



NSB Bane Ingeniørtjenesten

**STRATEGI FOR
JORDING OG SKJERMING
AV ELEKTROANLEGG**

Juni 1994

Prosjektnr: 93/2647 B 763
Utgave/versjon: 1/1
Utarbeidet av: BI
Dato: 01.07.1994
Godkjent av: *K. Lofthus*
Dato: *29/6-94.*

SLUTTRAPPORT
FOR
PROSJEKTET "JORDING AV ELEKTROANLEGG"

Juni 1994

INNHALDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING	3
2 PROSJEKTGJENNOMFØRING	3
2.1 Prosjektets mål	3
2.2 Prosjektorganisasjon	3
2.3 Framdrift	4
2.4 Rapportering	4
3 VIDERE ARBEID	5
4 KOSTNADER	6
5 ERFARINGER	6
5.1 Prosjektorganisasjon	6
5.1.1 Referansegruppe	6
5.1.2 Samarbeid med SINTEF	7
5.2 Prosjektplaner	7

1 INNLEDNING

NSB Bane, Ingeniørtjenesten avslutter med dette prosjektet "Jording av elektroanlegg". Denne sluttrapporten omhandler prosjektets mål, gjennomføring av prosjektet, påløpte kostnader og forslag til videre arbeid.

Faglig hovedrapport, "Strategi for jording og skjerming av elektroanlegg", ligger vedlagt.

2 PROSJEKTGJENNOMFØRING

2.1 PROSJEKTETS MÅL

Prosjektets mål ble definert som følger:

Prosjektet skal utarbeide en helhetlig strategi for jording og skjerming av elektroanlegg i NSB's infrastruktur. Det skal legges spesiell vekt på sameksistens mellom de ulike anlegg.

Strategidokumentet skal gi en overordnet beskrivelse av prinsipper for oppbygging av jordingsanlegg og utforming av skjermingstiltak.

2.2 PROSJEKTORGANISASJON

Oppdragsgivers prosjektansvarlig: Børre Kristiansen Btt

Oppdragsgivers prosjektleder: Per Danielsen Btt

Leverandørs prosjektgruppe:

Prosjektansvarlig: Kolbjørn Lofthus Btk

Prosjektleder: Knut Bergem BItt

Prosjektsekretær: Anne-Lill Solaas Madsen Btkl

Tegner: Kari Pedersen Btkl

Delprosjektleder elkraft: Vidar Martiniussen Btkl

Medarbeidere elkraft: Hege Sveaas Fadum Btkl

Frode Johnsen Btk

Egil Kjellbrott Btk

Delprosjektleder signal: Sverre Eriksen BIss

Medarbeidere signal: J. Sortland BIss

Øystein Borgersen BIs

(Delprosjektleder fram til oktober -93)

Delprosjektleder tele:	Knut Bergem	Bltt
Medarbeidere tele:	Gunalf Bækkeli	Bltr
	Eivind Skorstad	Bltt
	Ole Inge Wibetoe	Bltr

I prosjektet ble det etablert referansegruppe sammensatt av personer fra NSB's EL-tilsyn, NSB Bane Teknisk kontor og Baneregionene. Følgende personer har deltatt i referansegruppen:

Per Danielsen	Btt	(Leder i gruppen)
Ronald Hortman	Btt	
Thor Egil Thoresen	Btt	
Geir Eriksen	Bkt	
Kjell Skare	BrV	
Kjell Atle Gullbrå	BrV	
Arne Kristian Røren	BrS	
Oddvin Birkeland	BrS	

I tillegg engasjerte oppdragsgiver to personer ved SINTEF med tanke på kvalitetsikring av prosjektarbeidet. Følgende personer deltok fra SINTEF:

Kjell Bergh	SINTEF/DELAB
Harald Kullbotten	SINTEF/EFI

2.3 FRAMDRIFT

Prosjektet startet opp 01.05.93. Prosjektet var opprinnelig planlagt fullført 15.06.94, men ble forsinket grunnet presset ressursituasjon ved Ingeniørtjenesten. Endelig sluttdato ble 01.07.94.

Prosjektets rammer ble endret 24.02.94. Prosjektet viste seg langt mer omfattende enn opprinnelig forutsatt av oppdragsgiver og av leverandør, og prosjektets omfang ble redusert samtidig som kostnadsrammene ble økt.

2.4 RAPPORTERING

Prosjektet har levert følgende delrapporter i prosjektet:

Delrapport 1:	Vurdering av dagens praksis/retningslinjer	Leveret 01.09.93
Delrapport 2:	Behovsanalyse	Leveret 01.11.93
Delrapport 3:	Eksternes erfaringer	Leveret 01.12.93
Delrapport 4:	Tekniske løsninger - arbeidsdokument	Leveret 01.01.94
Delrapport 5:	Tekniske løsninger - arbeidsdokument	Leveret 01.03.94
Delrapport 6:	Tekniske løsninger	Leveret 01.05.94

Delrapport 1 gir en innføring i noen av de typiske problemområdene som er representert ved NSB idag. Rapporten er ikke en fullstendig oversikt over dagens praksis, men kan nyttes som en innføring i problemstillingene.

Delrapport 3 gir en beskrivelse av erfaringer og retningslinjer hos andre jernbaneadministrasjoner. Det er spesielt lagt vekt på Banverket i Sverige.

Delrapport 2, 4, 5, og 6 er tidlige utgaver av det strategidokumentet som er vedlagt som hovedrapport i prosjektet.

3 VIDERE ARBEID

Prosjektet har utarbeidet et strategidokument for jording og skjerming av elektroanlegg i NSB's infrastruktur. På bakgrunn av det arbeidet som er utført i prosjektet foreslås videre satsing innen følgende områder.

På bakgrunn av teoretiske beregninger foreslår prosjektet å fjerne "0-feltet". (Se kap. 4.3.2.4 i hovedrapport.) Det bør foretas praktiske målinger for verifisering av beregningene. Videre bør følger ved fjerning av "0-feltet" vurderes og måles for kontaktledningsanlegget.

I hovedrapport konkluderes det med at det er vanskelig å opprettholde både beskyttelse av personer mot farlige berøringsspenninger og skinnebruddsindikering. Det bør derfor foretas vurdering av alternative metoder for kontinuerlig skinnebruddsindikering.

Det bør foretas nærmere vurderinger av jordingstrategi i tunneler

Dersom NSB ønsker å følge foreslåtte strategi, bør prinsippene gjenspeiles i NSB's retningslinjer for elektroanlegg og delanlegg.

Videre bør det utarbeides praktiske håndbøker som gir detaljert beskrivelse av hvordan jording og skjerming skal utføres på bakgrunn av strategi/retningslinjer.

Dersom NSB ønsker å følge foreslått strategi bør det vurderes hvordan dagens systemer best kan tilpasses foreslått strategi. Dette arbeidet bør knyttes opp mot konkrete anlegg.

Det bør utarbeides mal for dokumentasjon/tegning av jordingsanlegg, slik at det kan finnes enhetlig og tilfredstillende dokumentasjon for jordingsanlegg.

Hovedrapport omhandler ikke behandling av elektroniske komponenter/utstyr. Det bør utarbeides håndbok/retningslinjer for lagring og behandling av elektroniske komponenter/utstyr. Det tenkes her spesielt på fare for ESD.

Det bør utarbeides retningslinjer for montasje og drift av elektroanlegg med tanke på beskyttelse av personer og elektromagnetisk sameksistens mellom systemer.

Prosjektgruppa ser behov for nærmere kartlegging av det elektromagnetiske miljø i forbindelse med jernbanedrift. Videre bør dagens systemer vurderes opp mot krav i europasnormer (Se kap. 1.4).

Dersom videre arbeid fordeles mellom ulike fagområder, er det viktig at tverrfaglighet / sameksistens mellom systemer sikres.

4 KOSTNADER

Følgende kostnader har påløpt prosjektet pr. år:

	1993		1994		TOTALT	
	Årsbudsjett	Fakturert	Årsbudsjett	Fakturert	Totalbudsjett (Rev. 1994)	Totalt fakturert
Kostnader	681 000	613 000	700 000	695 000	1 313 000	1 308 000
Antall timer	1 830	1 550	1 770	1 600	3 320	3 150

(Tall oppført i tabellen er avrundede tall)

Årsbudsjettet for 1993 ble ikke oppnådd. Dette skyldes presset ressursituasjon ved NSB Bane Ingeniørtjenesten. Imidlertid ble prosjektets totale budsjett revidert i 1994 for å dekke opp for de midlene som ikke var benyttet i 1993.

Kontrakten fastsetter månedlig fakturering iht forbruk av timer, med kostnadsramme. Det framgår av tabell at prosjektet har holdt seg innenfor prosjektets kostnadsramme (reviderte totalbudsjett.)

Prosjektet anses med denne rapporten å være avsluttet. Faktura for juli kan betraktes som slutfaktura for prosjektet.

5 ERFARINGER

5.1 PROSJEKTORGANISASJON

5.1.1 Referansegruppe

Prosjektgruppen ser positivt på samarbeidet med referansegruppen. Det er viktig at det etableres rutiner for oppfølging av prosjekter av denne størrelse og faglige kompleksitet. Det påpekes imidlertid et par punkter som prosjektgruppe og referansegruppe bør ta hensyn til ved senere prosjekter.

Referansegruppen fikk oversendt alle delrapporter, og kommenterte disse på arbeidsmøter sammen med leverandørs prosjektgruppe. Referansegruppen skulle gi leverandørs prosjektgruppe styringsinformasjon for videre arbeid.

Møtene med referansegruppen bar preg av at mange i gruppen ikke hadde anledning til å møte eller hadde begrenset med tid til forberedelse til møtet. Dette førte til begrenset tilbakemelding fra gruppen.

Diskusjoner i møtene med referansegruppen ble for tidlig preget av detaljer, og gav ikke i tilstrekkelig grad overordnet styring av faglig innhold i prosjektet. Videre var det i arbeidsmøtene vanskelig å frigjøre seg fra diskusjon omkring dagens løsninger, istedet for å se åpent på nye prinsipper for skjerming og jording.

5.1.2 Samarbeid med SINTEF

En gruppe på to personer fra SINTEF var engasjert fra oppdragsgiver for å kvalitetssikre det arbeidet som ble utført i prosjektgruppen, samt gi forslag til mulige løsninger. Det ble avholdt 3 arbeidsmøter i løpet av våren 1994.

Prosjektgruppen hadde et positivt samarbeid med SINTEF. I de første møtene var det ønskelig med større engasjement fra SINTEF. Dette har prosjektgruppen selv noe av skylden for, da det ble avsatt kort tid til gjennomgang av dokumentene før møtet.

5.2 PROSJEKTPLANER

Prosjektet var ikke tilfredstillende presisert ved oppstart av prosjektet. Dette førte til urealistiske planer med tanke på faglig framdrift i prosjektet.

Prosjektets mål ble endret underveis i prosjektets gang.

NSB Bane Ingeniørtjenesten

STRATEGI

FOR

JORDING OG SKJERMING AV ELEKTROANLEGG

Dato: 01.07.94

INNHALDSFORTEGNELSE

1	INNLEDNING	1 - 1
1.1	Bakgrunn	1 - 1
1.2	Hensikt	1 - 1
1.3	Forutsetninger	1 - 2
1.3.1	Skinnebrudd/berøringsfare	1 - 2
1.3.2	Oppbygging av strategidokumentet	1 - 2
1.4	Referansedokumenter	1 - 3
1.5	Forkortelser	1 - 4
1.6	Begrepsforklaring	1 - 5
2	GENERELLE KRAV	2 - 1
2.1	Innledning	2 - 1
2.2	Nasjonale og internasjonale forskrifter og normer	2 - 1
2.3	Beskyttelse av mennesker mot berøringsfarlig spenning	2 - 1
2.3.1	Beskyttelse ved normal drift	2 - 1
2.3.1.1	Kapsling av utstyr	2 - 1
2.3.1.2	Isolering av utstyr	2 - 1
2.3.1.3	Plassering av utstyr utenfor rekkevidde	2 - 2
2.3.2	Beskyttelse ved feilsituasjoner	2 - 2
2.3.2.1	Begrensing av farlig strømgjennomgang	2 - 2
2.3.2.2	Automatisk utkobling av strømtilførsel	2 - 3
2.4	Elektromagnetisk sameksistens mellom anlegg, systemer og utstyr	2 - 3
2.4.1	Generelt	2 - 3
2.4.2	Krav til EMC for elektrisk utstyr	2 - 3
2.4.3	Tiltak der EMC-krav ikke overholdes	2 - 4
2.4.3.1	Tiltak mot ledningsbundet støy	2 - 4
2.4.3.1.1	Overspenningsvern	2 - 4
2.4.3.1.2	Overstrømvern	2 - 5
2.4.3.1.3	Skilletransformator	2 - 5
2.4.3.1.4	Filter	2 - 5
2.4.3.1.5	Radio/fiberoptikk	2 - 5
2.4.3.2	Tiltak mot strålt støy	2 - 6
3	KONTAKTLEDNINGSANLEGG	3 - 1
3.1	Innledning	3 - 1
3.2	Overordnede prinsipper for jording og skjerming	3 - 1
3.2.1	Driftsjord	3 - 1
3.2.2	Beskyttelse mot berøringsfarlige spenninger	3 - 1
3.2.3	Skjerming	3 - 2
3.3	Funksjonelle krav til jording og skjerming	3 - 2
3.3.1	Eksterne grensesnitt	3 - 2
3.3.1.1	Beskyttelse mot berøringsfarlige spenninger	3 - 2
3.3.1.2	Jording av ledende gjenstander i kontaktledningens slyngfelt	3 - 2

3.3.1.3	Begrensing av elektromagnetisk feltkobling	3 - 3
3.3.2	Anleggsintern utforming	3 - 3
3.3.2.1	Beskyttelse mot berøringsfarlige spenninger	3 - 3
3.3.2.2	Utforming av kontaktledningsanleggets returkrets	3 - 4
3.3.2.2.1	Returledning	3 - 4
3.3.2.2.2	Dimensjonering av komponenter/forbindelser i returkretsen	3 - 4
3.3.2.2.3	Isolasjonsnivå	3 - 5
3.3.2.3	Overspenningsvern	3 - 6

4	ELEKTROINSTALLASJONER OG LEDENDE KONSTRUKSJONER LANGS JERNBANELINJEN	4 - 1
4.1	Innledning	4 - 1
4.2	Overordnede prinsipper for jording og skjerming	4 - 1
4.2.1	Beskyttelse mot berøringsfarlige spenninger	4 - 1
4.2.2	Sameksistens mellom systemer/utstyr	4 - 1
4.2.3	Prinsipiell oppbygging av jordnettstruktur	4 - 2
4.3	Funksjonelle krav til jording og skjerming	4 - 4
4.3.1	Eksterne grensesnitt	4 - 4
4.3.1.1	Begrensing av elektromagnetisk feltkobling	4 - 4
4.3.1.2	Begrensing av elektromagnetisk ledningsbundet kobling	4 - 4
4.3.2	Anleggsintern utforming	4 - 4
4.3.2.1	Utstyr plassert innenfor slyngfeltet	4 - 4
4.3.2.1.1	Strekninger med banestrøm i begge skinnestrenger og sporfelter	4 - 4
4.3.2.1.2	Strekninger med banestrøm i begge skinnestrenger og uten sporfelter	4 - 5
4.3.2.1.3	Strekninger med banestrøm i en skinnestreng	4 - 6
4.3.2.2	Utstyr plassert utenfor slyngfeltet	4 - 6
4.3.2.3	Ledende konstruksjoner som befinner seg i begge hovedområdene	4 - 7
4.3.2.4	Avstander mellom områder	4 - 7
4.3.2.5	Lange parallellførte gjenstander	4 - 7
4.3.2.6	Spesielle tiltak for ledende bruer	4 - 7
4.3.2.6.1	Bruer med stor utstrekning uten sporfelter i skinnegang	4 - 8
4.3.2.6.2	Bruer med stor utstrekning, med sporfelter i skinnegang og banestrøm i en skinnestreng	4 - 8
4.3.2.6.3	Bruer med stor utstrekning, med sporfelter i skinnegang og banestrøm i begge skinnestrenger	4 - 9
4.3.2.7	Spesielle tiltak i tunneler, kulverter o.l.	4 - 10
4.3.2.7.1	Lange tunneler uten sporfelter i skinnegang	4 - 10
4.3.2.7.2	Lange tunneler med sporfelter i skinnegang og banestrøm i en skinnestreng	4 - 11
4.3.2.7.3	Lange tunneler med sporfelter i skinnegang og banestrøm i begge skinnestrenger	4 - 12
4.3.2.4	Sporfelter	4 - 13

