker than usual in Europe. From this follows:

1. Maximum power drawn by powerful trains is of approximately the same magnitude as the converter station's delivery capacity. (The number of converter units in operation in each converter station is adjusted to the 24 hourly variations of the power demand).
2. The total or predominant load on a converter station often consists of a single train. This implies that the voltage regulation in the train and in the converter unit works directly against each other in a one to one relationship.
3. In some areas the catenary impedance is so large that changes in the power demand from the train itself or from other nearby trains may cause voltage variations of up to some kilovolts.

Experience shows special optimization according to prEN 50388:2004, section 10.3 where distinctively Norwegian conditions are used as a basis, is necessary for European rolling stock (with propulsion system based on inverter technology) to function satisfactory in Norway. Instability towards rotating converters as described below is a common problem. Instability between locomotive voltage regulation and the catenary voltage inverter in static converter stations has also been registered.

### 1.5.1 Voltage collapse in case of large catenary impedance.

Voltage collapse in case of large catenary impedance cannot normally occur when the power demand of the train is regulated according to the specification in part "Available power".

### 1.5.2 Oscillation of rotor speed in rotating converters.

Rotating converter units have a electromechanical resonance frequency in the 1.0 – 2.0 Hz area, typically approximately 1.6 Hz. The resonance frequency varies with

parallellkjørende aggregater i omformerstasjonen, karakteristika for forankoplet nett, osv. Endringer i aktiv effekt i 1-fasenettet som skjer med en frekvens som tilsvarer denne resonansfrekvensen vil ha en forsterkning til det mangedobbelte, typisk 10 ganger, gjennom omformeraggregatet, dvs. at (periodiske) endringer i aktiv effekt på kontaktledningssiden forårsaker 10 ganger større effektpendling på 3-fasesiden av aggregatet. Den kraftige forsterkningen gjennom aggregatet skyldes at omformeraggregatens synkronmotorer er dårlig dempet, slik at aggregatets polhjulsinkel pendler, dvs. rotor pendler relativt synkront faseleie.

De roterende omformeraggregatens dynamiske egenskaper er illustrert i vedlegg 4b. Følgende generelle karakteristika gjelder for de roterende omformeraggregatene:

- Selv små effektsprang i kontaktledningsanlegget eksiterer merkbare pendlinger i omformerens rotor.
- Effektsprangets retning (påslag eller avslag) har liten betydning for rotorpendlingens størrelse.
- Pendlingenes størrelse avtar sterkt når endring i effektforbruket skjer som en rampe med begrenset steilhet istedenfor som sprang.
- Selv små repeterende effektendringer med begrenset steilhet forårsaker betydelig pendling dersom de har ugunstig frekvens (1,0 - 2,0 Hz). Dersom en relativt steil effektreduksjon i enkelte situasjoner er nødvendig, f.eks. av hensyn til funksjonen av slire- og glidevern, kan omfanget av pendlinger i noen grad begrenses ved å implementere en vesentlig strengere restriksjon på etterfølgende effektøkning.
- Tiden det tar før en pendling er utdempet øker med pendlingens amplitude, og er for kraftige pendlinger i størrelsesorden 10 - 15 sek. forutsatt at rullende materiell ikke bidrar til å vedlikeholde pendlingen.
- Rotorpendlingen resulterer i pendlinger i kontaktledningsspenningens amplitude og at spenningens steilhet og 0-gjennomgang i hver  $16 \frac{2}{3}$  Hz-periode forskyves i forhold til ideell sinus.
- Avhengig av togets strøm-spenningskarakteristikk kan impedansen i

converter unit size, the number of units running in parallel in the converter station, the characteristics of the distribution network in front of the station etc. Changes in active power in the single-phase network occurring at a frequency corresponding to the resonance frequency will be reinforced many times, typically 10 times, through the converter unit. This means that (periodic) changes in active power on the catenary side causes 10 times bigger power oscillations on the 3-phase side of the converter unit. The large reinforcement through the converter unit is due to bad damping in the synchronous motor causing the power angle to oscillate, i.e. the rotor oscillates relative to the synchronous phase position.

The dynamic properties of the rotating converter units are illustrated in annex 4b. The following general characteristics applies to rotating converter units:

- Even small steps in catenary power excite noticeable oscillation in the converter rotor.
- The direction of the power step (increase or decrease) has significance for the magnitude of the rotor oscillation.
- The oscillation magnitude decreases greatly when power consumption occur as a ramp of limited steepness instead of as a step.
- Even small repetitive power changes of limited steepness causes considerable oscillation when occurring at a unfavourable frequency (1.0 – 2.0 Hz). If a relative steep reduction of power under certain conditions is necessary, e.g. due to the function of wheel slip and slide protection, the amount of oscillation may to some extent be limited by imposing considerably stricter restrictions on following power increase.
- The time until a oscillation is damped increase with the oscillation magnitude, and is for large oscillations of the size of 10 – 15 s when rolling stock do not contribute to maintaining the oscillation.
- The rotor oscillation results in oscillations in the catenary voltage amplitude and the voltage's steepness and zero crossing every  $16 \frac{2}{3}$  Hz period is displaced relative to a ideal sine.
- Depending on the train current-voltage characteristic, the catenary impedance may result in deviation between the voltage

kontaktledningen resultere i avvik mellom spenningspendlingens amplitude på strømvaktaker og ved omformerstasjonen. Tog med spenningsuavhengig effektuttak vil få økt amplitude mens amplituden blir redusert for tog med lastkarakteristikk som en konstant impedans.

### 1.5.3 Krav til rullende materiell.

#### Generelle krav:

Rullende materiell må på en tilfredsstillende måte kunne samhandle med annet rullende materiell og banestrømsforsyningsanlegg uten at problemer som beskrevet i prEN 50388:2004, avsnitt 10 oppstår.

