
| | |
|--|-----------|
| 1 HENSIKT OG OMFANG | 2 |
| 2 INNLEDNING | 3 |
| 3 OPPSUMMERING AV MINIMUMSKRAV/ANBEFALINGER I FORSKRIFTER OG STANDARDER | 4 |
| 3.1 Minimumskrav i henhold til veiledning i [FEF] | 4 |
| 3.1.1 [FEF] kap 4: Høyspenningsinstallasjoner | 4 |
| 3.1.2 [FEF] kap 6: Luftlinjer | 4 |
| 3.1.3 [FEF] kap 8: Kontaktledningsanlegg | 5 |
| 3.1.4 Krypestrømsvei | 6 |
| 3.2 Anbefalinger i jernbanespesifikke normer | 7 |
| 3.2.1 Impulsholdespenning | 7 |
| 3.2.2 Isolasjonsavstand i luft for installasjoner | 7 |
| 3.2.3 Isolasjonsavstander i luft for fast avspente ledninger. | 8 |
| 3.2.4 Isolasjonsavstander i luft for bevegelige avspente ledninger: | 8 |
| 3.2.5 Krypestrømsvei | 8 |
| 4 OPPSUMMERING | 10 |
| 5 REFERANSER | 11 |

1 HENSIKT OG OMFANG

Dette vedlegget er supplerende informasjon til JBV's kommentarer til de paragrafene i FEF som omhandler isolasjonskoordinering. Se også vedlegg 4d.

Vedlegget gir en oppsummering av minimumskrav/anbefalinger som finnes i nasjonale forskrifter og i internasjonale normer, og er ment som en veiledning og supplerende bakgrunnsinformasjon til hvordan de konkrete krav til parametere har oppstått i teknisk regelverk.

Vedlegget omfatter det som vedrører isolasjonskoordinering for 15 kV jernbaneanlegg, både installasjoner og luftlinjer (bevegelige og fast avspente).

Det er viktig å være oppmerksom på at verdier fra normer og forskrifter som oftest er minimumskrav, og at teknisk regelverk også må legge andre mekaniske, miljømessige og praktiske hensyn til grunn.

I oppsummeringen i avsnitt 4 er verdiene i overensstemmelse med de faktiske kravene i kap 7.

2 INNLEDNING

Målsetningen ved isolasjonskoordinering i 15 kV jernbaneanlegg er:

1. Å foreta fornuftig valg av isolasjonsnivå i anlegget, slik at overspenninger som kan forekomme:
 - ikke utgjør noen sikkerhetsrisiko
 - ikke forårsaker skade i anlegget som går ut over toggangen
 - ikke forårsaker skade i anlegget som medfører store reparasjonskostnader
2. Optimere isolasjonsnivå i anlegget slik at en unngår uhensiktsmessig store kostnader ved anskaffelse av utstyr og komponenter.
3. Oppnå fornuftig selektivitet på isolasjonsnivå slik at kritisk (og kostbart) utstyr har best beskyttelse.

Der hvor isolasjonsnivået er kritisk, bør overspenningsvern brukes for å begrense spenningspåkjenningen.

Gjeldende nasjonale krav/føringer i forhold til isolasjonskoordinering finnes i:

- Forskrift om elektriske forsyningsanlegg: [FEF]
- Bransjestandard: [JD 510], kap 7

Disse er i hovedsak basert på internasjonale standarder, med eventuelle nødvendige nasjonale tilpasninger.

Følgende internasjonale standarder som omhandler krav til isolasjon og isolasjonskoordinering:

- Generisk standard: [IEC 60071-1]
- Produkt / produktfamiliestandarder (Railway applications). Se avsnitt 5 for referanseliste.

Som hovedprinsipp gjelder: Der det finnes produktstandarder eller produktfamiliestandarder skal disse benyttes. Hvis en ikke finner en produkt- eller produktfamiliestandard skal den generiske standarden benyttes.