5	BYGNINGER	5 - 1
5.1	Innledning	5 - 1
5.2	Overordnede prinsipper for jording og skjerming	5 - 1
5.2.1	Prinsipiell oppbygging av jordnettstruktur	5 - 1
5.2.1.1	Jordnettets hovedfunksjoner	5 - 1
5.2.1.2	Trestruktur	5 - 1
5.2.2	Driftsjord	5 - 3
5.2.3	Beskyttelsesjord	5 - 3
5.2.4	Skjerming	5 - 3
5.3	Funksjonelle krav til jording og skjerming	5 - 4
5.3.1	Eksterne grensesnitt	5 - 4
5.3.1.1	Begrensing av elektromagnetisk ledningsbundet kobling	5 - 4
5.3.1.1.1	Inntakspunkt	5 - 4
5.3.1.1.2	Vern mot overstrømmer og overspenninger på kabler	5 - 5
5.3.1.1.3	Filtre/skilletransformator	5 - 5
5.3.1.2	Begrensing av elektromagnetisk feltkobling	5 - 6
5.3.1.3	Grensesnitt mot eksterne jordsystemer	5 - 6
5.3.1.3.1	Jordelektrodeanlegg	5 - 6
5.3.1.3.2	Kontaktledningsanleggets driftsjord	5 - 6
5.3.1.3.3	Tilkobling til E-verk	5 - 6
5.3.1.3.4	Tilkobling til offentlig telenett	5 - 7
5.3.1.3.5	Reservekraftsforsyning fra KL-anlegg	5 - 8
5.3.1.4	Spesielle tiltak i bygninger ved fare for atmosfæriske utladninger	5 - 9
5.3.1.5	Spesielle tiltak i bygninger med høyspenningsforsyning	5 - 9
5.3.2	Anleggsintern utforming	5 - 10
5.3.2.1	Spesifisering av jordnettstruktur	5 - 10
5.3.2.1.1	Byggets hovedjord	5 - 10
5.3.2.1.2	Driftsjord	5 - 10
5.3.2.1.3	Beskyttelsesjord	5 - 12
5.3.2.1.4	Skjermjord	5 - 13
5.3.2.2	Begrensing av elektromagnetisk ledningsbundet kobling	5 - 15
5.3.2.2.1	Filtrering av ledningsbundet støy	5 - 15
5.3.2.2.2	Overspenningsvern	5 - 15
5.3.2.2.3	Reservestrømsforsyning	5 - 16
5.3.2.3	Begrensing av elektromagnetisk feltkobling mellom systemer	5 - 16
5.3.2.3.1	Plassering av utstyr	5 - 16
5.3.2.3.2	Kabelføring	5 - 16
5.3.2.3.3	fordelingsstativ for lavspenningsforsyning og kommunikasjonslinjer	5 - 17
5.3.2.4	Spesielle tiltak for bygninger med høyspenningsforsyning	5 - 17
6	ANLEGG TILKNYTTET BANESTRØMFORSYNING	6 - 1
6.1	Innledning	6 - 1
6.2	Overordnede prinsipper for jording og skjerming	6 - 1
6.3	Funksjonelle krav til jording og skjerming	6 - 2
6.3.1	Eksterne grensesnitt	6 - 2
6.3.1.1	Grensesnitt mot kontaktledningsanlegget	6 - 2
6.3.1.2	Grensesnitt mot E-verk	6 - 3
6.3.1.2.1	Inntak av høyspenningstilførsel	6 - 3
6.3.1.2.2	Inntak av lavspenningstilførsel	6 - 3
6.3.2	Anleggsintern utforming	6 - 3
6.3.2.1	Jordnettstruktur for høyspenningsutstyr	6 - 3

6.3.2.2	Jordnettstruktur for lavspennings- og svakstrømsutstyr i høyspenningssinnstallasjoner	6 - 4
6.3.2.3	Hovedjordskinne	6 - 4
6.3.2.4	Sameksistens mellom systemer	6 - 5
7	KABELANLEGG	7 - 1
7.1	Innledning	7 - 1
7.2	Overordnede prinsipper for jording og skjerming	7 - 1
7.3	Funksjonelle krav til jording og skjerming	7 - 3
7.3.1	Eksterne grensesnitt	7 - 3
7.3.1.1	Høyspenningskabel	7 - 3
7.3.1.2	Lavspenningskabel	7 - 3
7.3.1.3	Kommunikasjonskabel	7 - 5
7.3.1.3.1	Optisk fiberkabel	7 - 5
7.3.1.3.2	Metalliske kabler	7 - 5
7.3.2	Anleggspesifikk utforming	7 - 6
8	EKSPLOSJONSFARLIGE ANLEGG	8 - 1
8.1	Innledning	8 - 1
8.2	Ekvipotensialisering	8 - 1
9	JORDELEKTRODEANLEGG	9 - 1
9.1	Innledning	9 - 1
9.2	Generelle funksjonskrav	9 - 1
9.3	Prinsipiell utforming	9 - 1
9.3.1	Elektrodetype	9 - 1
9.3.2	Avstander	9 - 2
9.3.2.1	Avstand mellom elektroder i forskjellige elektrodeanlegg	9 - 2
9.3.2.2	Avstand mellom elektroder i samme elektrodeanlegg	9 - 2
9.3.2.3	Avstand mellom elektroder og skinnegangen	9 - 2
9.3.3	Plassering i forhold til anlegg som skal jordes	9 - 2
9.3.4	Optimal utførelse ved forskjellige grunnforhold	9 - 3
9.3.4.1	Generelt	9 - 3
9.3.4.2	Tiltak ved vanskelig grunnforhold	9 - 3
10	DOKUMENTASJON / TEGNING	10 - 1
10.1	Innledning	10 - 1
10.2	Behov for dokumentasjon	10 - 1

VEDLEGG:

VEDLEGG TIL KAPITTEL 1

Vedlegg 1.1 Generell bakgrunns litteratur

VEDLEGG TIL KAPITTEL 2

Vedlegg 2.1 Generell teori/begreper i forbindelse med EMC
Vedlegg 2.2 Oversikt over europeiske EMC-normer

VEDLEGG TIL KAPITTEL 3

Vedlegg 3.1 Definisjon av kontaktledningens slyngfelt
Vedlegg 3.2 Teori om sugetransformatoren
Vedlegg 3.3 Teori om filterimpedanser

VEDLEGG TIL KAPITTEL 4

Vedlegg 4.1 Driftsforhold for sporfelte
Vedlegg 4.2 "=-felt" i forbindelse med sugetransformator

VEDLEGG TIL KAPITTEL 9

Vedlegg 9.1 Overgangsmotstanden fra elektrodeanlegget til jord
Vedlegg 9.2 Testprinsipp for jordmotstand (Potensialfall)

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Det elektromagnetiske miljø i forbindelse med jernbanedrift preges av mange integrerte systemer som alle vil kunne påvirke hverandre.

Tradisjonelt har det ved NSB vært praktisert uavhengige jordingsfilosofier innen de ulike elektrotekniske fagområdene. Dette har ført til delvis motstridende utførelse av jordingsanlegg, som i sin tur har forårsaket feilsituasjoner og uakseptable farespenninger.

På denne bakgrunn framstår det et klart behov for felles jordingsstrategi for alle elektroanlegg i NSB's infrastruktur. Utover dette er det behov for å se på den totale sameksistens mellom elektrotekniske utstyr/systemer i NSB's infrastruktur.

1.2 HENSIKT

Prosjektet skal utarbeide en helhetlig strategi for jording og skjerming av elektroanlegg i NSB's infrastruktur.

Strategi er i denne sammenheng definert som en overordnet beskrivelse av prinsipper for oppbygging av skjerming- og jordingstiltak. Strategien omfatter elektroanlegg i NSB's infrastruktur i nær tilknytning til togdriften. Med det forstås faste anlegg og systemer langs jernbanelinjer. Rullende materiell og faste anlegg tilhørende infrastrukturen, som ikke ligger i nær forbindelse med jernbanelinje, er ikke målgruppe for strategien.

Strategidokumentet er ment å være et hjelpemiddel ved prosjektering av nye totalanlegg og ved eventuell utarbeidelse av regelverk.

Strategien er utarbeidet med tanke på nye totalanlegg. Prinsippene kan imidlertid også benyttes ved utbygging av nye delanlegg og ved oppretting på eksisterende anlegg. I den forbindelse er det viktig å vite forutsetningene for den utforming som her er beskrevet, i forhold til den situasjon som vil være gjeldende i det eksisterende anlegget.

Dokumentet må ses i sammenheng. Fokusering på deler av strategien kan gi et feil helhetsbilde.

Jording av tekniske anlegg utføres for å oppnå beskyttelse av personer, ekvipotensialisering, avledning/skjerming mot elektromagnetisk støy og referansepunkt/returforbindelse. I mange tilfeller vil jording være en av flere metoder for å oppnå den ønskede funksjonalitet. I disse tilfellene er det unaturlig å skille jordingsstrategi fra de andre tiltakene som kan utføres for å oppnå ønsket funksjonalitet. Prosjektgruppa har på denne bakgrunn valgt å la strategien omfatte følgende:

- beskyttelse av personer mot farlige berøringsspenninger
- elektromagnetisk sameksistens mellom anlegg, systemer og utstyr
- driftsjordkretser (returforbindelser).

De deler av dokumentet som står med skrift i kursiv er ment som begrunnelse/forklaring av de krav som anbefales.

1.3 FORUTSETNINGER

1.3.1 SKINNEBRUDD/BERØRINGSFARE

Skinnebruddsindikering og beskyttelse mot farlige berøringsspenninger er to aspekter som blir påvirket av utforming av jordingsanlegg. På det tidspunktet dette dokumentet skrives finnes det ikke andre kommersielt tilgjengelige systemer som ivaretar kontinuerlig skinnebruddsindikering enn sporfelter. Som en forutsetning for dette dokument skal sporfelter ivareta skinnebruddsindikering, mens beskyttelsesjording, ekvipotensialisering, osv skal ivareta beskyttelse mot farlige berøringsspenninger.

I dette dokumentet avdekkes det flere steder at det er vanskelig å opprettholde både skinnebruddsindikering og beskyttelse mot farlige berøringsspenninger. Dette medfører at det ikke er mulig å fastsette praktiske og holdbare retningslinjer for utførelse av disse systemene mhp de krav som er satt. Utførelsen vil i hvert enkelt tilfelle være et kompromiss. Dette er ikke ønskelig.

Prosjektgruppen anbefaler at begge aspektene må ivaretas, og anbefaler derfor at NSB gjør en vurdering om det finnes noen diskrete systemer som kan ivareta skinnebruddsindikering minst like godt som sporfeltene.

1.3.2 OPPBYGGING AV STRATEGIDOKUMENTET

Kapittel 2 omhandler generelle krav til jording og skjerming av elektroanlegg. Videre spesifiseres i resterende kapitler hvordan anlegg skal utformes for å sikre beskyttelse mot farlige berøringsspenninger og sameksistens mellom anlegg.

Kapittel 10 gir overordnede krav til hvilken dokumentasjon som bør finnes med tanke på jordingsanlegg.

Strategidokumentet gir en topologisk/strukturell beskrivelse av jordingssystemer, separasjon av systemer/anlegg og isolasjonsnivåer.

I den grad det er praktisk mulig er strategien forsøkt å ikke beskrive spesifikke anlegg/systemer. Det ønskes å åpne for at ny teknologi og nye systemer kan dekkes av strategidokumentet. Imidlertid møter denne målsettingen sin begrensing ved enkelte jernbanespesifikke systemer som ikke kan beskrives uten konkret henvisning til anleggets utforming. (Eksempelvis sporfelter)

Strategidokumentet gir en funksjonell og strukturell beskrivelse av skjerming- og jordingstiltak. Dette betyr at konkrete verdier og detaljerte beskrivelser av utforming ikke kommer inn under strategien.

Strategidokumentet beskriver utførelse av anlegg. Det tas ikke hensyn til rutiner for montasje, måling og drift av anlegg. Videre inngår ikke beskrivelse av oppbevaring og lagring av utstyr/komponenter i dette dokumentet.

Strategidokumentet omfatter ikke beskrivelse av felpåvirkninger på mennesker, og hvordan dette eventuelt kan begrenses.

Strategidokumentet omfatter ikke beskyttelse mot korrosjon i jordingsanlegg.

Anlegg/områder som det er et begrenset antall av ved NSB, og som er spesielle, vil ikke beskrives på samme detaljeringsnivå som øvrige anlegg/områder. (Eksempelvis eksplosjonsfarlige områder og lynavlederanlegg.)

Strategidokumentet er utarbeidet med tanke på at leseren har god elektroteknisk kompetanse.

1.4 REFERANSEDOKUMENTER

Det gis her en oversikt over de dokumenter strategidokumentet refererer til. Oversikt over generell bakgrunns litteratur er gitt i vedlegg 1.1.

- 1 Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner m.m. (FEB-91)
Norges vassdrags- og energiverk, januar 1990
- 2 Forskrifter for elektriske forsyningsanlegg (FEF-88)
Norges vassdrags- og energiverk, oktober 1987
- 3 Tillegg til Instruks for Televerket, del XI teknikk - Linje og kabelarbeid.
Sikringsforskrifter T3-G2
Televerket
- 4 prEN 50122-1 Railway applications (DRAFT)
CLC/SC9XC(sec) 87, dec 1993
- 5 Rec. K.27 Protection against interference - Bonding configurations and earthing
inside a telecommunication building.
ITU-T (tidl. ITU-CCITT) , 1991
- 6 Rundskriv NT-KA-TI nr. 7/88 til teleinstallatører
Statens teleforvaltning, 19.12.88.
- 7 EN 50081-2 Electromagnetic compatibility - Generic emission standard,
Part 2: Industrial environment
CENELEC, 1994
- 8 prEN 50082-2 Electromagnetic compatibility - Generic immunity standard,
Part 2: Industrial environment (FINAL DRAFT)
CENELEC, 30.11.93.
- 9 EN 50014 Electrical apparatus for potentially explosive atmospheres. General
requirements. (2nd edition)
CENELEC (TC 31), 1992
- 10 EN 50015 Oil immersion "o".
CENELEC (TC 31), 1977
- 11 EN 50016 Pressurized apparatus "p".
CENELEC (TC 31), 1977
- 12 EN 50017 Powder filling "q".
CENELEC (TC 31), 1977
- 13 EN 50018 Flameproof enclosure "d"
CENELEC (SC 31-2), 1977

- 14 EN 50019 Increased safety "e".
CENELEC (SC 31-4), 1977
- 15 EN 50020 Intrinsic safety "i".
CENELEC (SC 31-3), 1977
- (EN 50 014 ==> EN 50 020 er bundet sammen i felles bok, betegnet NEN 110-116.83.)*
- 16 Lærebok for kontaktledningsingeniører. Del 2. (1993)
Per Sture

1.5 FORKORTELSER

CENELEC:	Comité Européen de Normalisation Electrotechnique (European Committee for Electrotechnical Standardization)
EMC:	ElectroMagnetic Compatibility
EMI:	ElectroMagnetic Interference
EN:	EuropaNorm
ESD:	ElectroStatic Discharge
FEB:	Forskrifter for Elektriske Bygningsinstallasjoner
FEF:	Forskrifter for Elektriske Forsyningsanlegg
IT:	Kodebeskrivelse av lavspenningforsyning. Angir at forsyningssystemet er isolert i forhold til jord, og at utsatte anleggsdeler er direkte jordet.
KL:	Kontaktledning
PE:	Protective Earth (Beskyttelsesjord)
SRJ:	Signal Referanse Jord
SSK:	Samleskinne
TN:	Kodebeskrivelse for lavspenningforsyning. Angir at forsyningssystemet er direkte jordet, og utsatte anleggsdeler føres til nøytralpunkt i forsyningstransformator.
UIC:	Union Internationale des Chemins de Fer

1.6 BEGREPSFORKLARING

"0-FELT":	Skinneseksjon ved sugetransformator som er elektrisk isolert fra skinnegangen forøvrig og har tilkobling til midtuttaket på sugetransformatorens sekundærvikling.
ANTENNEVIRKNING:	En gjenstands evne til emisjon og mottak av elektromagnetiske felt.
BALANSERT FORBINDELSE:	Forbindelse der det bare settes opp felter mellom lederne tiltenkt signal- eller energioverføring. Totalt felt mot omverden er i prinsippet lik null.
BANESTRØM:	Den elektriske strøm som brukes til fremdrift og oppvarming av tog.
BERØRINGSPENNING:	Spenning mellom deler som kan berøres samtidig.
BESKYTTELSESDJORD:	Varig ledende forbindelse fra utsatte anleggsdeler til jord eller andre ledende gjenstander som i seg selv har god jordforbindelse.
BESKYTTELSESELEDER:	Leder som, for å forhindre farlige støt, forbinder utsatte deler eller andre ledende deler til hovedjordskinne, jordelektrode eller jordet punkt.
BYGGETS HOVEDJORD:	Hovedjordskinne i bygning med direkte kontakt til jordelektrode. Beskyttelsesledere, inklusive ledere for utjevningsforbindelser og eventuelle ledere for driftsjording, skal tilknyttes hovedjordskinne.
BYGNING:	Med bygning forstås de steder der mennesker kan oppholde seg. I denne sammenheng omfatter bygninger kun NSB-bygninger inneholdende elektrotekniske installasjoner.
COMMON MODE SPENNING:	Langsspenning. Den spenning som opptrer mellom leder(e) og jord.
DIFFERENTIAL MODE SPENNING:	Tverrspenning. Den spenning som opptrer mellom ledere i en balansert/symmetrisk overføring.
DIREKTE BERØRING:	En persons direkte berøring med spenningsførende del.
DRIFTSJORD:	God ledende forbindelse mellom et anleggs driftstrømkrets og jord.
ELEKTRISK FELT:	I dette dokumentet beskriver uttrykket elektrisk felt et spesialtilfelle av elektromagnetiske felt, der feltet er dominert av den elektriske feltvektor som energibærer. Elektriske felt dannes i hovedsak fra ledere med høy vekselspenning.
ELEKTRISK UTSTYR:	Elektrisk utstyr er definert i FEB-91: "Gjenstander og materiell benyttet for produksjon, omforming, overføring, fordeling, bruk eller måling av elektrisk energi, dvs. maskiner, apparater, måle-instrumenter, beskyttelses-anordninger, installasjonsmateriell, bruksgjenstander, mv."