#### Spesielt vedrørende kompatibilitet med roterende omformeraggregater

Som beskrevet i prEN 50388, avsn. 10.2 vil tallfestede grenseverdier for hver parameter lett bli meget restriktive dersom de skal være tilstrekkelige i alle tilfeller. Da stabilitetsegenskapene er resultat av samvirkningen av flere forhold har Jernbaneverket isteden valgt å kun angi hvilke forhold som Jernbaneverket særlig vektlegger ved vurdering av om rullende materiell har tilstrekkelige stabilitetsegenskaper:

- Hvor ofte og av hvilke årsaker ustabilitet og pendlinger oppstår. Erfaring viser at noe pendling i faseleie for roterende omformeraggregater kan være vanskelig å unngå, for eksempel ved slire- og glidevernsinngrep eller aktivering av vern i utrustningen. Når en slik ekstraordinær årsak ikke foreligger forventes materiellet tilnærmet ikke å forårsake pendlinger.
- Pendlinger som evt. blir initiert av materiellet selv, annet rullende materiell eller hendelser andre steder i strømforsyningsanlegget vil normalt bli dempet ut av omformerne som illustrert i vedlegg 4 b. Rullende materiell må ikke reagere på pendlingen på en slik måte at pendlingen vedlikeholdes.
- Forholdet mellom pendling i 3-fase effekt og 1-fase effekt på omformeraggregater. Et stort forholdstall indikerer at omformeren belastes med effektvariasjoner som eksiterer den på ugunstig måte.
- Amplitude for pendlinger i spenning og/eller effekt i kontaktledningen. Økt amplitude

oscillation amplitude at the pantograph and at the converter station. Trains having power output independent of voltage will increase the amplitude while the amplitude will decrease for constant impedance load characteristic trains.

### 1.5.3 Requirements for rolling stock.

#### General requirements:

Rolling stock must be able to satisfactorily cooperate with other rolling stock and traction power supply without problems as described in prEN 50388:2004 section 10 occurring.

#### Particularly for compatibility with rotating converter units.

As described in prEN 50388 section 10.2, may numerical boundaries for each parameter easily become very restrictive if they are to be sufficient in all cases. As the properties of stability are a result of the co-operation between several issues, the Norwegian National Rail Administration has chosen to only state which issues that are emphasised when considering whether rolling stock have sufficient properties of stability.

- How often and for which reasons oscillation occurs. Experience shows that some oscillation in phase position for rotating converters may be difficult to avoid, e.g. when wheel slip and slide protection or protective relays are activated. When an extraordinary cause such as this does not exist, the rolling stock is expected to hardly cause oscillation.
- Any oscillation which is initiated by the rolling stock, other rolling stock or any events other places in the power supply installations will normally be damped by the converters as shown in annex 4b. Rolling stock must not react to the oscillation in a way that maintain the oscillation.
- The relationship between oscillation in 3-phase power and single-phase power at converter units. A large proportional value indicates that the converter is loaded by power variations that excite it in an unfavourable way.
- Oscillation amplitude for catenary voltage

forverrer forholdene både for eksisterende og fremtidig materiell. En absolutt grense vil være at nytt/modifisert rullende materiell ikke forårsaker ytterligere forverrete maksimalverdier.

#### 1.5.4 Dokumentasjon og test

"Compatibility study" i henhold til i pkt. 10 i prEN 50388:2004 og med hensyn på de forholdene som omtales der skal gjennomføres.

Testing skal gjøres i henhold til pkt. 13 og 14 i prEN 50388:2004.

Samspill med de spesielle forhold ved norsk banestrømsforyning som er beskrevet ovenfor må være dekket av studien og kommenteres særskilt av søker.

Vurderingen skal omfatte:

- hele hastighetsområdet som ønskes benyttet og betydningen av ulike reguleringsmodi i materiellet, f.eks. endringer i forholdet mellom taktefrekvens og modulert frekvens, endringer ved overgang mellom kjøring med konstant moment til kjøring med konstant effekt, osv.
- variasjoner i trekraft og regenerativ bremsekraft.
- individuelle forskjeller i kjørestil mellom førere.
- vær- og temperaturforhold, spesielt strømvatning ved isbelegg på kontaktledningen.
- ulike adhesjonsforhold.
- Unormale forhold i det rullende materiellet, f.eks. nøddrift med delvis utkoplete tekniske systemer

#### Test:

Testkjøringens hensikt er å sannsynliggjøre samsvar mellom teoretisk utredning og faktisk oppnåelige resultater under

- normale forhold
- spesielle forhold som påregnes grunnet defekter eller utførelse av vedlikehold på infrastrukturinstallasjoner.

Testing i ulandet kan helt eller delvis erstatte

and/or power. Increased amplitude deteriorates the conditions for both existing and future rolling stock. A definite limit will be that new/ modified rolling stock do not cause further deteriorated maximum values.

#### 1.5.4 Documentation and testing

Compatibility study according to section 10 in prEN 50388:2004 and its specified conditions must be carried out.

Testing must be carried out according to prEN 50388:2002, section 13 and 14.

Co-operation with issues particular to Norwegian traction power supply as described above must be included and especially commented upon by the applicant.

The evaluation must include:

- The total velocity range which is desired used and the significance of different regulation states in the rolling stock, e.g. changes in the relationship between timing frequency and modulated frequency, variations when transferring from constant moment driving to constant power driving etc.
- Variations in traction and regenerative braking
- Individual differences in driving style among drivers.
- Weather and temperature conditions, especially current collection when the catenary is coated in ice.
- Different adhesion conditions.
- Unusual conditions within the rolling stock, eg. emergency operation using partly disconnected technical systems.

#### Test:

The purpose of test runs is to make agreement between theoretical explanations and actual achievable results probable under:

- Normal conditions
- Extraordinary conditions which can be reckoned with due to defects or maintenance of infrastructure installations.

Testing abroad may partly or completely



testing i Norge. De roterende omformeraggregatene som benyttes av Banverket, Sverige er i stor grad av de samme typer som benyttes av Jernbaneverket.

Testing skal utføres på strekning som kun forsynes fra 1 omformerstasjon i den ene enden av strekningen (énsidig mating).

Kontaktledningsanlegget skal ikke belastes av materiell som ikke deltar i forsøket, men forsyning av utstyr med lavt forbruk og konstant resistans/reaktans, f.eks. parkerte vogner, kan evt. likevel aksepteres.

Rullende materiell skal ha tilnærmet samme tilsynelatende inngående effekt (VA) som merkeytelsen for det omformeraggregatet som benyttes i forsøket, evt. skal multipelkjøring av flere materiellindivider benyttes for å oppnå dette. Jernbaneverkets omformere er overbelastbare, jmf. avsn. 1 i dette kapittel. Noe overlast relativt omformerens merkeytelse kan derfor aksepteres under forsøket.

Normalt vil Jernbaneverket tilby strekning forsynt av ett 5,8 MVA roterende omformeraggregat for testkjøringen.