Selv med bruk av standarder er det ingen garanti for å sikre konsekvent og fornuftig valg av isolasjonsnivå. Mulige årsaker til dette er:

- Inkonsekvent bruk av definisjoner mellom de forskjellige standardene
- Ulik tolkning av innholdet i standardene
- Ulik anleggsutforming, og ulike anleggsgenerasjoner
- Ulik valg av strategi for isolasjonskoordinering

Ved isolasjonskoordinering er det viktig å bestemme størrelsen på følgende parametere i sitt anlegg:

- høyeste systemspenning U_m
- kortvarig driftsfrekvent holdespenning ($t < 60$ sek)
- impulsholdespenning U_{Ni}
- isolasjonsavstander i luft, både for fast- og bevegelige avspente luftledninger
- krypestrømsvei på isolatorer og overspenningsvern

De anleggsdelene som er mest kritiske, eller som det er knyttet størst kostnader til ved eventuelle isolasjonsfeil må ha det beste isolasjonsnivået. På den måten kan en prøve å "styre" feilen til den anleggsdelen som gir færrest konsekvenser.

3 OPPSUMMERING AV MINIMUMSKRAV/ANBEFALINGER I FORSKRIFTER OG STANDARDER

3.1 MINIMUMSKRAV I HENHOLD TIL VEILEDNING I [FEF]

Som en hovedregel skal Jernbaneverket følge veiledningsteksten til forskriftsparagrafene, med de tilleggskommentarene som fremkommer i [JD510], kap 4, vedlegg 4d. Avvik fra dette kan gjøres hvis det gjennomføres en risikovurdering og dokumentasjon på at forskriftsparagrafene er overholdt.

Det er viktig å være oppmerksom på at den nominelle spenningen som oppgis, dvs U_n , ikke er den faktiske spenningen som kan oppstå. Det er den høyeste (kontinuerlige) systemspenningen for utstyr, dvs U_m , som blir dimensjonerende.

Det er også viktig å være oppmerksom på at spenningsverdiene i FEF, med unntak av kapittel 8 og 9, er oppgitt for trefase anlegg, og at spenningene som oppgis dermed refererer til fase-fase-spenninger, hvis ikke noe annet er oppgitt.

3.1.1 [FEF] kap 4: Høyspenningsinstallasjoner

Tabell 4-1 oppgir avstander i luft og korresponderende impulsholdespenninger for installasjoner. Det er oppgitt at hvis en ikke utfører noen spesielle vurderinger for å oppnå isolasjonskoordinering, skal en benytte verdier som er gitt med uthevet skrift. Hvis grundigere vurderinger gjennomføres for å identifisere optimalt isolasjonsnivå, kan en bruke de andre verdiene.

Isolasjonsavstander i luft for høyspenningsinstallasjoner finnes i tabell 4-1 ved å lese av verdier som korresponderer med aktuell U_m . Det er oppgitt at avstandene gjelder både fase-jord og fase-fase-verdier, og Jernbaneverket kan derfor bruke $U_n = 15$ kV med korresponderende $U_m = 17,5$ kV. Dette gir isolasjonsavstand **160 mm** utendørs. Innendørs kan det benyttes 120 mm dersom det er utført vurderinger for å finne optimalt isolasjonsnivå, ellers gjelder 160 mm også her.

Skal vi finne lynimpulsholdespenning, U_{Ni} , kan vi *ikke* gjøre det ved å lese av verdien ved 17,5 kV. Dette ville ha gitt altfor lav U_{Ni} (95 kV). Installasjoner (kabler, transformatorer, osv) spesifiseres ved hjelp av U_m -fase-fase. Det vil si at de kan være dimensjonert for en U_m -fase-jord-verdi som er $\sqrt{3}$ ganger så lav. For å finne tilstrekkelig impulsholdespenning må vi derfor vise til en $U_m = 36$ kV, som er nærmeste standardverdi i henhold til [IEC 600071-1], tabell 2. Dette gir $U_{Ni} = 170$ kV, alternativt 145 kV. Dette korresponderer med korttids (< 60 sek) driftsfrekvent holdespenning på 70 kV.