ELEKTROINSTALLASJON LANGS JERNBANELINJA:	Alle typer elektroinstallasjoner plassert i nærheten av jernbanetraséen.
ELEKTROMAGNETISK FELT:	Vekselfelt der elektrisk og magnetisk feltvektor veksler om å være energibærer. Begrepet elektromagnetsik felt benyttes som et felles begrep for alle elektromagnetiske vekselfelt, inkludert spesialtilfeller som i dette dokumentet betegnes elektrisk og magnetisk felt.
EMC:	ElectroMagnetic Compatibility - Elektromagnetisk sameksistens. Utstys evne til å fungere tilfredstillende i sitt elektromagnetiske miljø, uten å forårsake utålelig elektromagnetisk forstyrrelse på noe som helst i dette miljøet.
EMI:	ElectroMagnetic Interference - Elektromagnetisk forstyrrelse. Foringelse av funksjonalitet hos en enhet, overføringskanal eller system forårsaket av elektromagnetisk påvirkning.
EMISJON:	Utstråling.
EMS:	ElectroMagnetic Susceptibility - Elektromagnetisk mottaklighet. Utstys eller systemers manglende evne til å virke uten redusert tyeevne/funksjonalitet i nærvær av elektromagnetisk støy.
E-VERKS JORD:	Beskyttelsesjord i Elektrisitetsverkets nett.
EKVIPOTENSIALISERING:	Potensialutjevning. Ingen potensialforskjeller i gitte område.
ESD:	ElectroStatic Discharge. Elektrostatisk utladning. Overføring av elektrisk ladning mellom legemer med forskjellig elektrostatisk potensial. Overføring skjer ved kontakt mellom legemene eller ved luftutladning pga. kort avstand mellom legemene.
FILTERIMPEDANS:	Se vedlegg 3.3
GALVANISK SKILLE:	Elektrisk isolert skille i en krets.
HOVEDJORDLEDER:	Beskyttelseleder som forbinder hovedjordskinne til jordelektrode.
HØYSPENNING:	Spenning over 1000 V vekselspanning eller 1500 V likespenning.
IMMUNITET:	Motstandsdyktighet. (Beskriver motsatte fenomen enn mottakelighet.)
INDIREKTE BERØRING:	En persons berøring med utsatt anleggsdel som er spenningsatt som følge av feil.
JORD:	Det ledende jordsmonn hvis elektriske potensiale pr. definisjon overalt blir betraktet lik null.
JORDELEKTRODE:	Ledende deler plassert i jord/sjø for å gi elektrisk kontakt med denne.

JORDING:	Tilkobling til et jordingsanlegg.
JORDNETT:	Sammenkobling av jordledere vil danne et nett. Dette nettet betegnes jordnett. Typisk struktur for jordnett er treformet (stjerneformet), maskeformet, eller kombinasjon av disse.
JORDPLAN:	Plan av ledende materiale.
KONTAKTLEDNINGS-ANLEGG:	Kontaktledningsanlegg omfatter kontaktledningssystem og returforbindelse for kjørestøm.
LAVSPENNING:	Spenning opp til og med 1000 V vekselspanning eller 1500 V likespenning.
LOKALKABEL:	Kabler for punkt-til-punkt-forbindelser benyttet utendørs over korte avstander.
MAGNETISK FELT:	I dette dokumentet beskriver uttrykket magnetisk felt et spesialtilfelle av elektromagnetiske felt, der feltet er dominert av den magnetiske feltvektor som energibærer. Magnetfelt dannes i hovedsak fra ledere med høy vekselstrøm.
N-LEDER:	Nøytral - leder. Returforbindelse i TN lavspenningforsyning.
NØYTRAL JORD:	Jordområde med potensialforhold som ikke er påvirket av noe elektrisk anlegg.
OBJEKT:	Elektrisk installasjon eller ledende gjenstand.
OVERGANGSMOTSTAND TIL JORD:	Motstand mellom jordelektrode/ jordelektrodeanlegg og nøytral jord.
OVERSPENNINGSVERN:	Avleder som ved påtrykk av en gitt spenning danner en lavohmig forbindelse til jord. Avlederen skal være høyohmig under normal drift. Eventuelt kan overspenningsvern være et gnistgap.
PE-LEDER:	Protective Earth - leder. Se beskyttelsesleder.
SIGNAL REFERANSE JORD:	Returforbindelse for ubalanserte signaloverføringer / referansepotensial for elektronisk utstyr.
SKJERM:	Begrensning av elektromagnetisk kobling mellom enheter eller systemer. Begrensning av elektromagnetisk kobling oppnås ved helomsluttende metallisk skjerm (eksempelvis en kabelskjerm), virtuell skjerm som gir redusert elektromagnetisk kobling (eksempelvis avstand mellom enheter/ systemer), eller ved en kombinasjon av disse. Fellesbegrepet generalisert skjerm benyttes ofte for å understreke at en skjerm ikke nødvendigvis er en metallisk skjerm.
SKJERMJORD:	Skjermjord omfatter alle metalliske skjermmer og deres forbindelse til PE-nettet.

SKRITTSPENNING:	Potensialforskjell mellom to punkter i marken med avstand tilsvarende en persons skrittlengde.
SLYNGFELT:	Se vedlegg 3.1
SPESIFIKK JORDMOTSTAND	Motstand mellom to motstående sider i en jordterning med kantlengde 1 meter. (Angis i ohmmeter.)
SPORFELTER:	System for deteksjon av tog. Benytter skinnegangen som transmisjonsmedium.
UBALANSERT FORBINDELSE:	Forbindelse der det benyttes felles returforbindelse for flere separate kretser eller at det er lederne i forbindelsen har ulik impedans mot jord. Ubalanserte forbindelser omgir seg med elektromagnetiske felt.
UTSATT ANLEGGSDDEL:	Ledende del som kan berøres og som normalt ikke er spenningførende, men som kan bli spenningsførende som følge av feil.
VAGABONDERENDE STRØMMER:	Strømmer som benytter andre veier enn opprinnelig tiltenkt.

2 GENERELLE KRAV

2.1 INNLEDNING

Det gis i dette kapitlet overordnede krav til elektroanlegg ved NSB med tanke på beskyttelse av mennesker og utstyr, og sameksistens mellom systemer.

2.2 NASJONALE OG INTERNASJONALE FORSKRIFTER OG NORMER

Elektroanlegg ved NSB skal overholde de krav som stilles i nasjonale og internasjonale forskrifter. I hovedsak omfatter dette de retningslinjer som er nedfelt i "Forskrifter for elektriske forsyningsanlegg" (FEF-88) og "Forskrifter for elektriske bygningsinstallasjoner" (FEB-91).

Elektriske installasjoner, systemer og utstyr skal overholde internasjonale krav til immunitet mot og emisjon av elektromagnetisk energi.

2.3 BESKYTTELSE AV MENNESKER MOT BERØRINGSFARLIG SPENNING

2.3.1 BESKYTTELSE VED NORMAL DRIFT

Mennesker skal være beskyttet mot fare som kan oppstå ved direkte berøring av spenningsførende deler av installasjoner og utstyr.

Beskyttelsen skal hindre mulig strømgjennomgang gjennom mennesker, eller sikre at den mulige strømmen begrenses til ufarlig størrelse.

Beskyttelse mot elektrisk støt ved berøring av spenningsførende deler skal oppnås ved en eller flere av følgende tiltak:

2.3.1.1 Kapsling av utstyr

Kapslingsgraden skal være slik at "alminnelige personer" ikke blir utsatt for elektrisk støt ved berøring av utstyret. I tillegg må kapsling være slik at utstyret ikke blir ødelagt av støv og vann.

Graden av beskyttelse er beskrevet i FEB-91 §202 og angir beskyttelse slik at mennesker unngår å berøre eller komme nær spenningsførende deler, og beskyttelse mot inntregning av vann og støv. Ved inntregning av vann og støv kan det oppstå feil på utstyret som både kan medføre funksjonssvikt og berøringsfare.

2.3.1.2 Isolering av utstyr

Isolasjonsmotstand skal ha en verdi som sikrer at det ikke oppstår potensialøkning på utsatte anleggsdeler. Isolasjonsmotstand mellom en spenningsførende leder og jord skal ha en slik verdi at den tilfredsstillende krav som er beskrevet i FEB-91 § 512.1.6.

Isolasjonsnivået angir motstanden mellom leder og jord. For å unngå elektrisk støt er det viktig at isolasjonsmotstanden har en verdi som sikrer at man ikke får en potensialøkning på jordleder. Kravene til isolasjonsmotstanden er avhengig av driftsspenningen.

Isolasjonsmotstand for utstyr skal tilsvare isolasjonsmotstand i tilhørende spenningsførende ledere.

Utstyr som opererer på forskjellige spenningsnivåer skal ha isolasjonsnivået som tilfredsstillende høyeste driftsspenning eller galvanisk skille mellom de forskjellige spenningsnivåene.

Ved bruk av galvanisk skille må det påses at det galvaniske skille har høyeste isolasjonsnivå.

2.3.1.3 Plassering av utstyr utenfor rekkevidde

Mennesker skal ikke kunne komme i tilfeldig kontakt med spenningsførende deler. Dette oppnås ved fysisk plassering eller bruk av hindre.

Med hindre menes f.eks. skap, gjerder ol. Dersom hindrene er av ledende materialer må disse være sikret slik at man unngår elektrisk støt ved feil.

Avstander og krav til hindre er beskrevet i FEB-91 § 412.3 og § 412.4, samt i forslag til internasjonal standard; CENELEC prEN 50122-1 (Dec. 93).

CENELEC prEN 50122-1 (Dec. 93) skiller kravene til rekkevidde mellom publikumsområder og begrensede områder. Med publikumsområder menes områder som "alminnelige personer" har muligheten til å befinne seg i. Med begrensede områder menes områder hvor kun kvalifiserte mennesker har lov til å oppholde seg. (Med "kvalifiserte mennesker" forstås personer som i kraft av sin opplæring/stilling har lov til å bevege seg i områder som har begrenset tilgang.)

2.3.2 BESKYTTELSE VED FEILSITUASJONER

Mennesker skal være beskyttet mot fare som kan oppstå ved berøring av anleggsdel som kan bli spenningsatt ved feil. (indirekte berøring)

Beskyttelsen skal hindre mulig strømgjennomgang gjennom mennesker, sikre at den mulige strømmen begrenses til ufarlig størrelse, eller sikre automatisk utkobling av strømtilførselen når det oppstår feil som kan føre til farlig strømgjennomgang for mennesker som er i berøring med utsatte deler.

Mennesker skal være beskyttet mot skadelig virkning som følge av overstrøm eller overspenninger ved feil, kortslutning, atmosfæriske utladninger o.l.

2.3.2.1 Begrensing av farlig strømgjennomgang

Anleggsdeler som kan bli spenningsatt ved feil skal beskyttelsesjordes. Beskyttelsesjord skal sikre at impedans i beskyttelsesjordleder og jordelektrode er langt mindre enn impedans gjennom et menneske.

Impedansen må være lav for å sikre at strømmen avledes via beskyttelsesjord. Dimensjonering av beskyttelsesjordleder er gitt i FEB 91 §543, og utforming av jordelektroder er beskrevet i FEB 91 § 542.2 og i kap.9.

Anleggsdeler som kan bli spenningsatt ved feil og som kan berøres samtidig, skal ha utjevningsforbindelse. Utjevningsforbindelse følger krav til beskyttelsesjordleder.
Utjevning sikrer samme potensialet, og strømgjennomgang gjennom mennesker vil reduseres.

2.3.2.2 Automatisk utkobling av strømtilførsel

Dersom det ikke kan sikres at berøringsspenning holdes under et spesifisert nivå, skal berøringens varighet holdes under en gitt grense. Dette oppnås ved automatisk utkobling av strømtilførsel.

Vernet som skal koble ut strømtilførselen skal ha en maksimal utkoblingstid som er beskrevet i FEB-91 § 413.1.

Den maksimale utkoblingstiden er i denne paragrafen gitt som en funksjon av forventet berøringsspenning.

2.4 ELEKTROMAGNETISK SAMEKSISTENS MELLOM ANLEGG, SYSTEMER OG UTSTYR

2.4.1 GENERELT

Elektriske installasjoner skal utformes og plasseres slik at de ikke uakseptabelt påvirker omliggende elektriske installasjoner, eller påvirkes av disse.

Vedlegg 2.1 gir utdypende beskrivelse av ulike begreper og fenomener i forbindelse med elektromagnetisk sameksistens, samt beskrivelse av typiske koblingsfenomenen i jernbanemiljø.

Elektriske installasjoner skal utformes slik at de ikke forårsaker skade på omliggende elektriske installasjoner.

Elektriske installasjoner skal være slik utført at det ikke er noen fare for antennelse av brennbart materiale på grunn av for høy temperatur eller elektrisk lysbue.

2.4.2 KRAV TIL EMC FOR ELEKTRISK UTSTYR

Alt elektrisk utstyr som skal benyttes i NSB's infrastruktur i nær tilknytning til togdriften skal overholde følgende krav:

- Alt elektrisk utstyr / systemenheter skal overholde de krav til emisjon som er angitt i EN 50 081-2
- Alt elektrisk utstyr / systemenheter skal overholde de krav til immunitet som er angitt i prEN 50 082-2

Kravene er gjeldende krav til EMC for industrielt miljø, definert i forbindelse med EU's EMC direktiv. Ved anskaffelse av nytt utstyr skal disse kravene legges til grunn.

Norge er som medlem av CENELEC forpliktet til å innføre Europa Normer som norske normer innen et halvt år etter godkjenningen av EN-normen.

De standarder det refereres til i dette kapittelet er generelle standarder. Det vil i noen tilfeller finnes egne produktstandarder eller produktklassestandarder, som da skal benyttes. Vedlegg 2.2 gir nærmere beskrivelse av europeiske EMC-normer.

Ut fra de elektromagnetiske miljøer som idag er spesifisert i EN-normene, er det naturlig å la jernbanemiljøet inngå i det definerte industrielle miljøet. Kontaktledningsanlegget, høyspenningsinstallasjoner og lange signal-/tele-/data-linjer er karakteristisk for industrielt miljø. Det utarbeides retningslinjer for spesifisert jernbanemiljø av UIC. Dette arbeidet er ved utgivelse av dette dokumentet ikke avsluttet.

2.4.3 TILTAK I SYSTEMER DER EMC-KRAV IKKE OVERHOLDES

Kravene spesifisert i kap 2.4.2 setter en viss standard på utstyr. Imidlertid har kravene sine begrensninger. Når utstyr settes sammen i systemer er det ikke gitt at systemet selv overholder kravene, selv om alle delkomponenter gjør det. I hovedsak vil et system ha økt sin topologiske størrelse, og vil dermed være mer mottakelig for påvirkning fra andre systemer, i tillegg til at det selv vil påvirke andre systemer i større grad en hva kravene skulle tilsi.

På bakgrunn av dette er det behov for å sette ytterligere krav når utstyr skal settes sammen i systemer og nett. Det må kreves at den økte elektromagnetiske koblingen reduseres tilbake til miljøets grenser. Dette kan gjøres ved fornuftig plassering av utstyr og systemer i forhold til hverandre og ved skjerming av ledningsbundet og strålt støy. (Det må være balanse mellom de skjermingstiltak som utføres mot ledningsbundet støy og de som utføres mot strålt støy. Eksempelvis vil et skjermet rom med god demping av strålt støy ikke fungere etter sin hensikt dersom ikke filteret for innkommende linjer har tilsvarende demping av støysignaler.)

2.4.3.1 Tiltak mot ledningsbundet støy

De enheter/systemer som ikke overholder krav til ledningsbundet støy angitt i kap. 2.4.2 skal utstyres med vern/filtre som reduserer koblingen til et akseptabelt nivå.

2.4.3.1.1 Overspenningsvern

Overspenningsvern/avleder er en komponent som ved et definert spenningsnivå danner en lavohmig forbindelse fra leder til jordsystemet. Ved normal drift skal overspenningsvernet danne en høyohmig forbindelse.