I testkjøringen skal inngå:

- maksimalt mulig akselerasjon fra stillstand til maksimal (streknings-)hastighet. Hastighetsområdet forutsettes å omfatte både kjøring med konstant moment og med konstant effekt, ref. trekraftkurven, dersom disse inngår i det hastighetsområdet materiellet søkes benyttet i.
- maksimalt mulig retardasjon med regenerativ brems fra maksimal (streknings-)hastighet til stillstand. Hastighetsområdet som for akselerasjonstest.
- raskest mulige skiftinger mellom trekraft og regenerativ bremsekraft både ved kjøring med konstant moment og med konstant effekt, ref. trekraftkurven
- sliring under kjøring med konstant moment, ref. trekraftkurven, dersom dette ansees som relevant i den senere drift det søkes om. Om nødvendig skal sliring fremprovoseres på kunstig måte.

Testkjøring skal inkludere følgende avstander fra omformerstasjonen:

- > 55 km.

substitute testing in Norway. The rotating converter units in use by the Swedish National Rail Administration are to a large extent of the same types as in use by the Norwegian National Rail Administration.

Testing is to be carried out on a section of track supplied from one converter station at one end of the section only. The catenary must not be loaded by rolling stock which is not participating in the test. However, power supply to low consumption and constant resistance/ reactance equipment such as parked carriages may be accepted. Rolling stock must have approximately the same apparent power (VA) in use for the test, if necessary using a multiple of the rolling stock units connected together to achieve this. The Norwegian National Rail Administration's converters are possible to overload according to section 1 in this chapter. Some overloading relative to the converter's nominal output can therefore be accepted during testing. Normally the Norwegian National Rail Administration will offer a section supplied by a 5.8 MVA rotating converter unit for test runs.

The test runs must include:

- Maximum achievable acceleration from zero to maximum (section) speed. The speed range should cover constant torque and constant power drive, according to the traction power curve, when these are included in the speed range the rolling stock is requested used for.
- Maximum achievable retardation using regenerative braking from maximum (section) speed to standstill. Speed range as specified used for acceleration.
- The most rapid changes achievable between traction and regenerative braking using both constant torque and constant power drive, according to the traction power curve.
- Skidding while constant torque driving, according to the traction power curve, if considered relevant for later operation application.

Test runs must include the following distances from the converter stations:

- > 55 km
- < 15 km

- < 15 km.

Tiltak for å fremprovosere sliring kunstig kreves kun iverkstatt ett sted på teststrekningen, for øvrig bør utesting gjentas i ulike avstander fra omformerstasjonen.

#### Måleopplegg:

I toget:

Kontaktledningsspenning, aktiv effekt, reaktiv effekt, strøm og toghastighet som funksjon av tid skal registreres. Hvis hensiktsmessig kan strøm eller reaktiv effekt beregnes på basis av øvrige målesignaler.

I omformerstasjonen:

Aktiv effekt for omformeraggregatets 1-fase og 3-faseside, og kontaktledningsstrøm som funksjon av tid skal registreres. Aktivitet i omformerstasjonen skal utføres i henhold til retningslinjer gitt av Jernbaneverket.

Samplingsfrekvens for målinger både i tog og i omformerstasjon: min 10 Hz.

#### Rapport fra testkjøring:

Av rapport fra testkjøringen skal minimum fremgå:

- Tidspunkter for utføring av ulike aktiviteter.
- Strekningsavsnitt for de ulike gjengitte registreringer.
- Representative utsnitt av utskrifter fra registreringene. Utskriftene skal være merket med enkelte stedsnavn / km utfra banekilometring og synkronisering av tidsakse mellom måling henholdsvis i tog og omformerstasjon. Registrert strøm kan med fordel inkluderes i utskriftene da dette er den eneste parameteren som er samtidig lik i tog og omformerstasjon. Utskriftene må være egnet for studere variasjoner med frekvens opp til 4 Hz.
- Opplysning om hvor mange ganger og cirka hvor på strekningen ulike forsøk ble gjentatt. Utfra dette søkers vurdering av hvorvidt oppnådde (akseptable) resultatet vurderes som typiske og representative for den senere bruk av materiellet eller om spesielle forhold gjør at det likevel kan være risiko for problemer.
- Drøftelse av registreringene og konklusjon i lys av Jernbaneverkets krav og søkers vurdering av i hvilken grad disse er

Measures to artificially cause skidding are only required in one position on the test run section. Testing should be repeated at different distances from the converter station.

#### Measurement plan:

In the train:

Catenary voltage, active power, reactive power, current and train speed as a function of time must be registered. If appropriate, current or reactive power may be calculated from the other measurement values.

In the converter station:

Active power for the converter unit's single-phase and 3-phase side and catenary current as a function of time must be registered. Activities in the converter station must be carried out according to the Norwegian National Rail Administration's instructions.

Sample frequency for measurements in both train and converter station: minimum 10 Hz.

#### Test run report:

The test run report it should minimum show:

- Indication of time when activities were carried out
- Track sections for the presented registrations.
- Representative segments of printed registrations. Some names/ km must be marked on the printouts according to line kilometre specification and synchronisation of the time axis between measurements in train and converter station. It is an advantage if the registered current is included in the printouts as this is the only parameter which is the same in the train and the converter station simultaneously. The printouts must be suitable for studying variations of frequencies up to 4 Hz.
- Information about number of repetitions and approximate location for the various tests. From this the applicants evaluation of whether the achieved (acceptable) result is considered typical and representative for later use of the rolling stock or special conditions may cause a risk of problems occurring.
- Discussion of the registrations and a conclusion in view of the NNRA's

tilfredsstilt .

## 1.6 Inndata til togmodell for simulering av banestrømforsyningen

Informasjon i henhold til vedlegg 4.a. skal utarbeides og oversendes Jernbaneverket. Informasjonen skal benyttes som inndata i simuleringsprogram for banestrømforsyningen.

## 2 TOGVARMEANLEGG

Jernbaneverket tilbyr tre ulike systemer for tilkoping av hensatt materiell fra stasjonære togvarmeanlegg. For nærmere informasjon om systemene og geografisk plassering av uttakene vises til Network Statement punkt 5.3.3.1.

### 2.1 System for tilkoping

Følgende systemer finnes:

- Spenningssystem:
  1. 1000 V, 50 Hz
  2. 1000 V, 16 2/3 Hz
  3. 400 V, 50 Hz
- Maksimale effektuttak per togvarmepost er:
  1. For 1000 V anlegg; Fra 100 - 630 A (store variasjoner, lokale begrensninger er beskrevet i Network statement).
  2. For 400 V anlegg; 63 A.
- Følgende tilkopingstyper benyttes:
  1. For 1000 V - system: Kontakttype i henhold til .UIC 552.
  2. For 400 V - system: Kontakttype rundstift 463-6 med pilotkontakt (L1- L2 - L3 – N – PE – pilot). Kobling i henhold til UIC 554-1, plate IV.

requirements and the applicants evaluation of to which extent these are fulfilled.