3.1.2 [FEF] kap 6: Luftlinjer

Vedrørende luftlinjer: Kapittel 8 i [FEF] gjelder for bevegelige avspente ledningsanlegg (kontaktledningsanlegg). For øvrig fast avspent ledningsanlegg gjelder kapittel 6.

Tabell 6-1 oppgir spenningsverdier som er referert til trefase. De gitte avstandene D_{el} og D_{pp} må derfor også relateres til trefase. Det er nødvendig å regne om verdiene fra tabell 6-1 for å finne tilsvarende verdier for:

- kontaktledningsanlegg enfase, dvs D_{el} for fase-jord = $D_{el, fase-jord}$, og
- PL / NL-linjer i et ± 15 kV AT-system, dvs D_{pp} for 2-fase = $D_{pp, 2-fas}$.

Verdier for disse to kan finnes ved å brukes følgende ligninger:

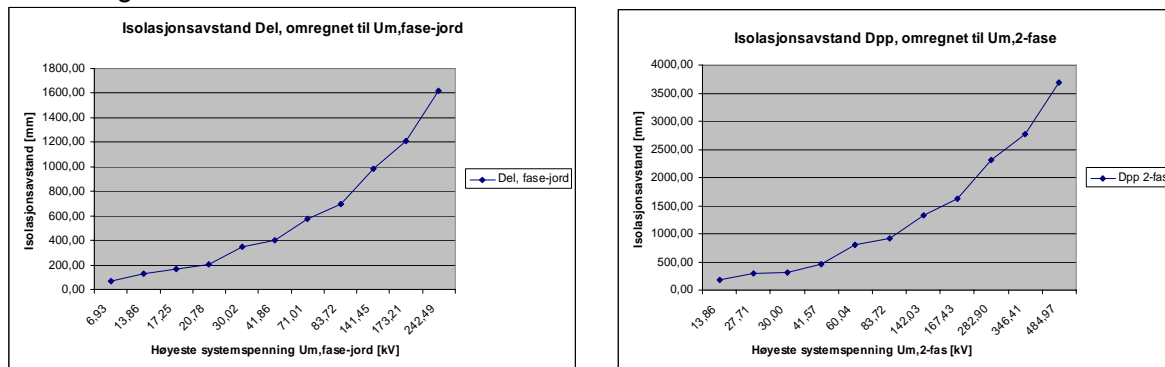
Enfase, $D_{el,fase-jord}$ (KL-jord, PL-jord, NL-jord og PL-KL):

$$U_{m,fase-jord} = \frac{U_{m,3-fas}}{\sqrt{3}} \Rightarrow D_{el,fase-jord} = D_{el,3-fas} * \frac{U_{m,fase-jord}}{U_{m,3-fas}}$$

Tofase, $D_{pp,2-fas}$ (PL-NL, NL-KL og Kontaktledningsparter i motfase v/ kl-seksjon):

$$U_{m,2-fas} = \frac{U_{m,3-fas}}{\sqrt{3}} * 2 \Rightarrow D_{pp,2-fas} = D_{pp,3-fas} * \frac{U_{m,2-fas}}{U_{m,3-fas}}$$

De omregnede verdiene er vist i kurvene nedenfor:



Figur 7a.1 $D_{el,fase-jord}$ og $D_{pp,2-fas}$ plottet på grunnlag av verdier fra [FEF], tabell 6-1 og beregnet i henhold til

Med utgangspunkt i maks kontinuerlig spenning, U_{2max} , som er gitt i [EN 50163] blir det nødvendig å finne:

$$\begin{matrix} D_{el,fase-jord} & \text{for} & U_m=17,25 \text{ kV} & \text{og} \\ D_{pp,2-fas} & \text{for} & U_m=34,5 \text{ kV}. \end{matrix}$$

Interpolering av $U_{m,fase-jord}$ for 17,25 kV gir $D_{el,fase-jord} = 163,78$ mm.