Alle ledere mellom beskyttet leder og overspenningsvern, og mellom overspenningsvern og jordsystem skal være kortest mulig for å oppnå lav impedans. Impedansen over vernet med tilhørende ledere må være mye mindre enn systemets/utstyrets impedans mot jord.

Forholdet mellom impedans i vern med tilhørende ledere og impedans mellom system/utstyr og jord må være slik at hoveddelen av spenningspuls avledes til jord via vernet.

Videre er det viktig at vernet og tilhørende ledere har lav induktans. Ved raske spenningspulser som oppstår ved lynnedslag vil høy induktans føre til uakseptable spenninger, grunnet høyfrekvent spenningspuls.

Beskyttelse mot overspenning er beskrevet i FEB-91 § 44.

2.4.3.1.2 Overstrømvern

Overstrømvern/sikring er en komponent som bryter en galvanisk forbindelse når strømmen overstiger definert verdi og varighet.

Beskyttelse mot overstrøm er beskrevet i FEB-91 § 43.

2.4.3.1.3 Skilletransformator

Skilletransformator innfører galvanisk skille i kommunikasjon- eller kraftforsyningsforbindelser.

Skilletransformator stopper lavfrekvente common-mode spenninger. Høyfrekvente common-mode spenninger overføres imidlertid kapasitivt fra primær til sekundærsiden av skilletransformatoren. For å begrense den høyfrekvente koblingen over transformatoren kan det benyttes jordet metallplate mellom primær og sekundær siden.

Skilletransformator vil ikke begrense lavfrekvent differential-mode spenninger. Høyfrekvente differential-mode spenninger vil imidlertid dempes over skilletransformatoren grunnet induktansen den representerer.

Skilletransformator benyttes i kraftforsyningsforbindelser for å begrense uønskede common-mode spenninger og uønskede høyfrekvente differential-mode spenninger.

I kommunikasjonsforbindelser benyttes skilletransformator for begrenning av uønskede common-mode spenninger. Imidlertid vil demping av differential-mode spenninger også omfatte det signalet som ønskes overført. Dermed begrenses hyppigheten av skilletransformator i kommunikasjonsforbindelser.

2.4.3.1.4 Filter

Filtre kan utformes med tanke på begrenning av uønskede common-mode og differential-mode spenninger. Det påpekes imidlertid at differential-mode støyspenninger i det samme frekvensområdet som det ønskede signalet, ikke kan filtreres bort.

Det påpekes at filtre ikke er ideelle og vil representere et tap i den krets de plasseres i.

2.4.3.1.5 Radio/fiberoptikk

For kommunikasjonsforbindelser kan galvanisk skille oppnås ved bruk av radiosamband eller fiberoptiske samband / optokoblere.

2.4.3.2 Tiltak mot strålt støy

De enheter som ikke overholder krav til strålt støy angitt i kap. 2.4.2 skal sikres slik at de ikke påvirker eller påvirkes av omverden i uakseptabel grad. Dette kan gjøres ved skjerming av utstyret i tilstrekkelig grad til å begrense kobling mot omverden til et akseptabelt nivå.

Begrenset feltkobling kan oppnås ved:

- Optimal utforming av systemer slik at kobling til omverden minimaliseres.
- Økning i avstand mellom systemer.
- Metalliske eller delvis metalliske skjermer.

3 KONTAKTLEDNINGSANLEGG

3.1 INNLEDNING

Dette kapittelet beskriver utforming av kontaktledningsanlegg. Utforming skal sikre beskyttelse mot farlige berøringsspenninger, og sikre elektromagnetisk sameksistens med andre systemer og internt i kontaktledningsanlegget.

Kap. 3.2 gir en overordnet beskrivelse av strategi for jording og skjerming av kontaktledningsanlegg.

Kap. 3.3 gir en utfyllende beskrivelse av funksjonelle/strukturelle krav til jording og skjerming av kontaktledningsanlegg.

Kontaktledningsanlegg omfatter kontaktledning, returkrets og bærende konstruksjoner (inkludert fundament). Returkrets inkluderer skinnegang, spesifiserte returledninger, jordsmonnet, og andre ledere som returstrømmen benytter for å returnere til matestasjon.

3.2 OVERORDNEDE PRINSIPPER FOR JORDING OG SKJERMING

3.2.1 DRIFTSJORD

Kontaktledningsanleggets returkrets skal utformes slik at returstrømmen ved normal drift følger de ledere strømmen er tiltenkt å følge.

Banestrømmens returkrets må nærføres med kontaktledningen (framleder).

En krets har økende antennevirkning i forbindelse med elektromagnetiske felt ved økning av det areal som dannes av kretsens ledere. Ved å redusere dette arealet (dvs. nærføring mellom fram- og tilbakeleder) reduseres inn- og utstråling fra kretsen.

Bruk av brytere og sikringer i kontaktledningsanleggets returkrets er ikke tillatt.

Dersom returkretsen brytes, kan det oppstå farlige spenninger ved bruddstedet. Videre vil returstrømmen finne tilbake til matepunkt via ledende konstruksjoner som ikke er tiltenkt returstrøm. Dette kan medføre berøringsfare, brannfare og skade på utstyr.

3.2.2 BESKYTTELSE MOT BERØRINGSFARLIGE SPENNINGER

Kontaktledningsanlegget skal utformes slik at det ikke oppstår berøringsfarlige spenninger mellom skinnestrenger, over skinneskjøter, mellom skinne og jord, og mellom gjenstander tilkoblet skinnegangen og jord.

Krav til maksimal tillatt skrittspenning vil ivaretas med den utforming som beskrives, da kravet til spenning over skinneskjøter vil være dimensjonerende.

Ved jordslutning i kontaktledningsanlegget skal det finnes vern som kobler ut spenning på kontaktledning. Vernets reaksjonstid skal bestemmes ut fra spenningsnivå og feilhyppighet i kontaktledningsanlegget. Definerte grenser for utkoblingstid er gitt i FEF-88 §40801.3.1.

3.2.3 SKJERMING

Kontaktledningsanlegget skal utformes slik at det ikke oppstår uakseptabel feltkobling mellom kontaktledningsanlegget og andre anlegg. Begrensning av feltkobling løses i hovedsak ved nærføring mellom matestrøm og returstrøm i kontaktledningsanlegget.

Kontaktledningsanlegget fører store strømmer innen et relativt stort frekvensområde, og kan være opphav til støy- og farespenninger på nærførte kretser.

Kontaktledningsanlegget skal utformes slik at det ikke oppstår uakseptable jordstrømmer.

Store jordstrømmer vil kunne kobles inn i nærførte anlegg som av returstrømmen oppfattes som en parallell returforbindelse.

Kontaktledningsanlegget skal utformes slik at det ikke oppstår uakseptable skeivspenninger mellom skinnene. *Skeivspenninger mellom skinnene kan gi driftsforstyrrelser på anlegg som benytter skinnegangen som transmisjonsmedium. (Eksempelvis vil sporfelter påvirkes av for store skeivspenninger mellom skinnene.)*

3.3 FUNKSJONELLE KRAV TIL JORDING OG SKJERMING

3.3.1 EKSTERNE GRENSESNIITT

3.3.1.1 Beskyttelse mot berøringsfarlige spenninger

Beskyttelse av personer ivaretas ved utforming av kontaktledningsanlegget som beskrevet i kap 3.3.2.

Det vil imidlertid være konflikt mellom krav om å unngå berøringsfarlige spenninger mellom skinne og jord, og kravet om skinnebruddsindikering ut fra tilgjengelige systemer. Se kap. 1.3.1.

3.3.1.2 Jording av ledende gjenstander i kontaktledningens slyngfelt

Ledende gjenstander plassert innenfor kontaktledningens slyngfelt (definert i vedlegg 3.1) skal beskyttelsesjordes til skinnegangen.

Ved eventuelt kontaktledningsnedfall på gjenstanden, vil feilstrømmene ledes tilbake til matepunktet via de komponenter som er tiltenkt returstrøm. Det er meget viktig at alt nærliggende anlegg kun har et tilkoblingspunkt til returkretsen for å unngå alternative returstrømtraséer.

Se også kapittel 4.

Det skal ikke kunne oppstå berøringsfarlige spenninger mellom ledende gjenstander innen kontaktledningens slyngfelt og jord.

Impedansen til jord over beskyttelsesjordleder og skinnegang skal være så lav at berøringsfarlige spenninger ikke oppstår.

Ledende gjenstanders tilkoblingen til skinnegangen utgjør beskyttelsesjord for elektriske installasjoner. Dette krever at det ikke oppstår berøringsfarlige spenninger mot jord over den impedans beskyttelsesjordleder og skinnegang utgjør. Dette kravet kommer i konflikt med kravet om skinnebruddsindikering (se kap 1.3.1).

Kontaktledning skal isoleres fra mast med isolasjonsnivå som tilsvarer kontaktledningsanleggets driftspenning. Metalliske festeanordninger på mast skal elektrisk tilkobles skinnegangen. *Kontaktledning må isoleres for å begrense avledning fra kontaktledning. Tilkobling til skinnegang for metalliske festeanordninger utføres for å sikre utkobling ved eventuell feil.*

Ledende kontaktledningsmaster betraktes som ledende gjenstander innenfor kontaktledningens slyngfelt, og skal følge retningslinjer som angitt over.

Beskyttelsesjording til skinnegangen skal utformes som angitt i kap. 4. *Riktig tilkobling til skinnegangen er viktig for å begrense skeivspenninger mellom skinnestrengene. Skeivspenninger påvirker systemer som benytter skinnegangen som transmisjonsmedium.*

3.3.1.3 Begrensning av elektromagnetisk feltkobling mot andre systemer

Kontaktledningsanleggets returforbindelse skal nærføres med kontaktledningen. Dette oppnås ved å benytte spesifisert returledning, plassert nærmest mulig kontaktledningen i hele anleggets utstrekning. *Ved tett nærføring mellom matestrøm og returstrøm begrenses feltkobling mellom kontaktledningsanlegget og omliggende systemer. Nærføring innebærer at returledningen føres parallelt med mateledning på alle strekninger og inn til / gjennom alle anlegg tilknyttet banestrømsforsyning.*

Elektrisk traksjonsmateriell og matestasjon for banestrøm skal i samspill ikke generere støykomponenter i kontaktledningsstrømmen som via feltkobling forstyrrer normal funksjon i omliggende systemer. *Matestasjon og traksjonsmateriell vil pga koblinger og styringer sende ut uønskede støykomponenter i kontaktledningsstrømmen. Disse må reduseres til et nivå som kan aksepteres av omliggende systemer.*

Kontaktledningsanlegget skal utformes slik at det minimaliserer hyppigheten av fraslag mellom kontaktledning og strømavtager. *Fraslag mellom kontaktledning og strømavtager forårsaker høyfrekvent elektromagnetisk stråling som kan påvirke omliggende systemer.*

3.3.2 ANLEGGSSINTERN UTFORMING

3.3.2.1 Beskyttelse mot berøringsfarlige spenninger

Det skal sikres mot berøringsfarlige spenninger mellom skinne og jord ved tilstrekkelig lav impedans mellom skinnegang og jord.

Kravet om jording av skinnegang for å unngå berøringsfarlige spenninger, kommer i konflikt med kravet om skinnebruddsindikering. Dette fører til at det ikke kan gis praktiske og holdbare retningslinjer for hvordan skinnegangen skal jordes. (Se kap. 1.3.1.)

3.3.2.2 Utforming av kontaktledningsanleggets returkrets

3.3.2.2.1 Returledning

Kontaktledningsanlegget skal utformes med spesifisert returledning, med jevnlig opptak av returstrøm fra skinnegangen. Returledningen skal ha betydelig lavere impedans enn alternative returforbindelser for banestrømmen.

Ved bruk av spesifisert returledning sikres veldefinert returkrets for banestrømmen. Returledningens impedans må være lav for å sikre at hoveddelen av returstrømmen vil benytte denne forbindelsen tilbake til matepunktet.

Returledningen vil trekke kontaktledningsanleggets returstrøm bort fra skinnene. Dette begrenser muligheten for spenningsforskjeller mellom skinnestrenger (skeivspenninger). Faren for berøringsfarlig spenning mellom skinnene minimaliseres, og eventuell forstyrrelse av systemer som benytter skinnegangen som transmisjonsmedium reduseres.

Kontaktledningsanleggets returkrets skal nærføres med kontaktledningen. Dette oppnås ved å benytte spesifisert returledning, plassert nærmest mulig kontaktledningen i hele anleggets utstrekning.

Ved tett nærføring mellom matestrøm og returstrøm begrenses feltkobling mellom kontaktledningsanlegget og omliggende systemer.

Nærføring innebærer at returledningen føres parallelt med mateledning på alle strekninger og inn til / gjennom alle anlegg tilknyttet banestrømsforsyning.

Returledningen skal isoleres slik at det ikke er mulig å berøre denne samtidig med ledende gjenstander med annet potensiale.

Returledning skal isoleres fra mast.

Returledning isoleres for å opprettholde skinnebruddsindikering.

3.3.2.2.2 Sugetransformator

Det skal benyttes sugetransformator med 1:1 vikling mellom kontaktledning og returledning. Primærvikling skal være tilknyttet kontaktledning og sekundærvikling tilknyttet returledning.

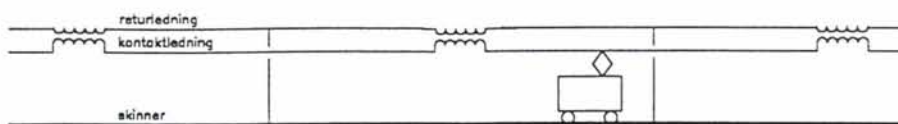
Sugetransformator vil tvinge returstrømmen til å gå i returledningen. Beskrivelse av sugetransformatorens virkemåte er gitt i vedlegg 3.2.

Sugetransformatoren skal være viklet slik at spenningsfallet over sekundærviklingen virker i motsatt retning av spenningsfallet i returkretsen forøvrig.

Dette fører til begrenning av spenningsfallet i returledningen, og dermed skinnegangen.

Returledningen skal tilkobles skinnegangen midt mellom sugetransformatorene slik som figur 3.1 viser.

Se "Lærebok for kontaktledningsingeniører. Del 2." (Per Sture).



Figur 3.1: Oppkobling av sugetransformatoren i anlegg med returledning

Systemet resulterer i at spenningsvariasjoner i skinnegangen vil reduseres, og dermed spenningsforskjellen over eventuelle skinneskjøter, samtidig som potensialet mellom nedkoblingspunktene teoretisk vil være null.

3.3.2.2.3 Dimensjonering av komponenter/forbindelser i returkretsen

Utgangspunktet for dimensjonering av komponenter/forbindelser i returkretsen er at denne skal føre samme strøm som kontaktledningen.

Ref FEB § 113.6 (krav til ledertverrsnitt) og §114 (valg av elektrisk utstyr). Dimensjonering i samsvar med de øvrige komponenter i kontaktledningsanlegget gir sammenfallende merkeverdier for alle komponenter som skal føre den aktuelle banestrømmen.

Med "komponenter/forbindelser i returkretsen" forstås utstyr, kabler og ledninger som skal føre banestrøm. Aktuelle kabler og ledninger i returkretsen er forbindelser mellom komponenter som fører returstrøm (f.eks. returledning, nedføring fra returledning, kobling fra skinne til impedansespoler og sugetransformatorer, elektriske forbindelser over skinneskjøt i skinnene og forbindelser mellom returkrets og matepunkt/omformer. Andre forbindelser som ikke skal føre banestrøm, men som er tilkoblet skinnegangen omfattes av jordledere som krytter ledende konstruksjoner innenfor slyngfelt til skinnestrengen. I tillegg kommer ledere som kobler utstyr som benytter sporet som en del av driftskretsen.

Komponenter/forbindelser i returkretsen må dimensjoneres i henhold maksimale strømmer som kan opptre, både langvarig og kortvarig.

Langvarige maksimale strømmer henspeiles til forventet belastning. De kortvarige maksimale strømmer som kan opptre inntreffer ved full kortslutning mellom kontaktledningen og skinnene, eller materiell som er forbundet til skinnene. (Kortvarig tilsvarer dermed utløsetiden på vern i matestasjon.) En slik kortslutning kan oppstå ved isolasjonsfeil eller nedfall av kontaktledningen.

Dimensjonering i henhold til aktuell belastning er viktig for å unngå varmeutvikling og metning i magnetiske komponentene. Varmeutvikling i anlegget reduserer driftssikkerheten og forårsaker hurtigere aldring. Metning i en komponent medfører endret funksjon og impedanseforhold, og vil påvirke returstrømtraséen.

3.3.2.2.4 Isolasjonsnivå

Returkretsen skal ha et isolasjonsnivå som har tilstrekkelig holdfasthet mot spenninger som kan forekomme, både i normal drift og i en feilsituasjon.