## 1.6 Input to train model for traction power supply simulation.

Information according to annex 4.a must be prepared and submitted to the Norwegian National Rail Administration. The information will be used as input to the simulation program for traction power supply.

## 2 TRAIN PRE-HEATING INSTALLATIONS

The Norwegian National Rail Administration offers three different systems for connecting rolling stock to stationary pre-heating facilities. For more information about the systems and geographic location of connection points see Network Statement punkt 5.3.3.1.

### 2.1 Connection systems

The following systems are available:

- Voltage system:
  1. 1000 V, 50 Hz
  2. 1000 V, 16 2/3 Hz
  3. 400 V, 50 Hz
- Maximum power output per pre-heat post:
  1. For 1000 V post; From 100 - 630 A (large variations, local limits are described in Network statement).
  2. For 400 V post; 63 A.
- The following connections are used:
  1. For 1000 V - system: Contact type according to .UIC 552.
  2. For 400 V - system: Contact type circular pin plug 463-6 with pilot contact (L1- L2 - L3 – N – PE – pilot). Connections according to UIC 554-1, plate IV.

## 2.2 Sammenkopling

Det skal være automatiske foriglinger i togsettet eller manuelle rutiner ved betjening, slik at det forhindres sammenkopling av strømforsyning fra stasjonær togvarmepost og evt. andre eksterne strømforsyninger eller med forsyning via togets strømvatager.

## 3 KONTAKTLEDNINGSANLEGG

Kontaktledningsanleggene i Jernbaneverkets nett består i all hovedsak av anlegg med loddavspendte liner og tråder. Det benyttes både kontakttråd og bæreline opphengt på svingbare utliggere. Y-line forekommer. Seksjons-og vekslingsfelt gjøres ved hjelp av parallellfelt over 3, 4 og 5 spennlengder. Sugetransformatorer finnes ved om lag hver 3. km. Det finnes en del dødseksjoner som kan gi begrensninger i forhold til avstand mellom flere aktive strømvatagere i en togstamme.

### 3.1 Materiale i kontakttråden

Kontaktledningsanleggets kontakttråd består av kobber eller kobberlegeringer. For ytterligere informasjon se EN 50149. Kontakttrådene har avrundet underside når de er nye.

### 3.2 Kontakttrådhøyder

Kontakttrådhøyde, kth, er den vinkelrette avstanden mellom sporplanet og underkant kontakttråd målt på et ubelastet kontaktledningsanlegg.

#### 3.2.1 Nominell kontakttrådhøyde

Nominell kontakttrådhøyde er den høyden som det aktuelle kontaktledningssystem er designet for.

Nominell kontakttrådhøyde for kontaktledningssystemer med dimensjonerende hastighet opp til 200 km/h er 5.60 meter. Nominell kontakttrådhøyde for kontaktledningssystemer med dimensjonerende

## 2.2 Connection

Automatic interlocking devices in the train or manual operating routines are required in order to prevent interconnecting the power supply from stationary pre-heat posts and other potential external power supplies or supply through the train pantograph.

## 3 CATENARY

The catenary systems in the Norwegian network mainly consist of systems using balance weight tensioned lines and wires. Both contact wire and messenger wire suspended from pivoted cantilevers is used. Stitch wire occurs. Overlap spans with or without electrical sectioning of the catenary are constructed using parallel spans over 3, 4 or 5 spans. Booster transformers are located approximately every 3 km. There are some neutral sections which may restrict allowable distance between active pantographs on a train

### 3.1 Contact wire materials

The contact wire consists of copper or copper alloys. For more information see EN 50149. New contact wire has a rounded underside.

### 3.2 Contact wire height

Contact wire height, kth, is the right angle distance between the plane of top of track and the lower edge of the contact wire measured on unloaded catenary.

#### 3.2.1 Nominal contact wire height

The nominal contact wire height is the height for which the catenary system is designed.

The nominal contact wire height for catenary systems with dimensioning speed up to 200 km/h is 5.60 meter.

The nominal contact wire height for catenary systems with dimensioning speed over 200 km/h is 5.30 meter.

hastighet over 200 km/h er 5.30 meter.  
For nærmere informasjon se punkt 3.2, kap 4 [JD 540].

### 3.2.2 Maksimal kontakttråd høyde

På enkelte deler av en banestrekning kan kontakttråd høyden være større enn nominell høyde.

#### Klasse 1:

$K_{th} \leq 6.00$  meter.

#### Klasse 2:

$6.00 \text{ meter} < k_{th} \leq 6.20$  meter.

Kontakttråd høyder for klasse 2 er relativt sjeldent og forekommer ikke i hovedspor. Klasse 2 kan typisk forekomme ved enkelte eldre stasjoner.

### 3.2.3 Minimum kontakttråd høyde

På enkelte deler av en banestrekning er kontakttråd høyden lavere enn nominell høyde.

#### Klasse 1:

$K_{th} \geq 5.05$  meter.

#### Klasse 2:

$5.05 \text{ meter} > k_{th} \geq 4.80$  meter.

#### Klasse 3:

$4.80 \text{ meter} > k_{th} \geq 4.60$  meter.

Typiske steder for kontakttråd høyder klasse 2 og 3 er inne i tunneler, under bruer og på enkelte jernbanebruer.

### 3.3 Kontakttråd høydeendring

Generelt sett er kontakttråd høydeendringer i hovedspor tilpasset aktuelle toghastigheter på en slik måte at kvaliteten på strømvaktningen er tilfredsstillende.

#### Klasse 1:

Maksimal kontakttråd høydeendring =  $1/(5 \cdot v)$ , der  $v$  = hastighet i km/h (hastighet > 80 km/h). For ytterligere informasjon se pkt. 3.2.4, kap.4

For more information see section 3.2, chapter 4 [JD 540].

### 3.2.2 Maximum contact wire height

For some sections of a railway line the contact wire height may be higher than nominal contact wire height.

#### Class 1:

$K_{th} \leq 6.00$  meter.

#### Class 2:

$6.00 \text{ meter} < k_{th} \leq 6.20$  meter.

Contact wire heights of class 2 are relatively rare and do not occur on main line tracks. Typical occurrences for class 2 are some older stations.

### 3.2.3 Minimum contact wire height

For some sections of a railway line the contact wire height is lower than nominal contact wire height.

#### Class 1:

$K_{th} \geq 5.05$  meter.