Interpolering av $U_{m,2-fas}$ for 34,5 kV gir $D_{pp,2-fas} = 373,51$ mm.

Disse interpolerte verdiene må anses som absolutte minimumskrav, og de faktiske kravene må økes for å ta hensyn til forurensing, klima, fugler, mv.

3.1.3 [FEF] kap 8: Kontaktledningsanlegg

Isolasjonsavstandene i luft som er oppgitt i [FEF] §8-3 gjelder bevegelige avspente luftlinjer. Minimumskravene er 150 mm statisk og 100 mm dynamisk [EN 50119]. Dette er absolutt minimum.

3.1.4 Krypestrømsvei

[FEF] gir ingen spesielle krav vedrørende krypestrømsvei.

Den generiske standarden [IEC 60815], tabell II, lister opp minste nominelle krypestrømsvei, i forhold til forurensningsklasser:

Tabell 7a.1 *Krypestrømsvei i henhold til [IEC 60815]*

| IEC 60815, table II | |
|---------------------|--|
| Pollution level | Minimum nominal specific creepage distance [mm/kV] |
| I Light | 16 |
| II Medium | 20 |
| III Heavy | 25 |
| IV Very heavy | 31 |

Jernbaneverket har tradisjon for å velge ekstra lang krypestrømsvei for å ta hensyn til både høy forurensning og manglende renhold. Se avsnitt 3.2.6 og verdier i oppsummeringstabell i avsnitt 4.

3.2 ANBEFALINGER I JERNBANESPEKIFIKKE NORMER

Railway applications- normene, dvs [EN 50xxx] er tilpasset enfaseanlegg og vi kan betrakte de oppgitte spenninger som fase-jord-verdier, hvis ikke annet er spesifisert.

3.2.1 Impulsholdespenning

For å finne impulsholdespenninger, U_{Ni} , gir [EN 50124-1] to fremgangsmåter, metode 1 eller metode 2. Metode 2 forutsetter at en alltid har tilleggsbeskyttelse mot overspenninger, og er dermed lite egnet ved en totalvurdering av hele 15 kV -anlegget.

Metode 1 brukes hvis en skal ta utgangspunkt i at det ikke alltid er tilleggsbeskyttelse, og en kan bruke overspenningskategorier (OV1, OV2, OV3 og OV4) for å karakterisere aktuelt nivå for eksponering av overspenninger.

Tabell A.2 viser at:

- for faste installasjoner skal U_{Ni} leses av ved U_{Nm} lik 17kV, **24kV**, 27,5kV eller 36 kV.
- for rullende materiell leses U_{Ni} av ved 17,25kV, **24kV** eller 27,5kV.

Verdier med uthevet skrift er de enfase U_{Nm} –verdier som korresponderer med standard 36 kV trefase. Avlest U_{Ni} blir da:

- 145 kV (OV3) eller **170kV** (OV4) for faste installasjoner
- 95 kV (OV3) eller 125kV (OV4) for rullende materiell.

3.2.2 Kortvarig ($t < 60$ sek) driftsfrekvent holdespenning

[EN 50124-1] gir ikke noe verdi for driftsfrekvent holdespenning, men hvis en bruker den fastlagte impulsholdespenningen kan en finne verdien i generisk norm [IEC 60071-1], tabell 2. Driftsfrekvent holdespenning for isolasjon blir da i henhold til tabell 7a.2.