Spenninger som kan forekomme i en normalsituasjon skal ikke overskride tillatt maksimal berøringspenning. Kortvarig (kortslutningsituasjon) kan høyere spenninger oppstå (FEF, bilag: "Foranstaltninger mot farlige berørings- og skrittspenninger under jordslutning i høyspenningsanlegg" - § 1.2.1). Potensialutjevning i returkretsen skal sørge for at høyere spenninger ikke forekommer.

Samtlige komponenter i returkretsen skal ha samme minstekrav til isolasjonsnivå.

I tillegg skal kabler og annet anlegg som er jordnet til skinnegangen isoleres fra andre jordsystemer med holdfasthet som er minst like god som isolasjonsnivået i returkretsen.

Isoleringen skal hindre at returstrømmer ledes vekk fra sporet.

3.3.2.3 Overspenningsvern

Overspenningsvern skal beskytte utsatte anleggsdeler som transformatorer, kabler og anlegg mot ledningsbundet spenningstransienter som oppstår ved atmosfæriske overspenninger og ved koblinger i anlegget.

Vern av utstyr skal plasseres ved inntakspunkt til utstyr, skap, rom , og/eller bygning.

Ved vern av kabler skal overspenningsvernet plasseres ved overgang mellom luftlinje og kabel i mast. Vernet kobles mellom fase og skjerm på kabel og jordes. Ved vern av transformatorer skal vernet plasseres så nærme transformatoren som mulig. Vernet skal kobles mellom fase og jord som er tilkoblet transformatoren .

4 ELEKTROINSTALLASJONER OG LEDENDE GJENSTANDER LANGS JERNBANELINJEN

4.1 INNLEDNING

Dette kapittelet beskriver utforming, jording, plassering og sammenkobling av elektroinstallasjoner og ledende gjenstander langs jernbanelinjen for å unngå farlige berøringsspenninger, og for å sikre elektromagnetisk sameksistens mellom utstyr/systemer.

Kapittel 4.2 gir en overordnet beskrivelse av strategi for jording og skjerming av elektroinstallasjoner og ledende gjenstander langs jernbanelinjen.

Kapittel 4.3 gir en utfyllende beskrivelse av funksjonelle/strukturelle krav til jording og skjerming av elektroinstallasjoner og ledende gjenstander langs jernbanelinjen.

Elektroinstallasjoner langs jernbanelinjen omfatter stativer, skap, kiosker og bygninger plassert i nær tilknytning til jernbanelinjen. Intern utforming av elektroinstallasjoner i bygninger omhandles i eget kapittel (se kap. 5), og tas ikke hensyn til i dette kapittelet.

4.2 OVERORDNEDE PRINSIPPER FOR JORDING OG SKJERMING

4.2.1 BESKYTTELSE MOT BERØRINGSFARLIGE SPENNINGER

Ved normal drift skal spenningsførende deler tildekkes på en slik måte at man unngår fare for elektrisk støt ved berøring. Dette gjøres ved kapsling, isolering av utstyr eller plassering av utstyr utenfor rekkevidde.

Ledende gjenstander tillates ikke å opparbeide et potensiale som gir farlige berøringsspenning i forhold til en annen ledende gjenstand eller jord. Dette oppnåes ved bruk av utjevningsforbindere.

Utjevningsforbindelser til nærliggende utstyr/gjenstander og til jord sikrer samme potensialet, og berøringsfarlige spenninger unngås.

Anleggsdeler som kan bli spenningsatt som følge av feil skal beskyttelsesjordes. Beskyttelsesjord skal sikre at berøringsspenning holdes under et spesifisert nivå, eller at berøringsspenningens varighet holdes under en gitt grense.

Maksimal utkoblingstid er beskrevet i FEB-91 § 413.1

Ledende gjenstander innenfor kontaktledningens slyngfelt skal beskyttelsesjordes til skinnegangen.

Ledende gjenstander innen slyngfeltet tilkobles skinnegangen for å sikre at banestrømmen følger tiltenkt returvei ved et eventuelt kontaktledningsnedfall. På bakgrunn av dette benyttes dermed skinnegangen som beskyttelsesjord for elektroinstallasjoner innenfor slyngfeltet. Tilstrekkelig lav impedans for beskyttelsesjord skal ivaretas av skinnegangens impedans mot jord. (Se kap. 4.3.2.1 og kap. 1.3.1)

4.2.2 SAMEKSISTENS MELLOM SYSTEMER/UTSTYR

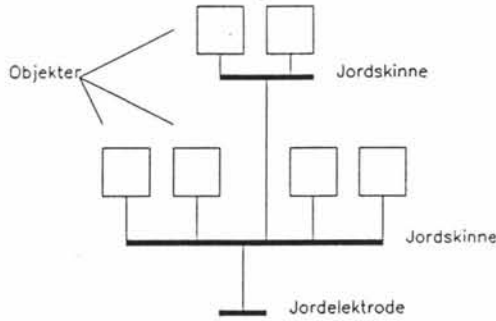
Generelle krav til elektromagnetisk sameksistens mellom elektriske installasjoner er beskrevet i kapittel 2.4. Videre er det foreslått generelle tiltak som kan gjennomføres for å oppfylle kravene.

4.2.3 PRINSIPIELL OPPBYGGING AV JORDNETTSTRUKTUR

Beskyttelsesjord- og skjermjordnettet skal følge følgende struktur:

Jordnettet skal danne trestruktur. (Se fig. 4.1)

Beskyttelsesjord består av en beskyttelsesleder fra aktuell gjenstand til et jordelektrodeanlegg. For å unngå uønskede strømsløyfer skal jordnettet være utformet med en trestruktur.



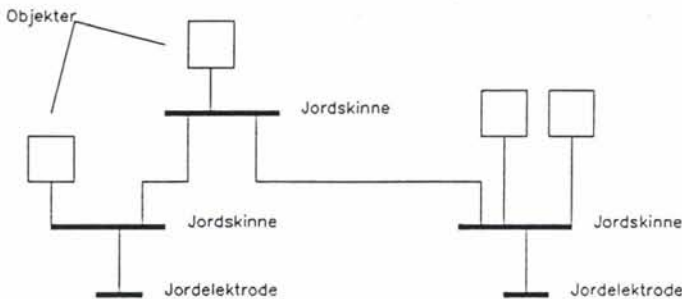
Figur 4.1: Generell jordnettstruktur

Beskyttelsesjording av gjenstander skal utføres slik at det ved brudd i en beskyttelsesleder, skal være en minimal mengde med utstyr som mister tilhørende beskyttelsesjord. Dette krever et minimalt antall nivåer i trestrukturen.

Null nivåer ville være optimalt, men det ville medføre at alt utstyr måtte ha eget jordelektrodeanlegg.

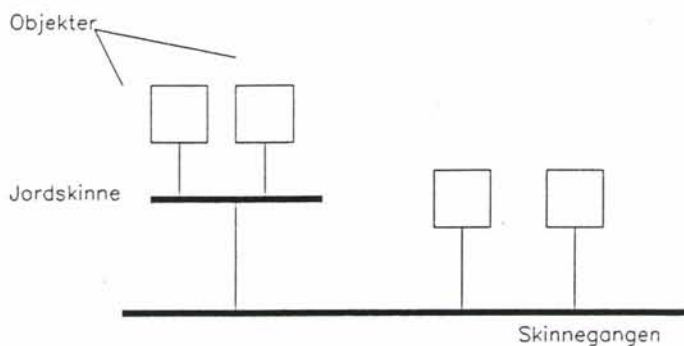
På steder med minimale induerte/ledete støystømmer tillates avvik fra trestrukturen.

Eksempelvis på ikke elektrifiserte strekninger vil det normalt tillates maskeformet jordnettstruktur. (Se fig. 4.2)



Figur 4.2 Jordnettstruktur ved bruk av flere jordelektroder.

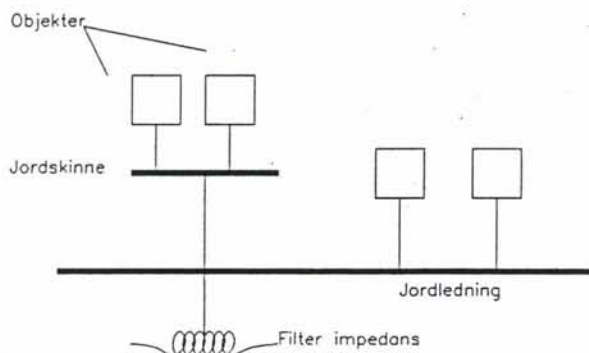
På strekninger uten sporfelt eller med banestrøm i en skinnestreng skal ledende gjenstander innen kontaktledningens slyngfelt direkte jordes til skinnegangen. (Se figur 4.3)



Figur 4.3: Beskyttelsesjording til skinnegang

På strekninger med sporfelt og banestrøm i begge skinnestrengene skal ledende gjenstander innen kontaktledningens slyngfelt jordes til skinnegangen via filterimpedans. (Se figur 4.4) Beskyttelsesjordledere skal kun ha ett tilkoblingspunkt.

Dersom det dannes flere tilkoblingspunkter oppstår alternative veier for sporfeltstrøm, og skinnebrudds-indikering mistes.



Figur 4.4: Beskyttelsesjording til skinnegang via filterimpedans

4.3 FUNKSJONELLE KRAV TIL JORDING OG SKJERMING

4.3.1 EKSTERNE GRENSESNIITT

4.3.1.1 Begrensing av elektromagnetisk feltkobling

Elektriske installasjoner/anlegg skal plasseres i tilstrekkelig avstand til hverandre slik at feltkobling mellom dem reduseres til et akseptabelt nivå.

Dersom dette ikke er mulig skal utstyrsenheter og kabelforbindelser mellom disse skjermes slik at koblingen begrenses tilstrekkelig.

4.3.1.2 Begrensing av elektromagnetisk ledningsbundet kobling

Dersom ledningsbundet støy overstiger et akseptabelt nivå skal tiltak beskrevet i kap. 2.4.3.1 benyttes.

4.3.2 ANLEGGSSINTERN UTFORMING

Utstyr som skal beskyttelsesjordes langs jernbanelinja deles inn i to hovedområder. Det ene hovedområdet er utstyr plassert innenfor slyngfeltet. Det andre hovedområdet er utstyr plassert utenfor slyngfeltet. Hovedområdene deles videre inn i delområder.

4.3.2.1 Utstyr plassert innenfor slyngfeltet

Ledende konstruksjoner som ligger innenfor slyngfeltet må beskyttelsesjordes av hensyn til et eventuelt kontaktledningsnedfall. Utstyr som ligger utenfor slyngfeltet, men innen rekkevidde (for person) til annet utstyr som ligger innenfor slyngfeltet, må beskyttelsesjordes som om det lå innenfor slyngfeltet.

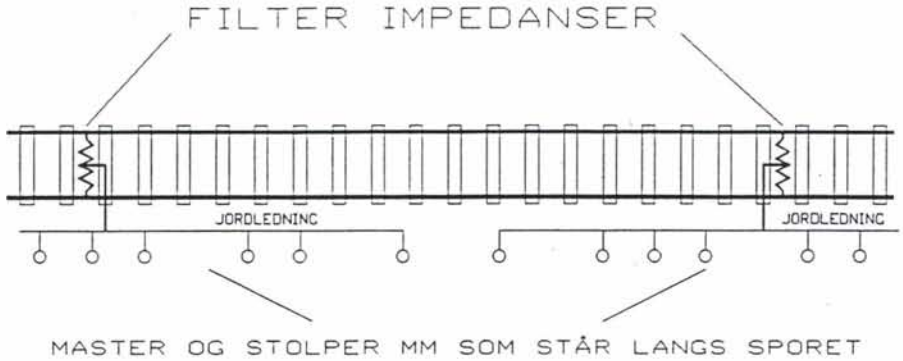
4.3.2.1.1 Strekninger med banestrøm i begge skinnestrenger og sporfelter

På de strekninger hvor banestrøm går i begge skinnestrengene og det er sporfelter skal løsning i figur 4.5 brukes for tilkobling til skinnegangen.

Løsningen vil redusere avledningen fra sporet. Dette gir gode driftsforhold for sporfelter, og det vil redusere den vagabonderende returstrømmen. I tillegg er det få tilkoblinger til sporet. Ulempen med denne løsningen er at et eventuelt brudd i en av beskyttelseslederene vil kunne medføre at en del av utstyret mister sin beskyttelsesjording. Dersom utstyr tilkoblet skinnegangen har stor avledning til grunnen vil det være fare for at skinnebruddsindikeringen forsvinner.

Jordledningers lengde må begrenses slik at induerte spenninger ikke overstiger et akseptabelt nivå, og at impedans via jordleder og skinnegang sikrer beskyttelse mot berøringsfarlige spenninger ved feil i utstyret. Hvis jordledningene blir lange vil man kunne få potensialforskjeller mellom jordledningen og skinnegangen. Videre kan man få induerte strømmer i jordledningen da den går parallelt med sporet. Dette må det taes hensyn til når man skal bestemme lengden på jordledningene.

Utstyret beskyttelsesjordes via filterimpedans. Jordnettstruktur skal være iht. figur 4.4.



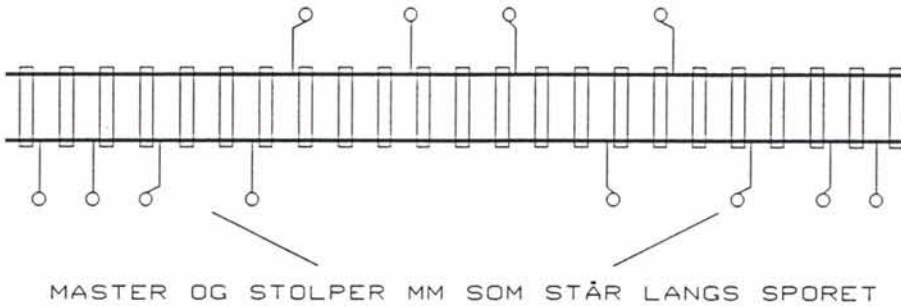
Figur 4.5: Strekning med sporfelt og banestrøm i begge skinner

4.3.2.1.2 Strekninger med banestrøm i begge skinnestrenger og uten sporfelter

På strekninger hvor banestrøm går i begge skinnestrenger og det ikke er sporfelter, skal alle ledende gjenstander jordes til nærmeste skinnestreng, se figur 4.6. I tillegg må skinnestrengene sammenkoples slik at man unngår potensialforskjell mellom skinnestrengene.

Beskrevet i forslag til europnorm, CENELEC prEN 50122-1 (Dec.93).

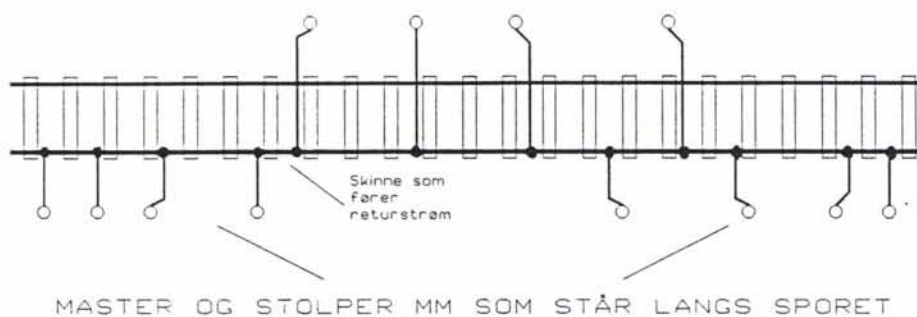
Utstyr beskyttelsesjordes direkte til skinnegangen. Jordnettstruktur skal være iht. figur 4.3.



Figur 4.6: Strekning uten sporfelt og banestrøm i begge skinner

4.3.2.1.3 Streknings med banestrøm i en skinnestrenger

På de strekninger hvor banestrøm kun går i en skinnestreng, må utstyr tilkobles denne skinnestrengen, se figur 4.7.



Figur 4.7: Strekning med banestrøm i en skinne

Utstyret som beskyttelsesjordes til skinnegangen skal ha en jordnettstruktur som vist i figur 4.3. For å unngå farlige berøringsspenninger mellom skinnestrengene må skinnestrengene ha potensialutjevnersforbindere. Disse må utformes slik at de ikke kortslutter sporfeltene.

4.3.2.2 Utstyr plassert utenfor slyngfeltet

Elektriske konstruksjoner som ligger utenfor slyngfeltet skal beskyttelsesjordes med hensyn på feil i utstyret. Utstyret skal tilkobles beskyttelsesleder i strømforsyning. I tillegg skal utstyret beskyttelsesjordes til lokalt jordelektrodeanlegg, hvis dette er nødvendig for å unngå farlig berøringsspenning ved feil. Se figur 4.1 og 4.2.

Beskrevet i FEB-91 §413.

På ikke elektrifiserte strekninger vil alle elektriske og ledende konstruksjoner være i hovedområde utenfor slyngfeltet.

4.3.2.3 Ledende konstruksjoner som befinner seg i begge hovedområdene

Større ledende konstruksjoner som delvis befinner seg innenfor slyngfeltet og delvis utenfor slyngfeltet må seksjoneres med isolerende skille.

Seksjonering utføres for å sikre at kontaktledningsanleggets returstrøm følger de komponenter som er beregnet for returstrøm.