#### Class 2:

$5.05 \text{ meter} > k_{th} \geq 4.80$  meter.

#### Class 3:

$4.80 \text{ meter} > k_{th} \geq 4.60$  meter.

Typical locations of contact wire height class 2 and 3 are in tunnels, under bridges and on some railway bridges.

### 3.3 Contact wire height alteration

In general the change of contact wire height on main line tracks are adjusted to the actual train speeds in such a way that the current collection quality is satisfactory

#### Class 1:

Maximal contact wire height variation =  $1/(5 \cdot v)$ , where  $v$  = speed in km/h (speed > 80 km/h). For more information see chapter 4, section 3.2.4

[JD 540].

**Klasse 2:**

$1/(5 \cdot v) \leq$  maksimal kontakttråd høydeendring  $\leq$  1:400.

**Klasse 3:**

1:100 < Maksimal kontakttråd høydeendring; < 1:400.

Kontakttråd høydeendring kan på enkelte strekninger/plasser være begrensende i forhold til største tillatte togfremføringshastighet.

Klasse 1 finner man på størstedelen av alle hovedspor, klasse 2 finnes enkelte steder i hovedspor mens klasse 3 først og fremst benyttes ved lokstaller og skifteområder. Det jobbes kontinuerlig med å ha kontakttråd høydeendring i henhold til klasse 1 i alle hovedspor. Materiell som kan benyttes på strekninger med kontakttråd høydeendring i henhold til EN 50119:2000 vil ikke ha problemer i forhold til klasse 1.

Et eksempel på kontakttråd høydeendring i henhold til klasse 1 er gitt i Figur 2

[JD 540]

**Class 2:**

$1/(5 \cdot v) \leq$  maximal contact wire height variation  $\leq$  1:400.

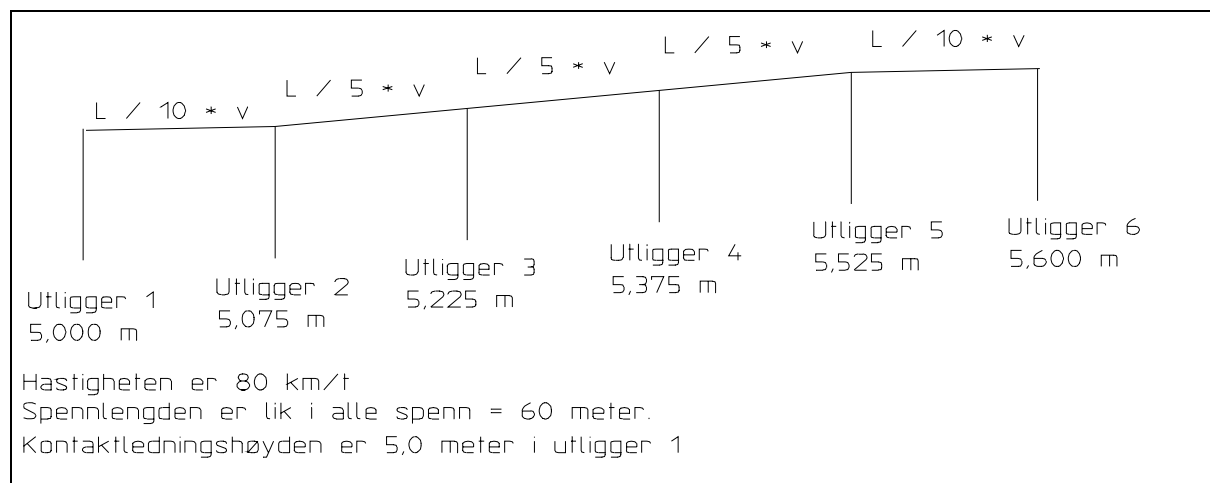
**Class 3:**

1:100 < maximal contact wire height variation < 1:400

Contact wire height variation can on some sections/ locations be the limiting factor for maximum train speed.

The majority of all main track is class 1, class 2 can be found on some sections of main track while class 3 is mainly used for locomotive depots and shunting tracks. It is worked continuously to achieve contact wire height variation according to class 1 on all main tracks. Rolling stock which can be used on lines having contact wire height variation according to EN 50119:2000 will experience no problems regarding class 1.

An example of contact wire height variation according to class 1 is given in Figur 2



Figur 2

*Eksempel på endring av kontakttråd høyde i henhold til klasse 1*

*An example of contact wire height variation according to class 1*

### 3.4 Kontakttrådens maksimale avvik fra spormidt (vindutblåsning)

Kontakttrådens maksimale avvik fra spormidt er summen av naturlig teoretisk avvik når anlegget er i ro pluss avvik grunnet vindbelastning og/eller vedlikeholds- og byggetoleranser. Kontaktledningsanleggene er dimensjonert for en vindbelastning på minimum 30 m/s vinkelrett på kontaktledningen. Enkelte banestrekninger er helt eller delvis dimensjonert for vindhastigheter høyere enn 30 m/s. Dette gjelder fortrinnsvis deler av høyfjellsstrekningene på Dovre- og Bergensbanen samt deler av Sørlandsbanen. Dersom den faktiske vindbelastningen er større enn den dimensjonerende kan kontakttrådens avvik bli større enn det som er angitt nedenfor.

Kontakttrådens maksimale avvik fra spormidt (både ved mast og mellom master) for et anlegg som ikke er påvirket av vind er 400 mm pluss vedlikeholds- og byggetoleranser som nevnt nedenfor.

#### Klasse 1:

Vindutblåsning  $\leq 700$  mm. Toleranse  $\leq 50$  mm. Gjelder eldre anlegg som det finnes mye av på alle hovedstrekninger.

#### Klasse 2:

Vindutblåsning  $\leq 550$  mm. Toleranse  $\leq 30$  mm. Gjelder nyere anlegg bygget etter ca. 1990 og finnes på deler av hovedstrekninger. Benyttes nesten alltid ved utskiftning av kontaktledningsanlegg på eksisterende linjer.

#### Klasse 3:

Vindutblåsning  $\leq 500$  mm. Toleranse  $\leq 30$  mm. Gjelder nyere anlegg og mindre deler av enkelte hovedstrekninger samt hele Gardemobanen.

Det meste av Jernbaneverkets infrastruktur er bygget i henhold til klasse 1.

Det bygges ikke lenger nye kontaktledningsanlegg med tillatt vindutblåsning som for klasse 1.