Tabell 7a.2 *Krav til kortvarig driftsfrekvent holdespenning for isolasjon i henhold til [IEC 60071-1]*

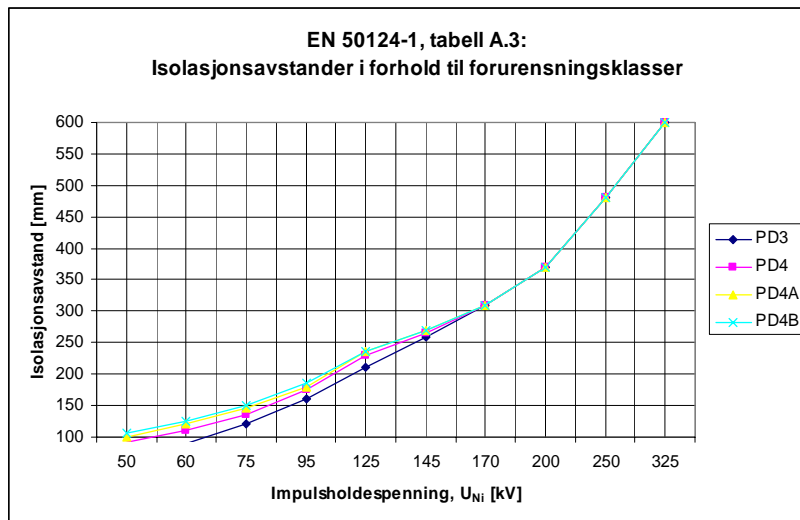
| U_{Ni} | merkna | Kortvarig ($t < 60$ sek) driftsfrekvent holdespenning |
|---------------|----------------------|--|
| 95 kV | Rullende materiell | 38 kV |
| 125 kV | Rullende materiell | 50 kV |
| 145 kV | Faste installasjoner | 50 kV |
| 170 kV | Faste installasjoner | 70 kV |
| 250 kV | Faste installasjoner | 95 kV |

Luftgap i brytere bør ha høyere holdespenning enn isolasjon. Krav finnes i [EN 50152-2], tabell Z1. Her følges note 3 til tabellen, som innebærer at anbefalt holdespenning blir 95 kV.

3.2.3 Isolasjonsavstand i luft for installasjoner

Med installasjoner i jernbaneanlegg menes spesielt kabler, transformatorer, omformere, nettstasjoner og bryterarrangementer. Ved å ta utgangspunkt i impulsholdespenningene funnet ovenfor finnes minimum isolasjonsavstand ved hjelp av tabell A.3 i [EN 50124-1]. Avstanden er avhengig av forurensningsgrad (PD3, PD4A og PD4B):

- $U_{Ni} = 95$ kV: 160 mm (PD3), 175 mm (PD4), 180 mm (PD4A) 185 (PD4B)
- $U_{Ni} = 125$ kV: 210 mm (PD3), 230 mm (PD4), 235 mm (PD4A og PD4B)
- $U_{Ni} = 145$ kV: 260 mm (PD3), 265 mm (PD4), 270 mm (PD4A og PD4B)
- $U_{Ni} = 170$ kV: **310 mm** (alle forurensningsrader).



Figur 7a.2 Isolasjonsavstander i forhold til forurensningsgrader ihht EN 50124-1, tabell A.3

3.2.4 Isolasjonsavstander i luft for fast avspente ledninger.

Dette er ikke gitt som eget tema i Railway applications-serien, og en må enten bruke de samme verdiene som for installasjoner, eller [FEF] tabell 6-1, med omregnet D_{el} og D_{pp} , til $D_{el, fase-jord}$ og $D_{pp, 2-fas}$, slik som vist i avsnitt 3.1.2.

3.2.5 Isolasjonsavstander i luft for bevegelige avspente ledninger:

Tabell 7a.3 Minimumskrav til isolasjonsavstand er gitt i [prEN 50119].

| | Statisk | Dynamisk |
|--|---------|----------|
| Isolasjonsavstand fase-jord | 150 mm | 100 mm |
| Isolasjonsavstand fase-fase (3-fas 120°) | 260 mm | 175 mm |
| Isolasjonsavstand fase-fase (2-fas 180°) | 300 mm | 200 mm |

Verdien for fase-jord er i overensstemmelse med [FEF] kap 8. Verdier for fase-fase for bevegelige avspente ledere er ikke gitt i [FEF], men forskriften refererer til [EN 50119].