Mindre ledende konstruksjoner jordes tilsvarende utstyr innenfor slyngfeltet.

4.3.2.4 Avstander mellom områder

Alt utstyr i et område skal ligge utenfor rekkevidde av utstyr som ligger i et annet område. Dette gjelder både hovedområder og delområder.

4.3.2.5 Lange parallellførte gjenstander

Lange ledende gjenstander parallellført med jernbanelinjen på elektrifiserte strekninger skal seksjoneres med en hyppighet som sikrer at berøringsfarlige spenninger ikke induseres i gjenstandene.

Grunnen til seksjonering er at man ikke skal få potensialforskjeller mellom skinnegangen og konstruksjonen.

Seksjonering utføres slik at det ikke er fare for farlige berøringsspenninger over det isolerte skille.

Ved å beskyttelsesjorde en konstruksjon med lang utstrekning på midten oppnås maksimal tillatt lengde på konstruksjonen, uten at den er seksjonert. Dette fordi total indusert spenning fordeles likt på de to endepunktene av konstruksjonen.

4.3.2.6 Spesielle tiltak for ledende bruer

Ei bru kan betraktes som en lang ledende konstruksjon som ligger både innenfor og utenfor slyngfeltet. Bruer kan i praksis ikke seksjoneres, og må dermed regnes som ledende konstruksjon innenfor slyngfeltet.

Følgende må opprettholdes:

Bruer skal jordes til skinnegang.

Ledende gjenstander innen slyngfeltet tilkobles skinnegangen for å sikre at banestrømmen følger tiltenkt returvei ved et eventuelt kontaktledningsnedfall. Videre må bru og skinnegang potensialutjevnes for å unngå berøringsfarlige spenninger.

Det skal kun være ett tilkoblingspunkt mellom brua og skinnegangen.

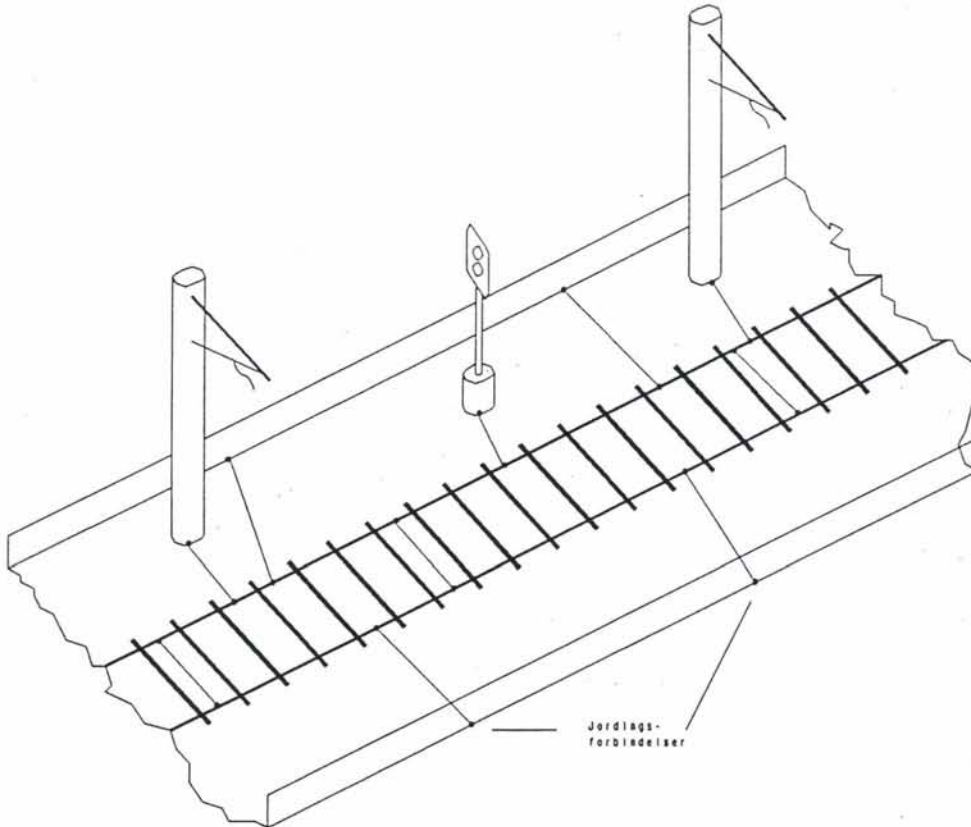
Det skal kun være ett tilkoblingspunkt for å unngå uønskete strømsløyfer, samt å opprettholde skinnebruddsindikering.

Dersom brua har så stor utstrekning at det oppstår fare for berøringsfarlige spenninger mellom skinnegang og bru, skal utforming beskrevet i kap. 4.3.2.6.1-3 benyttes.

4.3.2.6.1 Bruer med stor utstrekning uten sporfelter i skinnegang

Hvis det ikke er sporfelter i skinnegangen skal det etableres utjevningsforbindelser mellom brua og skinnegangen for å unngå farlige berøringsspenninger. Videre må alle objekter plassert på brua jordes direkte i brua i tillegg til beskyttelsesleder til skinnegangen. (Se fig. 4.8)

Jording både til bru og skinnegang sikrer redundans i beskyttelsesjording. Farlige berøringsspenninger unngås, men samtidig vil brua inngå som en del av kontaktledningsanleggets returkrets. (Dvs. deler av returstrømmen vil gå i brua.)



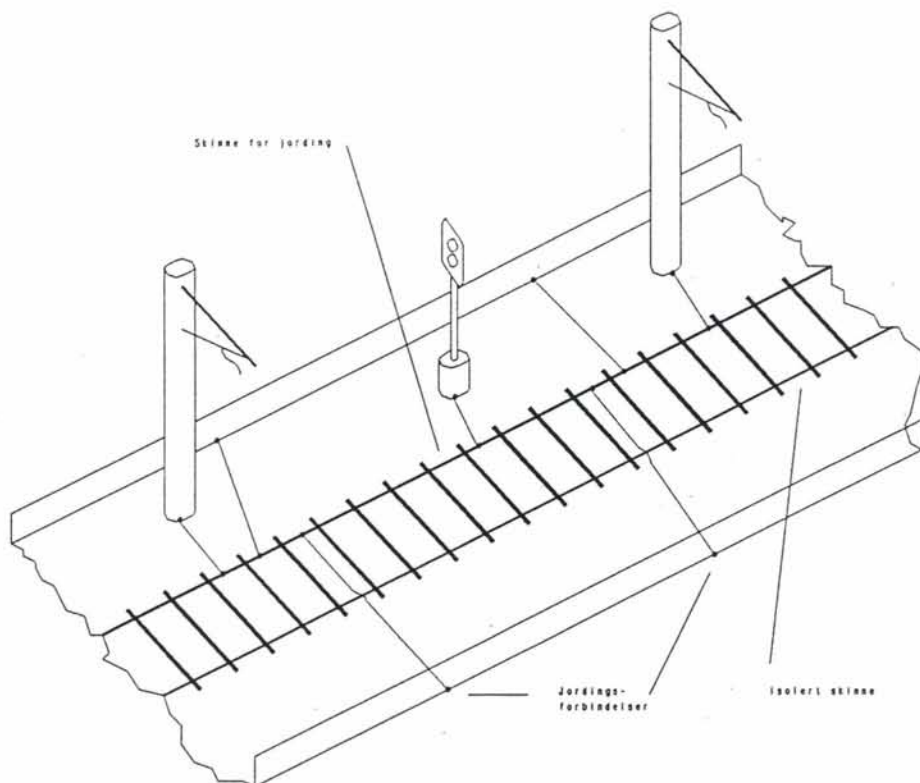
Figur 4.8: Jording av bru med stor utstrekning, uten sporfelter i skinnegangen

4.3.2.6.2 Bruer med stor utstrekning, med sporfelter i skinnegang og banestrøm i en skinnestreg

Hvis det er sporfelter i skinnegangen og banestrøm går i en skinnestreg skal ledende konstruksjoner tilkobles denne skinna. Denne skinna skal videre utjevningsforbindes til brua.

For å unngå farlige berøringsspenninger mellom skinnestregene må skinnestregene utjevningsforbindes. Utjevningsforbindelsene må utformes slik at de ikke kortslutter sporfeltene. (Se fig. 4.9)

Farlige berøringsspenninger unngås, men samtidig vil brua inngå som en del av kontaktledningsanleggets returkrets. (Dvs. deler av returstrømmen vil gå i brua.)



Figur 4.9: Jording av bru med stor utstrekning, med sporfelter og med banestrøm i en skinne.

4.3.2.6.3 Bruer med stor utstrekning, med sporfelter i skinnegang og banestrøm i begge skinnestrenger

I praksis vil utforming av bruer med sporfelter i skinnegangen bli et kompromiss mellom krav om å opprettholde skinnebruddsindikering og krav om å unngå berøringsfarlige spenninger. For å unngå berøringsfarlige spenninger på bruer med så stor utstrekning at det oppstår fare for store potensialforskjeller, må brua seksjoneres eller ledende deler av brua må kapsles eller plasseres utenfor rekkevidde for personer. Eventuelt kan det etableres utjevningsforbindelser mellom skinnegang og bru for å sikre samme potensiale.

Bruer kan i praksis vanskelig seksjoneres, og kapsling og plassering av ledende deler av brua kan vanskelig gjennomføres. Utjevningsforbindelser mellom bru og skinnegang vil forårsake at skinnebruddsindikering mistes, og er dermed en uakseptabel løsning.

Det er ikke mulig å gi enhetlige og gjennomførbare retningslinjer for hvordan dette skal utføres. (Se kap 1.3.1)

4.3.2.7 Spesielle tiltak i tunneler, kulverter ol.

En tunnel med armering kan betraktes som en lang ledende konstruksjon som ligger både innenfor og utenfor slyngfeltet. Det skilles ikke mellom tunnel og tunnelens armering, da armering er omgitt av mer eller mindre ledende fjell.

Tunneler kan i praksis ikke seksjoneres, og må dermed regnes som ledende konstruksjon innenfor slyngfeltet.

Følgende må opprettholdes:

Tunneler skal jordes til skinnegang.

Ledende gjenstander innen slyngfeltet tilkobles skinnegangen for å sikre at banestrømmen følger tiltenkt returvei ved et eventuelt kontaktledningsnedfall. Videre må tunnel og skinnegang potensialutjevnes for å unngå berøringsfarlige spenninger.

Det skal kun være ett tilkoblingspunkt mellom tunnel og skinnegangen.

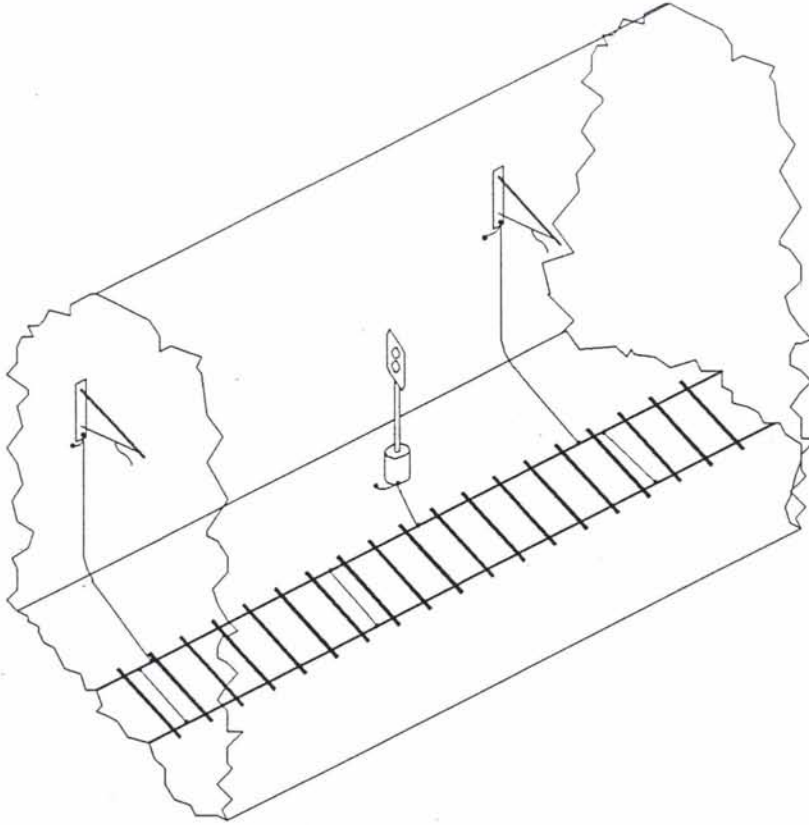
Det skal kun være ett tilkoblingspunkt for å unngå uønskete strømsløyfer, samt å opprettholde skinnebruddsindikering.

Dersom tunnel har så stor utstrekning at det oppstår fare for berøringsfarlige spenninger mellom skinnegang og tunnel, skal utforming beskrevet i kap 4.3.2.7.1-3 benyttes.

4.3.2.7.1 Lange tunneler uten sporfelter i skinnegang

Hvis det ikke er sporfelter i skinnegangen skal det etableres utjevningsforbindelser mellom tunnelen og skinnegangen for å unngå farlige berøringsspenninger. Videre må alle objekter plassert i tunnelen jordes direkte i tunnelen i tillegg til beskyttelsesleder til skinnegangen. (Se fig. 4.10)

Jording både til tunnel og skinnegang sikrer redundans i beskyttelsesjording. Farlige berøringsspenninger unngås, men samtidig vil tunnel inngå som en del av kontaktledningsanleggets returkrets. (Dvs. deler av returstrømmen vil gå i tunnelens armering.)



Figur 4.10: Jording av tunnel med stor utstrekning, uten sporfelt i skinnegang

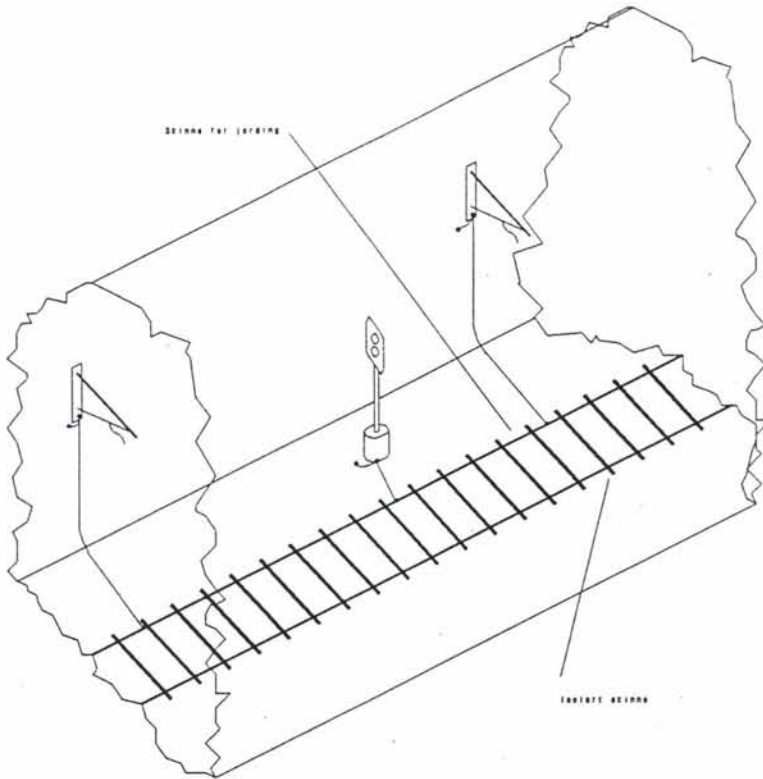
4.3.2.7.2 Lange tunneler med sporfelter i skinnegang og banestrøm i en skinnestreng

Hvis det er sporfelter i skinnegangen og banestrøm går i en skinnestreng skal ledende konstruksjoner tilkobles denne skinna. Denne skinna skal videre utjevningsforbindes til tunnelen.

For å unngå farlige berøringsspenninger mellom skinnestrengene må skinnestrengene utjevningsforbindes.

Utjevningsforbindelsene må utformes slik at de ikke kortslutter sporfeltene. (Se fig. 4.11)

Farlige berøringsspenninger unngås, men samtidig vil tunnelen inngå som en del av kontaktledningsanleggets returskrets. (Dvs. deler av returstrømmen vil gå i tunnelen.)



Figur 4.11: Jording av tunnel med stor utstrekning, uten sporfelter og med banestrøm i en skinnestreg.

4.3.2.7.3 Lange tunneler med sporfelter i skinnegang og banestrøm i begge skinnestrenger

I praksis vil utforming av tunneler med sporfelter i skinnegangen bli et kompromiss mellom krav om å opprettholde skinnebruddsindikering og krav om å unngå berøringsfarlige spenninger.

For å unngå berøringsfarlige spenninger på tunneler med så stor utstrekning at det oppstår fare for store potensialforskjeller, må tunnelen seksjoneres eller ledende deler av tunnelen må kapsles eller plasseres utenfor rekkevidde for personer. Eventuelt kan det etableres utjevningsforbindelser mellom skinnegang og tunnel for å sikre samme potensiale.