### 3.4 Maximum contact wire displacement from centre of track (wind)

Maximum contact wire deviation from the track centre line is the sum of the natural theoretical displacement when the installation are not moving plus the displacement due to wind loads and/or maintenance and construction tolerances. The catenary is dimensioned to withstand a wind load of minimum 30 m/s right-angled on the catenary. Some lines are completely or partially dimensioned for wind speeds above 30 m/s. This mainly applies to the high mountain areas on the Dovre line and the Bergen line, plus parts of the Sørland line. If the actual wind load is larger than the dimensioned wind load the contact wire displacement may exceed the values given below.

The contact wire maximal displacement from the track centre line (both at a pole and between poles) for an installation not affected by wind is 400 mm plus maintenance and construction tolerances as mentioned below.

#### Class 1:

Wind displacement  $\leq 700$  mm. Tolerance  $\leq 50$  mm. Applies to older installations which there are many of on all main lines.

#### Class 2:

Wind displacement  $\leq 550$  mm. Tolerance  $\leq 30$  mm. Applies to newer installations built after approx. 1990, can be found partially on main lines. Almost always used for replacement catenary on existing lines.

#### Class 3:

Wind displacement  $\leq 500$  mm. Tolerance  $\leq 30$  mm. Applies to newer installations and can be found in small sections on main lines plus the entire Gardermo line.

The major part of the Norwegian National Rail Administration's infrastructure is built according to class 1. New catenary allowing wind displacement according to class 1 is no longer built.

## 4 STRØMAVTAKER

### 4.1 Typer av strømvaktaker

Kontaktledningsanlegget er generelt dimensjonert for strømvaktaker med følgende mål:

Strømvaktakerbredde:	1800 mm
Arbeidsbredde for strømvaktaker:	1200 mm
Lengde på slepekullene:	≥1000 mm

Jernbaneverket kan etter nærmere vurdering tillate større strømvaktakerbredde på deler av banenettet. Hittil er 1950 mm strømvaktakerbredde akseptert for enkelte materielltyper på strekningen:

- Kornsjø grense – Moss – Alnabru godterminal (Oslo).

Alle strømvaktaker skal ha to slepekull.  
Avstand ytterkant-ytterkant mellom slepekullene: ≤ 600 mm.

Avstand innerkant-innerkant mellom slepekullene: ≥ 350 mm

Strømvaktaker av typen WBL85 og WBL88 er allerede godkjent for bruk av Jernbaneverket. Andre strømvaktaker enn WBL85 og WBL88 skal på forhånd godkjennes av Jernbaneverket.

Strømvaktakeren skal alltid være innenfor det frie profilet for strømvaktaker som er på strekningen til en hver tid. Strømvaktakeren skal alltid ha en god elektrisk forbindelse med kontakttråden.

### 4.2 Materialvalg for slepekull

Materiale i kontaktstripen skal fortrinnsvis bestå av karbon. Karbonet kan om nødvendig impregneres med tilleggsmateriale. Slepekull skal godkjennes av Jernbaneverket.

### 4.3 Strømvaktakerens vertikale arbeidsområde.

Strømvaktakerens vertikale arbeidsområde skal dekke maksimal og minimum kontakttråd høyde

## 4 PANTOGRAPH

### 4.1 Types of pantographs

The catenary system is generally dimensioned for pantographs of the following gauges:

Pan-head width:	1800 mm
Pan-head operating range:	1200 mm
Carbon collector strip length:	≥ 1000 mm

NNRA may upon request permit use of larger pan-head width on some route sections. Up to now use of 1950 mm pan-head width is permitted for some series of rolling stock on the route section:

- Korsjø (Swedish border) – Moss – Alnabru freight terminal in Oslo.

All pantographs must have two carbon collector strips.

Distance outside edge - outside edge between carbon collector strips: ≤ 600 mm.

Distance inside edge - inside edge between carbon collector strips: ≥ 350 mm.

Pantographs of the type WBL85 and WBL88 are already approved for use by the NNRA. Pantographs other than WBL85 and WBL88 must be approved by the NNRA before use.

The pantograph must always be within the actual section's gauge for pantograph at all times. A good electrical connection between the pantograph and the contact wire is always required.

### 4.2 Collector strip materials

The material in the collector strip must preferably consist of carbon. If necessary the carbon can be impregnated by an additional material. Collector strips must be approved by the Norwegian National Rail Administration

### 4.3 The pantograph's vertical operating range

The pantograph's vertical operating range must cover maximum and minimum contact wire



for alle strekninger materiellet ønskes benyttet på. I hele området skal strømvaktakeren ha en god strømvaktaking. Se også punkt 3.2.

#### 4.4 Avstander mellom flere aktive strømvaktakere i samme tog

Minste avstand mellom 2 aktive strømvaktakere i samme togstamme er 20 meter.

Dersom det er flere aktive strømvaktakere i en togstamme vil antall og avstand være dimensjonerende for hvilke toghastigheter som kan benyttes. Her kreves egen godkjenning fra Jernbaneverket på de forskjellige banestrekningene. Ved en slik godkjennelse kan det kreves beregninger, simuleringer eller testkjøringer for å finne tillatte toghastigheter. I tillegg kan enkelte strømvaktakeravstander gi begrensninger i forhold til passering av utkoplede død-seksjoner.

#### 4.5 Autodroppfunksjon

Detektering av skade på strømvaktakerens kullstykke og hurtigsenkning kreves.

For krengetog som har en aktiv posisjonering av strømvaktakeren skal i tillegg feilplassering av strømvaktaker detekteres for alle hastigheter og medføre hurtigsenkning dersom avviket mellom faktisk og ønsket posisjon overskrider 50 mm.

### 5 GRENSESNIITT MELLOM STRØM-AVTAKER OG KONTAKTTRÅD

#### 5.1 Statisk trykk

Alle kontaktledningsanlegg i Jernbaneverkets infrastruktur er dimensjonert for et statisk trykk mellom strømvaktaker og kontakttråd på 55 +/- 5N.

Et statisk trykk i henhold til prEN 50367:2002 krever egen godkjenning og vil gi begrensninger i hvilke banestrekninger som kan benyttes.

height for all lines the rolling stock shall be used on. The pantograph current collection must be good for the entire area. See also section 3.2.

#### 4.4 The distance between multiple active pantographs on a train

The minimum distance between two active pantographs on the same train is 20 meter.

If there are multiple active pantographs on a train the number and distance between them will be dimensioning factors for which train speed that can be allowed. Separate approval from the Norwegian National Rail Administration is required for the individual lines. To achieve this kind of approval calculations, simulations or test runs may be required to find allowable train speed. Some pantograph distances may cause additional limitations with regard to disconnected neutral sections.