3.2.6 Krypstrømsvei

[EN 50124-1], tabell A.7 gir minste krypstrømsvei for ulike forurensningsgrader og materialgrupper. I tabellens note 2 står det "Minimum krypstrømsvei skal minst være lik minimumsavstanden i luft gitt i tabell A.3". (dvs minst 310 mm).

I avsnitt 6.3.2 i den samme normen ([EN 50124-1]) er det gitt anbefalte avstander for utendørs isolatorer

Tabell 7a.4 Anbefalte krepesstrømsavstander for isolatorer utendørs i henhold til [En 50124-1]

| Forurensningsgrad | Minimum krypstrømsvei |
|--|-----------------------|
| Normale driftsforhold | 24 – 33 mm/kV |
| Ugunstige forhold (Kraftig forurensning, industri, saltvann, tettbebygde områder, naturlig vask) | 36-40 mm/kV |

| | |
|---|-----------|
| Ekstremt ugunstige forhold (tunnel, ikke naturlig vask) | >48 mm/kV |
|---|-----------|

[prEN 50151] (composite insulators) beskriver flere forhold som må vurderes når krypestrømsvei skal bestemmes, men normen gir ingen konkrete tallverdier. Det henvises til [EN 50124-1] og [IEC 60815].

[EN 50152-2] (disconnectors , earthing switches and switches) gir heller ikke noen konkrete verdier i forhold til krypestrømsvei.

Det er viktig å være oppmerksom på at teknisk regelverk krever større avstander en det som er gitt i denne tabellen. Dette skyldes at JBV har tatt hensyn til at det ikke praktiseres vasking av isolatorer. Det medfører at JBV må kjøpe isolatorer som synes en del overdimensjonert i forhold til det som er praksis i andre jernbaneforvaltninger. *En vurdering av investeringskostnader mot vedlikeholdskostnader for å vurdere om det er lønnsomt å fortsette denne praksisen anbefales.*

4 OPPSUMMERING

Verdiene i tabell 7a.5 nedenfor er gitt som en oppsummering av minstekrav i forskrift og normer, med til tillegg på grunn av mekaniske- miljømessige- og praktiske forhold. Verdiene er i overensstemmelse med kravene i kapittel 7.

Tabell 7a.5 Oppsummering av krav gitt i forbindelse med isolasjonskoordinering

| | | Faste installasjoner | Rullende materiell |
|---|--|--|---|
| høyeste systemspenning | U_m | 17,25 kV | 17,25 kV |
| kortvarig driftsfrekvent holdespenning ($t < 60$sek) | | 70 kV | |
| impulsholdespenning | U_{Ni} | 170 kV 145 kV (innendørs og/eller med tilleggsbeskyttelse) | 125 kV 95 kV (med tilleggsbeskyttelse) |
| Isolasjonsavstander i luft, fast avspente ledninger | $D_{el, fase-jord}$ $D_{pp, 2-fas}$ | 250 mm 400 mm (på linjen) 320 mm. (v/ bryter-arrangementer og innføring til transformatorer) | |
| Isolasjonsavstander i luft, bevegelige avspente ledninger | | 250 mm statisk 150 mm dynamisk | |
| krypestrømsvei | | 690 mm (Ugunstige forhold) 828mm (Ekstremt ugunstig, naturlig vask) 897mm (Ekstremt ugunstig, ikke vask) | |

5 REFERANSER

| | |
|-------------|---|
| FEF | Forskrift om elektriske forsyningsanlegg 2006 |
| IEC 60071-1 | Insulation co-ordination Part 1: Definitions, principles and rules 1993 |
| prEN 50119 | Railway applications. Fixed installations Electric traction overhead contact lines 2006 |
| IEC 60185 | Guide for selection of insulators in respect of polluted conditions 1986 |
| EN 50124-1 | Railway applications. Insulation coordination |
| prEN 50151 | Railway applications. Fixed installations Electric traction Special requirements for composite insulators 2003 |
| EN 50152-2 | Railway applications. Fixed installations Single phase disconnectors, earthing switches and switches with U_m above 1 kV 1997 |