Tunneler kan i praksis vanskelig seksjoneres, og kapsling og plassering av ledende deler av tunneler kan vanskelig gjennomføres. Utjevningsforbindelser mellom tunnel og skinnegang vil forårsake at skinnebruddsindikering mistes, og er dermed en uakseptabel løsning.

Det er ikke mulig å gi enhetlige og gjennomførbare retningslinjer for hvordan dette skal utføres. (Se kap 1.3.1)

4.3.2.4 Sporfelter

Sporfelter benytter skinnegangen som transmisjonsmedium. På elektrifiserte strekninger vil skinnegangen i tillegg være en del av kontaktledningsanleggets returkrets. Dette krever koordinering av krav til kontaktledningsanlegg og sporfelter.

Vedlegg 4.1 beskriver tiltak for å sikre gunstige driftsforhold for sporfelter. I Vedlegg 4.2 er det beregnet hvilke konsekvenser en eventuell fjerning av "0-feltet" vil ha på skinnebruddsindikering. Konklusjonen er at man på strekninger med returledning kan fjerne "0-feltet" og fremdeles opprettholde skinnebruddsindikering. Det anbefales at det foretas praktiske målinger for å kontrollere de praktiske beregningene. Videre bør det foretas nærmere vurdering av hvilke følger fjerning av "0-feltet" har for kontaktledningsanlegget (sugeevne i sugetransformatorene)

"0-feltet" er en seksjon på 30 meter i skinnegangen som står plassert ved sugetransformatoren. Denne seksjonen har som funksjon på strekninger uten returledning å tvinge returstrømmen gjennom sugetransformatoren.

5 BYGNINGER

5.1 INNLEDNING

Dette kapitlet beskriver oppbygging av jordnettstruktur og utforming av anlegg i bygninger. Utforming skal sikre elektromagnetisk sameksistens mellom systemer og utstyr, og beskyttelse mot farlige berørings-spenninger.

Kapittel 5.2 gir en overordnet beskrivelse av strategi for jording og skjerming av anlegg i bygninger.

Kapittel 5.3 gir en utfyllende beskrivelse av funksjonelle/strukturelle krav til jording og skjerming av anlegg i bygninger.

Med bygninger forstås bygg der mennesker kan bevege seg. Skap og utstyr som betjenes utenfra inkluderes ikke i begrepet bygninger. I denne forbindelse omfatter begrepet bygninger NSB-bygg inneholdende elektrotekniske installasjoner, plassert i nær tilknytning til togdriften.

Bygninger omfatter alle bygg med lavspenningsforsyning. Det beskrives i tillegg hvilke spesielle forholdsregler som bør tas dersom bygget høyspenningforsynes. Høyspenningsinstallasjoner tilknyttet banestrømsforsyning beskrives i kapittel 6.

Kapittel 4 betrakter elektroinstallasjoner og ledende konstruksjoner langs jernbanelinja. Bygg må følge de retningslinjer som gis i kap. 4, og eventuelle endringer i jordnettstrukturen som følge av dette tas høyde for i dette kapitlet (5).

5.2 OVERORDNEDE PRINSIPPER FOR JORDING OG SKJERMING

5.2.1 PRINSIPIELL OPPBYGGING AV JORDNETTSTRUKTUR

5.2.1.1 Jordnettets hovedfunksjoner

Jordnettet i bygninger kan deles inn etter sine hovedfunksjoner.

- driftsjord
- beskyttelsesjord
- skjermjord.

5.2.1.2 Trestruktur

Jordnettstruktur i bygninger skal bygges opp med trestruktur. Trestrukturen skal ha sitt utspring i en felles hovedjordskinne. (Se fig. 5.1)

Jordnettstrukturen skal utformes med treform for å sikre at det ikke induseres strømmer i jordnettet på grunn av sløyfer i nettstrukturen.

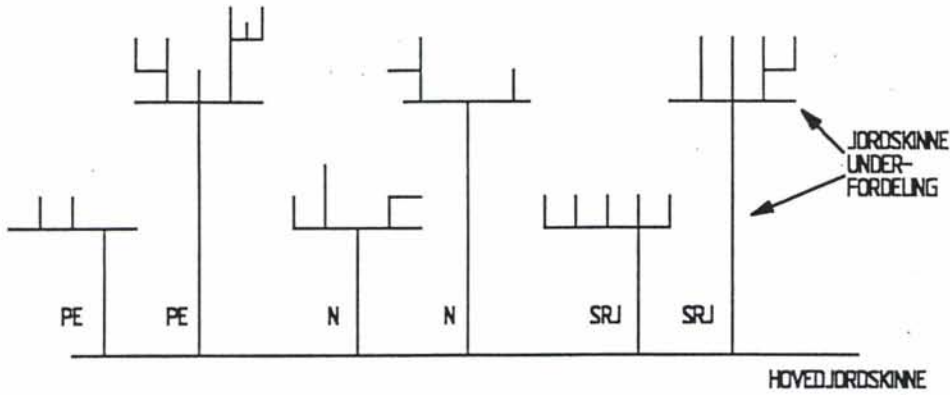
FEB 91 § 542.4.1 angir oppbygging av jordnettstruktur.

Bygninger med en viss størrelse, har behov for etablering av jordskinner i underfordelingspunkter. Distribuerte jordskinner skal ha et tilhørende område som omfatter de enheter som må sikres lave potensialforskjeller.

Eksempelvis skal en bygning i flere etasjer ha egen jordskinne for hver etasje der alle jordingsforbindelser i

aktuell etasje skal tilkobles.

Distribuerte jordskinner i underfordelingspunkter skal ha direkte tilkobling til hovedjordskinne.



Figur 5.1: Jordnett med trestruktur

Dersom det av spesielle grunner ikke er mulig å opprettholde trestruktur i beskyttelsesjordnettet, skal deler av installasjonen eller eventuelt hele installasjonen utformes med maskeformet beskyttelsesjordnett. Det skal bestrebes å danne tettest mulig nettverk (begrense størrelsen på maskene). (Se fig. 5.2)

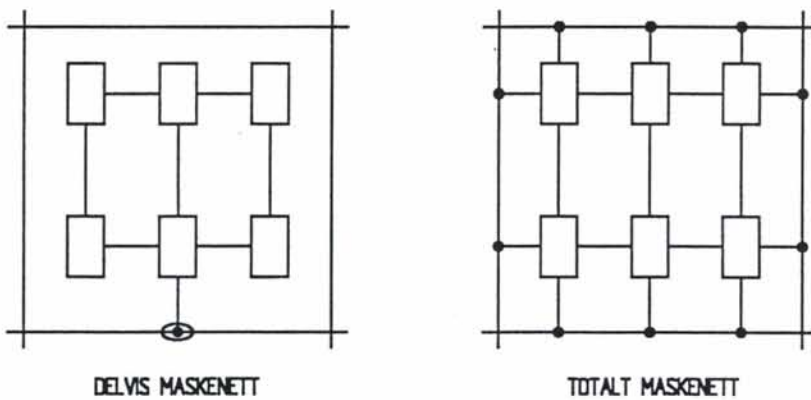
Skjermjord skal følge beskyttelsesjordstrukturen og sammen med beskyttelsesjord utgjøre et maskenett.

Driftsjordkretser betraktes som faseledere og skal alltid danne trestruktur.

Beskrevet i ITU-T Rec. K.27.

Ved sammenkobling av hele strukturen til et maskenett, kan nettet betraktes som et stort jordplan.

(Oppbygging av jordnettstruktur i maskenett gjøres i spesielle tilfeller og er ikke tatt videre hensyn til i dette dokumentet.)



Figur 5.2: Jordnett strukturert i delvis eller totalt maskenett

5.2.2 DRIFTSJORD

Driftsjord er et systems returforbindelse. I bygninger skilles det i hovedsak mellom tre typer driftsjord:

- Returforbindelse for TN lavspenningsforsyning (N-leder)
- Returforbindelse for DC kraftforsyning
- Returforbindelse for tele-/data-forbindelser. (Signal Referanse Jord)

Generelt anbefales at alle returforbindelser legges så nær framleder som mulig for å dempe koblingsmuligheter for innstråling og utstråling av elektromagnetisk energi. Dette bedrer sameksistensen mellom systemer, og kostbare skjermingstiltak kan unngås.

Videre bør kablers lengde begrenses i den grad systemene tillater dette.

En krets har økende antennevirkning i forbindelse med elektromagnetiske felt ved økning av det areal som dannes av kretsens ledere. Ved å redusere dette arealet (dvs. legge fram og tilbakeleder så nær hverandre som mulig) reduseres inn- og utstråling fra kretsen.

5.2.3 BESKYTTELSJORD

Beskyttelsesjording (PE) utføres for å hindre farlig strømgjennomgang gjennom mennesker ved berøring av utsatt del. Dette gjøres ved å sikre at berøringsspenningen holdes under et spesifisert nivå, eller at berøringens varighet holdes under en gitt grense.

FEB 91 fastsetter grenser for høyeste tillatte berøringsspenning som ikke krever utkobling og tillatt varighet av berøringsspenninger over definert spenningsnivå.

Beskrevet i FEB 91 §413.1

Beskyttelsesjord skal utformes som et treformet jordnett. Dette jordnettet skal kun ha kobling mot driftsjordnettet (-nettene) i byggets hovedjordskinne.

5.2.4 SKJERMING

Skjermjording har hovedfunksjon å sikre elektromagnetisk sameksistens mellom ulike anlegg og internt i anlegg. Skjermjording omfatter metalliske skjermer og sammenbinding av disse.

Skjerming er en av flere metoder for å begrense elektromagnetiske koblinger. I tillegg kommer utførelse av selve anlegget. Anbefalinger om hvordan dette bør gjøres er gitt i kapittel 5.3 og 5.2.2.

Skjermjord skal utformes med treformet nettstruktur. Nettstrukturen for skjermjord er delvis sammenfallende med beskyttelsesjordstrukturen. Dette skjer ved at beskyttelsesjordnettet utformes på en slik måte at behovene for skjerming mot elektromagnetisk kobling ivaretas. Videre vil egne skjermer utformes som lokale treformede jordnett som tilkobles beskyttelsesjordnettet i ett punkt.

Det skal kun etableres ett inntakspunkt til bygninger, rom og skap.

5.3 FUNKSJONELLE KRAV TIL JORDING OG SKJERMING

5.3.1 EKSTERNE GRENSESNIITT

5.3.1.1 Begrensning av elektromagnetisk ledningsbundet kobling

5.3.1.1.1 Inntakspunkt

Bygninger skal ha ett inntakspunkt. Alle kabler, jordledere og ledende konstruksjoner skal tas inn i bygget via inntakspunktet, og alle kabelskjermer, jordledere og ledende konstruksjoner tilkobles inntakspunktet. Ved å benytte ett inntakspunkt sikrer man god skjermingseffektivitet for bygget og en oversiktlig overgang mellom det elektromagnetiske miljøet utenfor og innenfor byggets skjerm. Ett inntakspunkt til bygningen medfører at man hindrer at induuerte strømmer i en ytre leder passerer gjennom byggets skjermstruktur og gir kobling mot utstyr og ledere i bygget.

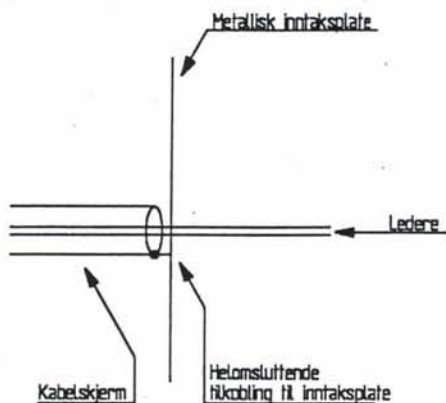
Inntakspunktet skal være av metall og plasseres der hvor byggets skjerm er tettest.

Inntakspunktet skal være utjevning mellom alle skjermer, jordleder og ledende konstruksjoner som føres inn i bygningen. Inntakspunktet må derfor være i metall.

Inntakspunktet plasseres der skjermen er tettest, da det er behov for størst mulig ledningsevne i dette punktet (utjevning mellom ulike systemer).

Dersom bygningen har en tett skjerm skal inntakspunktet være en plate av metall. Platens tykkelse er ikke kritisk, men avgjøres ut i fra praktiske og mekaniske krav. (Se fig. 5.3)

Tett skjerm for et bygg betyr at bygget er utført med i hovedsak helomsluttende metallisk skjerm.



Figur 5.3: Inntaksplate

Hvis bygningen ikke har tett skjerm kan inntakspunktet være en samleskinne av metall (normalt sammenfallende med byggets hovedjordskinne).

Bygning uten tett skjerm betyr at bygget ikke er planlagt med skjerm. Byggets armering forstås som en lite tett skjerm, og samleskinne ved inntak til bygget vil være tilstrekkelig.

Dersom inntakspunktet ikke er sammenfallende med byggets hovedjordskinne, skal hovedjordskinne plasseres nær inntakspunktet slik at utjevningsforbindelsen blir kortest mulig. Utjevningsforbindelsen skal ha tverrsnitt

som sikrer avledning av de maksimale jordstrømmer som kan oppstå ved inntakspunktet.
Utjevning mellom inntakspunkt og hovedjordskinne skal sikre samme potensial. Utjevningsforbindelsen gjøres kort for best mulig ekvipotensialisering.

5.3.1.1.2 Vern mot overstrømmer og overspenninger på kabler

Utforming av overspenningsvern og overstrømsvern er beskrevet i kap. 2.4.3.1.1 og 2.4.3.1.2.

Alle lavspenning- og høyspenningskabler skal utstyres med overspenningsvern. Overspenningsvern velges ut fra forsyningssystemets nominelle spenning og skal ha innebygget termisk beskyttelse.

Overspenningsvern benyttes for å beskytte installasjonen mot spenningstransienter overført via fordelingsnettet, FEB §443.

Overspenningsvern skal plasseres ved byggets inntakspunkt, og monteres mellom faseledere og jord ved inntakspunkt. Ved E-verks forsyning med separat N-leder skal denne betraktes som faseleder og ha overspenningsvern.

Ved å plassere overspenningsvern ved byggets inntakspunkt sikres avledning av uakseptable spenninger før det kan påvirke installasjoner i bygget. Videre unngås potensialforskjeller i jordingsanlegget ved eventuell avledning. (FEB §443.)

For å oppnå et bedre vernnivå kan det ved spesielle behov plasseres ekstra vern i underfordelinger og/eller direkte foran rom/utstyr.

Spesielle behov vil eksempelvis være ved beskyttelse mot atmosfæriske utladninger.

Alle lavspenningskabler skal utstyres med overstrømsikringer på alle faseledere. Sikringer plasseres mellom overspenningsvernet og installasjonen.

Sikringer monteres for å beskytte utstyret mot store strømstyrker.

Kommunikasjonslinjer tilknyttet utstyr som er følsomt overfor høye spenninger, skal utstyres med overspenningsvern eller skilletransformator. Vernet plasseres ved byggets inntakspunkt. Vernet kobles mellom aktuelle kabelpar og jordsystemet.

Overspenningsvern benyttes for å beskytte utstyret mot spenningstransienter som kan forårsake skader på utstyret.

Bygninger som er utsatt for hyppige atmosfæriske utladninger skal beskyttes mot dette. Ved beskyttelse mot atmosfæriske utladninger skal det monteres overspenningsvern på alle kommunikasjonslinjer ved inntakspunkt til bygning og ved inntakspunkt til utstyr eller skjermede skap/rom.

Lyn gir kraftig og høyfrekvent spenningstransient, og utstyr må beskyttes for å unngå skader.

5.3.1.1.3 Filtre / skilletransformator

Dersom ledningsbundet påvirkning ikke overholder de krav som er skissert i kap. 2.4.2, skal påvirkning begrenses ved tiltak beskrevet i kap 2.4.3.

5.3.1.2 Begrensning av elektromagnetisk kobling

Bygninger må stå så langt unna støykilder/mottakere (transformator kiosker, antenne-anlegg, KL-anlegg, trekraft o.l.) at feltkoblingen overholder utstyrets krav til akseptabel påvirkning. Dersom det ikke er mulig å hindre koblingen ved å ha tilstrekkelig avstand til støykilden/mottakeren må bygget eller deler av dette utformes med skjerm som kan begrense koblingen.

5.3.1.3 Grensesnitt mot eksterne jordsystemer

5.3.1.3.1 Jordelektrodeanlegg

Byggets jordelektrodeanlegg skal sikre elektrisk kontakt med jord og være et koblingspunkt mellom utsatte deler og andre ledende deler for å hindre elektrisk støt. Jordelektroden skal dimensjoneres slik at den kan avlede den maksimale jordstrømmen som kan oppstå i installasjonen. Utforming av jordelektrode skal ta sikte på lav impedans til jord.

Jordelektrode tilkobles byggets inntakspunkt via hovedjordleder. Hovedjordleder skal ha et tverrsnitt og lengde som gir lav impedans og dermed sikrer god avledning til jordelektroden. Hovedjordleder skal være isolert.