#### 4.5 Automatic lowering device

System for detection and automatic lowering of pantograph in case of collector strip damage is required.

In addition, tilting trains which have an active positioning of the pantograph must detect incorrect positioning for all speeds and automatic lower pantograph without time delay if deviation between desired and actual position exceeds 50 mm.

### 5 INTERFACE BETWEEN PANTOGRAPH AND CONTACT WIRE

#### 5.1 Static contact force

All catenary systems in the Norwegian National Rail Administration's infrastructure is dimensioned for a static contact force between the pantograph and the contact wire of 55 ± 5 N.

Static contact force according to prEN 50367:2002 requires a separate approval and restrictions for which lines it can be used will apply.

## 5.2 Strømvaktakerens maksimale avvik fra spormidtd

Maksimalt avvik fra spormidtd er 250 mm. Kravet for strømvaktakerens maksimale avvik fra spormidtd gjelder ved en kontakttdhøyde på 5.60 meter.

### 5.2.1 Dokumentasjon av strømvaktakerens maksimale avvik fra spormidtd

Maksimalt avvik skal dokumenteres ved beregning eller testing/måling. Beregninger og tester/målinger skal gjøres ut fra ugunstigste tilstand for alle komponenter; hastighet, sporradius, sporfeil, fjæringsspill, togvekt og komponentslitasje. Beregninger og tester for elektrisk materiell skal godkjennes av Jernbaneverket. Slike beregninger vil for strømforsyningen sin del kun være relevant på den delen av materiellet som har påmontert strømvaktaker.

Før prøvekjøring skal det som et minimum dokumenteres teoretisk at strømvaktakerens maksimale avvik fra spormidtd ikke er større enn 250 mm.

## 5.3 Aerodynamisk utbalansering

Kontaktledningsanleggene er dimensjonert for en maksimal og en minimum middelkraft. Middelkraften varierer med og er en funksjon av togfremføringshastigheten. Middelkraft ( $F_{mid}$ ) ved aerodynamisk utbalansering av strømvaktaker er den opptrykkskraft (statisk + dynamisk) som strømvaktakeren har ved en gitt hastighet og kontakttdhøyde uten at strømvaktakeren berører kontakttdden. Kravene for middelkraft ved utbalansering av strømvaktaker er vist i **Feil! Fant ikke referansekilden..**

## 5.2 Maximum pantograph displacement from the track centre line

The maximum pantograph displacement from the track centre line is 250 mm. The requirement for maximum pantograph displacement from the track centre line applies to a contact wire height of 5.60 m.

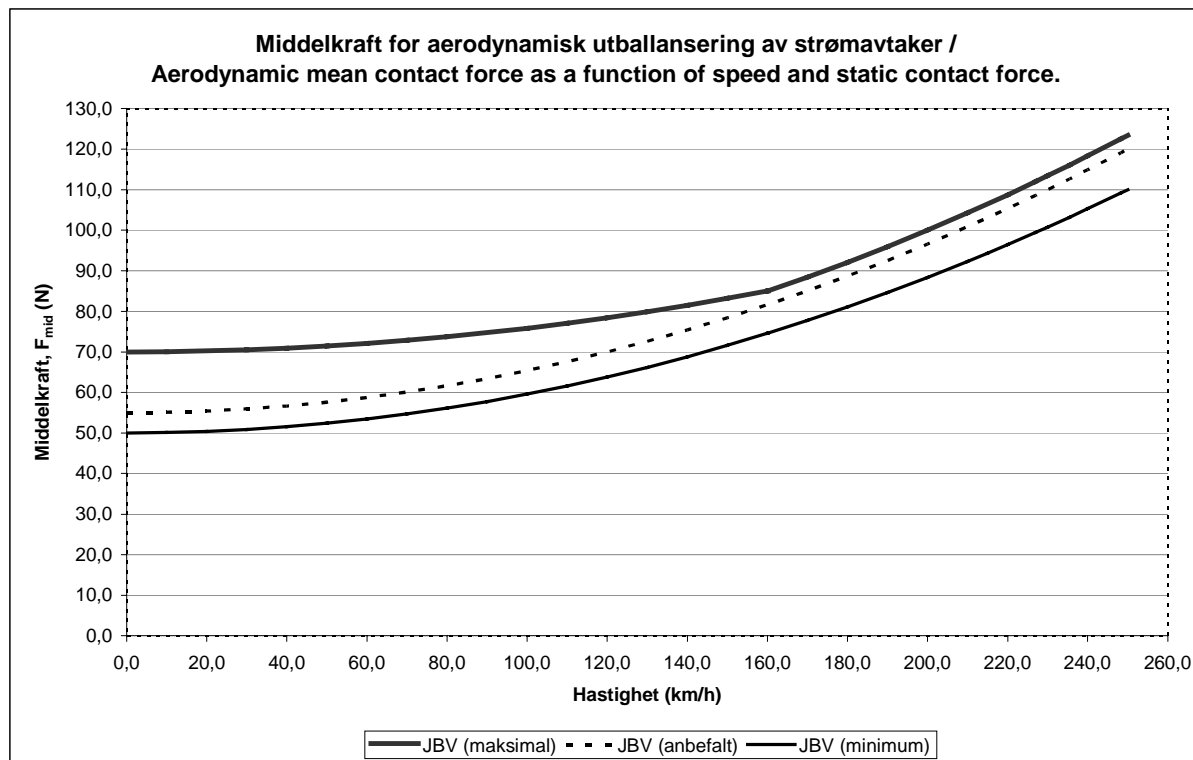
### 5.2.1 Documentation for pantograph maximum displacement from the track centre line

The maximum displacement must be documented through calculation or testing/measurements. Calculation or testing/measurements is carried out for the least favourable condition for all components; speed, track radius, track faults, spring deflections, train weight and component wear. The Norwegian National Rail Administration must approve calculations and tests for electrical rolling stock. With regards to the traction power supply, such calculations will only be relevant for the part of the rolling stock where a pantograph is mounted.

As a minimum, theoretical documentation showing that pantograph maximum displacement from the track centre line does not exceed 250 mm is required before test runs commence.

## 5.3 Aerodynamic correction

The catenary is dimensioned for one maximum and one minimum mean contact force. The mean contact force varies and is a function of train speed. Using aerodynamic correction of the pantograph, the mean contact force ( $F_{mid}$ ) is the pantograph contact force (static and dynamic) at a given speed and contact wire height when the pantograph does not touch the contact wire. The requirements for mean contact force during aerodynamic correction, is shown in Figur 3.



Figur 3

Aerodynamisk middelkraft som funksjon av hastighet og statisk kraft./ Aerodynamic mean contact force as a function of speed and static contact force.

#### 5.4 Krefter mellom strømvaktaker og kontakttråd

Kraften mellom strømvaktaker og kontakttråden er den totale kraften mellom en strømvaktakers slepekull og undersiden av kontakttråden.

##### 5.4.1 Grenseverdier for krefter mellom strømvaktaker og kontakttråd

Grensene for krefter mellom strømvaktaker og kontakttråd er vist i JD 542. Grensene gjelder for hver enkelt strømvaktaker dersom det er flere operative strømvaktakere i samme tog. Grensene benyttes for vurdering av både simulerte og målte krefter. Dersom det utføres målinger kreves det ikke simulering av krefter. Gjennomgang og vurdering av måle- og simuleringsresultater utføres av materielleverandør og resultatet fra dette arbeidet oversendes Jernbaneverket til vurdering og godkjenning.

#### 5.4 Forces between pantograph and contact wire.

The forces between pantograph and contact wire are the total forces between a pantograph's carbon collector strips and the bottom of the contact wire.

##### 5.4.1 Limiting values for forces between pantograph and contact wire

The limiting values for the forces between pantograph and contact wire are shown in JD542. The limits are applicable to every single pantograph when there is multiple pantographs in operation on a train. The limits are used to evaluate both simulated and measured forces. When measurements are carried out, simulation is not required. The supplier of the rolling stock examines and evaluates the results from measurements and simulations. The results from this work are submitted to the NNRA for

#### 5.4.2 Måling av krefter mellom strømvaktaker og kontaktråd

Måling av krefter mellom strømvaktaker og kontaktråd skal utføres i henhold til prEN 50317:2001.

Jernbaneverket benytter seg ikke av lysbuemålinger (avsnitt 8 i prEN 50317:2001) for å bedømme dynamiske forhold mellom strømvaktaker og kontaktråd.

Målinger utføres for den maksimale fremføringshastighet som materiellet ønsket benyttet for. Målingene utføres på en representativ del av den strekningen materiellet ønskes benyttes på.

Behov for målinger kan vurderes av Jernbaneverket. Uten en slik vurdering skal målinger alltid utføres.

Ved ønske om generell godkjenning på hele det norske jernbanenettet skal det måles på en representativ strekning som Jernbaneverket godkjenner i forkant av målingene. Det skal minimum måles på en strekning med kontaktledningsanlegg Tabell 54 eller System 35 samt en strekning med S20 eller S25. Målingene skal gjøres på en kurverik strekning og med ønsket togfremføringshastighet. Ved godkjenning av materiell med flere aktive strømvaktaker, for eksempel multippelkjøring, skal det måles på den strømvaktakeren som antas å ha de største belastningene. Hver kjøring skal grovevalueres med hensyn på krav til krefter før neste kjøring finner sted. Dersom kravene nås før ønsket hastighet oppnås skal målingene avsluttes eventuelt godkjennes videreført av Jernbaneverket.

#### 5.4.3 Simulering av krefter mellom strømvaktaker og kontaktråd

Simulering av krefter mellom strømvaktaker og kontaktråd skal utføres i henhold til prEN 50318:2001. Ved simulering benyttes statisk kraft tilsvarende den som ønskes benyttet, dog minimum 55N.

evaluation and approval.

#### 5.4.2 Measurement of forces between pantograph and contact wire

Measurement of forces between pantograph and contact wire must be carried out according to prEN 50317:2001.

The Norwegian National Rail Administration does not use light-arc measurements (section 8 in prEN 50317:2001) to assess dynamic relations between the pantograph and the contact wire. Measurements are carried out for the maximal train speed the rolling stock is desired used for.

The Norwegian National Rail Administration may assess the need for measurements. When no assessment has been made measurements must always be carried out.

In case of general approval for the entire Norwegian network, measurements must be performed on a representative section of track, approved by the NNRA in advance. Minimum requirements are measurement for one section of track having catenary of the type "Tabell 54" or "System 35" and one section of "S20" or "S25". Measurements are to be carried out on a section containing several curves and using desired train speed. When applying for approval of rolling stock using more than one active pantograph, for instance in case of multiple operation, the pantograph that is considered most likely to cause the largest strain must be measured. Every run must be evaluated preliminary with regard to the force requirements before the next run can commence. If the limits are met before the desired speed is achieved the measurements must to be stopped and only restarted if allowed by the Norwegian National Rail Administration.

#### 5.4.3 Simulation of forces between pantograph and contact wire

Simulation of forces between pantograph and contact wire must be carried out according to prEN 50318:2001. When simulating the static force equivalent to desired value used is applied, but minimum force applied is 55 N.

## 5.5 Fritt profil for strømavtaker

Fritt profil for strømavtaker er gitt i pkt. 4.1, kap. 5 [JD 540]. Profilet viser det område strømavtakeren kan bevege seg i ved en driftssituasjon. Enkelte strekninger kan ha begrensninger i forhold til dette profilet.

### Klasse 1:

Strekningen tilfredsstillter fritt profil for strømavtaker i henhold til JD 540 for  $F_{maks} \leq 200$  N.

### Klasse 2:

Strekningen tilfredsstillter fritt profil for strømavtaker i henhold til JD 540 for  $F_{maks} \leq 150$  N.

### Klasse 3:

Strekningen har et ytterligere begrenset profil i forhold til klasse 1 og 2. Begrensningene beskrives for de enkelte strekninger

## 6 EMC

Rullende materiell forutsettes å være i samsvar med EN 50121. Avvik kan etter nærmere vurdering aksepteres i enkelttilfeller. Samsvar med EN 50 121 legges til grunn ved nybygg og oppgradering av infrastrukturanlegg.

## 5.5 Gauge for pantograph

Gauge for pantograph is given by chapter 5, section 4.1 [JD 540]. It shows the area the pantograph has available for movement during operating conditions. Some sections may have further restrictions compared to this profile.

### Class 1:

The section complies with gauge for pantograph according to JD 540 for  $F_{maks} \leq 200$  N.

### Class 2:

The section complies with gauge for pantograph according to JD 540 for  $F_{maks} \leq 150$  N.

### Class 3:

The section has further limitations in gauge for pantograph than class 1 and 2. Limitations are described for each section.

## 6 EMC

Rolling stock is presumed to be in accordance with EN 50121. After closer assessment deviations may be accepted in special cases. Accordance with EN 50 121 is used as a basis for building new and upgrading infrastructure.