Ref. kapittel 9.

FEB §542.2 og §542.3.2.

5.3.1.3.2 Kontaktledningsanleggets driftsjord

Bygninger skal holdes isolert fra kontaktledningsanleggets driftsjord. Isolasjonsnivå skal tilsvare isolasjonsnivået i KL-anleggets returkrets.

Bygninger er normalt tilkoblet E-verksjord. E-verk ønsker ikke at NSB skal tilkoble KL-anleggets driftsjord til deres beskyttelsesjordnett, og dermed må kontaktledningsanleggets driftsjord holdes separert fra bygninger.

5.3.1.3.3 Tilkobling til E-verk

PE- eller PEN-leder i forsyningskabel fra E-verk skal tilkobles byggets inntakspunkt.

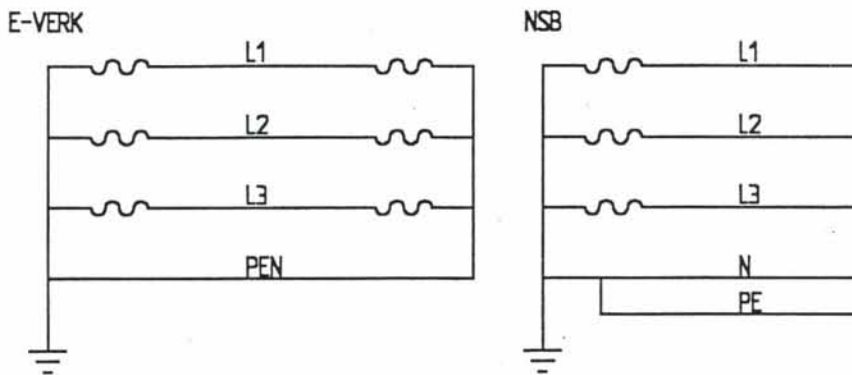
FEB §542.4.1

Bygg bør kraftforsynes fra E-verk via kabelanlegg.

Kraftforsyning via kabelanlegg gir forsyning med mindre støykomponenter enn et eventuelt linjeanlegg.

På steder der det er umulig å holde kontaktledningsanleggets driftsjord utenfor bygningens jordsystem skal E-verksjord isoleres ved inntakspunktet. Isolasjonsnivå skal tilsvare isolasjonsnivået i KL-anleggets returkrets.

Dersom E-verket leverer TN-lavspenningsforsyning til bygninger tilkoblet kontaktledningsanleggets driftsjord, må det benyttes skilletransformator ved innføring til bygget. Skilletransformatorens primærside skal ikke jordes. Sekundærvikling skal jordes til byggets inntakspunkt. (Se fig. 5.4)



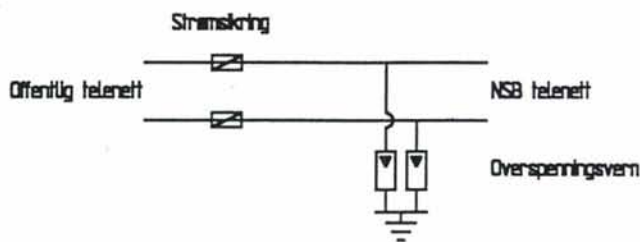
Figur 5.4: TN-lavspenningsforsyning til bygninger tilknyttet kontaktledningsanleggets driftsjord

Vann og kloakk må på i bygninger tilkoblet kontaktledningsanleggets driftsjord føres inn i ikke-ledende rørsystemer. Lengden på ikke-ledende del av rørsystemet og avstand fra ledende deler av rørsystemet til byggets jordelektrodeanlegg skal tilsvare krav til avstand mellom ulike jordelektrodeanlegg. (Ref. kap. 9) Vann og kloakk rørsystemer av metall er egentlig å betrakte som jordelektroder. I tillegg kan de føre til tilkobling mot E-verksjord fordi de har forbindelse via byggets hovedjord i nærliggende bygninger som forsynes av det samme vann og kloakk rørsystemet og med forsyning fra E-verk.

5.3.1.3.4 Tilkobling til offentlig telenett

Ved grensesnitt mot offentlige telenett skal det bedriftsinterne (NSB) nettet ha montert strømsikringer for beskyttelse mot 50 Hz strømmer fra kraftnettet som følge av galvanisk kontakt og/eller induksjon. Overspenningsvern skal monteres nærmest det bedriftsinterne nettet, og strømsikringer monteres nærmest det offentlige nettet. (Se fig. 5.5)

Ref. utfyllende forskrift for bedriftsinterne og husstandsinterne linjenett som skal tilknyttes til de offentlige telenett fra Statens Teleforvaltning.



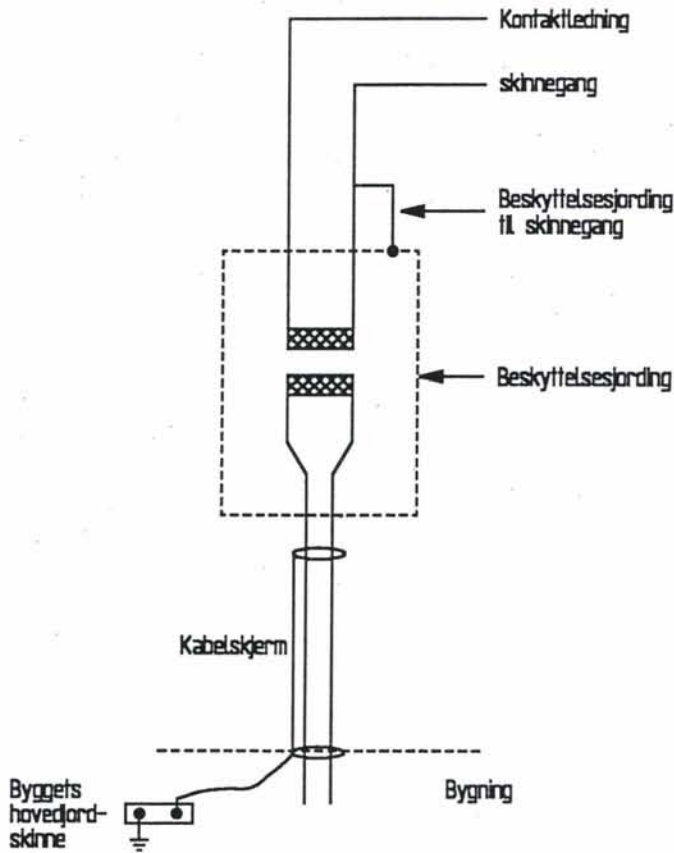
Figur 5.5: Tilkobling til offentlig telenett

5.3.1.3.5 Reservekraftforsyning fra KL-anlegg

Reservestrømsforsyning fra kontaktledning betraktes som eget separat system. Utstyr matet fra reservestrøms-transformator beskyttelsesjordes til det normale beskyttelsesjordnettet. Det må anordnes vern som bryter strømforsyning fra reservestrøms-transformatoren ved eventuell feilsituasjon i utstyr.

Kabelskjermen på kabel fra reservestrømstransformator skal tilkobles til byggets inntakspunkt. I motsatt ende skal kabelskjermen holdes isolert. Sekundærsiden på reservestrømstransformator skal holdes galvanisk skilt fra kontaktledningsanlegget. Isolasjon skal tilsvare maksimal driftspenning i kontaktledningsanlegget. (Se fig. 5.6)

Sekundærsiden på reservestrømstransformator må være galvanisk skilt fra kontaktledning for å sikre at skinnepotensialet ikke trekkes inn i bygning.



Figur 5.6: Reservestrømsforsyning fra KL-anlegg

5.3.1.4 Spesielle tiltak i bygninger ved fare for atmosfæriske utladninger

Bygninger som er utsatt for hyppige atmosfæriske utladninger skal beskyttes ved bruk av eget lynavlederanlegg. Lynavlederanlegg skal primært være en mast plassert i nærheten av bygning slik at denne vil være beskyttet mot direkte nedslag. Eventuelt kan det anordnes lynavlederanlegg med oppfanger på byggets tak, ledere mellom oppfanger og jordelektrode, og eget jordelektrodeanlegg.

FEB §542.4.1.

Målet med lynavlederanlegg er å hindre at det oppstår atmosfærisk utladning i form av lynnedslag. Dersom lynnedslaget likevel forekommer skal lynavlederanlegget begrense virkningen av dette på det.

Lynavlederanlegg skal utføres med separat jordelektrode. Det skal finnes utjevningsforbindelse mellom byggets jordelektrode og lynavlederanleggets jordelektrode.

Det skal være utjevningsforbindelse mellom lynavlederanleggets jordelektrode og byggets jordelektrode for å sikre samme potensial, og dermed unngå eventuelle overslag.

Lynavlederanleggets jordelektrode skal ha lav impedans for å minimalisere spenningsfallet over elektroden. *Spesielt viktig er det at elektrode og jordleder har lav induktans, da lynpulser er meget høyfrekvente.*

I bygninger med tilhørende lynavlederanlegg skal det monteres overspenningsvern på all kraftforsyning og alle kommunikasjonslinjer ved byggets inntakspunkt. Videre skal det anordnes overspenningsvern inn til alt utstyr i bygget eller eventuelt ved inngang til skjermede skap eller rom.

Utstyr i bygningen må plasseres i tilstrekkelig avstand til lynavlederanlegget slik at feltkoblingen overholder utstyrets krav til slik påvirkning. Dersom dette ikke er mulig, skal aktuelle rom og skap i bygningen, utformes med en skjerm som kan begrense slik påvirkning.

Utladningene fører til kraftig, høyfrekvent puls som vil kapasitivt og induktivt påvirke nærliggende utstyr/ledere. For å unngå denne påvirkningen fra lynavlederanlegget, kan det benyttes mast som oppfanger. Masten må da plasseres i en viss avstand til bygget.

5.3.1.5 Spesielle tiltak i bygninger med høyspenningsforsyning

Inntak av høyspenningskabler følger de samme retningslinjer som inntak av lavspenningskabler.

5.3.2 ANLEGGSSINTERN UTFORMING

5.3.2.1 Spesifisering av jordnettstruktur

5.3.2.1.1 Byggets hovedjord

Alle bygninger skal ha en sentral jordskinne (hovedjordskinne) som skal være utgangspunkt for bygningens jordnett. Byggets hovedjord skal knytte beskyttelsesledere, utjevningsforbindelser og eventuelle forbindelser for driftsjording sammen med hovedjordlederen (tilkobling mot jordelektrodeanlegg).

Beskrevet i § 542.4.1 og § 542.4.2 i FEB 91.

Dersom bygget har eget inntakspunkt som skiller seg fra byggets hovedjordskinne skal alle eksterne kabelskjermer, jordledere og ledende konstruksjoner tilkobles og føres gjennom dette inntakspunktet. Dette inkluderer hovedjordleder. Inntakspunktet skal ha utjevningsforbindelse til byggets hovedjordskinne.

Beskrevet i kap. 5.3.1.1.1.

5.3.2.1.2 Driftsjord

Driftsjordkretser er returforbindelser for aktuelt system. Returforbindelser skal betraktes som faseledere og behandles deretter. Dette betyr at driftsjordnett alltid skal danne trestruktur.

AC lavspenningsforsyning

Det skilles her på to ulike lavspenning-systemer:

- IT: Systemet er isolert i forhold til jord. Enfaset strømforsyning skjer via to faseledere. Utsatte anleggsdeler beskyttelsesjordes til separat jordnett. IT-systemet har ikke egen driftsjordleder.
- TN: Systemet har nullpunktet i transformatorens lavspenningsvikling direkte jordet. Enfaset strømforsyning skjer mellom faseleder og driftsjordleder (N-leder). Utsatte anleggsdeler jordes via beskyttelsesleder (PE-leder). I TN system er N-leder og PE-leder sammenkoblet ved byggets inntakspunkt. N-leder fungerer som driftsjordleder i TN-system.

Driftsjord (N-leder) i TN lavspenning-system skal danne treformet jordnettstruktur. Det kan ikke på noe punkt avvikes fra trestrukturen. Etter at PE- og N-leder skilles ved byggets inntakspunkt skal N-leder betraktes som en fjerde faseleder.

Beskrevet i FEB 91 §312.2

DC kraftforsyning

DC kraftforsyning mates fra likeretter. Det skal etableres egen framleder og tilbakeleder. Disse skal plasseres i samme kabel.

En krets har økende antennevirkning i forbindelse med elektromagnetiske felt ved økning av det areal som dannes av kretsens ledere. Ved å redusere dette arealet (dvs. legge fram og tilbakeleder så nær hverandre som mulig) reduseres inn- og utstråling fra kretsen.

Likeretterens AC driftstrømkrets kobles som beskrevet for AC lavspenningsforsyning. Likeretteren skal beskyttelsesjordes iht. beskrivelse i kap. 5.2.3.

Signal Referanse Jord

Signal Referanse Jord er returforbindelse for ubalanserte tele-/data-forbindelser, og kan betraktes som en signalleder. SRJ skal danne et treformet jordnett, med tilkobling til byggets hovedjordskinne.

Det dannes et nett for Signal Referanse Jord for å sikre mest mulig enhetlig potensiale for tilkobling mellom ubalanserte tele-/data-systemer. Ved å etablere eget nett for SRJ sikres det mot påvirkning fra eventuelle støystømmer i beskyttelsesjordnettet (PE).

Ved ubalanserte forbindelser mellom kort/utstyr med jordplan koblet til henholdsvis PE og SRJ, skal signalledere (inkl. SRJ-leder) skilles galvanisk.

SRJ skal alltid holdes adskilt fra PE-nettet for å unngå påvirkning fra eventuelle støystømmer i beskyttelsesjordnettet (PE).

Signal Referanse Jord vil delvis ha skjermingsfunksjonalitet. Eksempelvis vil jordplan på kretskort som benyttes til signalreferanse knyttes mot SRJ. SRJ-leder skal i likhet med andre signalledere utstyres med filter ved inngang til rom/utstyr dersom krav til akseptabel ledningsbundet støy ikke overholdes.

SRJ danner jordplan på kortnivå, og skulle dermed vært en del av skjermstrukturen tilknyttet PE-nettet. Imidlertid er SRJ driftsjord og som nevnt over er det ønskelig å ha et eget jordnett for dette. Ved å jorde deler av skjermstrukturen til et referansepunkt som ikke direkte er tilknyttet den lokale skjermen, vil den lokale skjermen "punkteres". (Skjermvirkningen vil reduseres da eventuelle avledede støystømmer følger i signalbanen forbi lokale skjerm.) For å begrense denne effekten benyttes ved behov filtre på både signalledere og SRJ-leder.

Ubalanserte forbindelser bør ikke benyttes, dersom dette ikke er absolutt påkrevet.

Ubalanserte forbindelser er mer mottakelige for støy enn balanserte forbindelser (forutsatt god balanse i endeutstyr). Videre fører SRJ som nevnt til problemer med systematisering og optimalisering av jordnettstruktur.

5.3.2.1.3 Beskyttelsesjord

For å hindre berøringsfare skal utsatt anleggsdel beskyttelsesjordes. (Se kap. 5.2.3) Beskyttelsesleder skal ha et tverrsnitt og en lengde som sikrer lavest mulig impedans.

Dimensjonering av beskyttelsesledere er gitt i FEB 91 § 543.

Beskyttelsesjordledere skal i hovedsak ha isolert kappe. Isolasjonsnivå skal tilsvare driftspenning på det utstyr beskyttelsesleder er tilkoblet.

Beskyttelsesleder skal føres så nær lavspenning faseledere som mulig.

En krets har økende antennevirkning i forbindelse med elektromagnetiske felt ved økning av det areal som dannes av kretsens ledere. Ved å redusere dette arealet (dvs. legge fram og tilbakeleder så nær hverandre som mulig) reduseres inn- og utstråling fra kretsen. Ved å føre beskyttelsesleder nær lavspenning faseledere minimaliseres emisjon av elektromagnetisk energi ved eventuell feilsituasjon.

Beskyttelsesledere skal alltid være tilkoblet. Det skal ikke finnes brytere i beskyttelsesjordnettet, og frakobling av beskyttelsesledere skal kun skje ved bruk av verktøy.

Beskrevet i FEB §543

For beskyttelsesjording av tele-/data-utstyr skal det være egen grein i PE-nettet med sammenkobling til det resterende PE-nettet i hovedjordskinne (evt. jordskinne i underfordeling). Denne trestrukturen skal separeres fra resterende PE-nett med eneste tilkobling ved byggets hovedjordskinne.

Separat PE-nett for tele-/data-utstyr etableres for å unngå påvirkning fra eventuelle støystømmer i det resterende PE-nettet grunnet feilstrømmer eller kapasitive koblinger mellom utstyr og PE-nettet.

Beskyttelsesjordnettet utformes i prinsippet likt for IT og TN lavspenningsforsyning. Imidlertid tillater ikke FEB 91 klasse 0 utstyr (utstyr som ikke kan tilkobles PE-nettet) i TN-systemer.

Beskrevet i FEB 91 §413.1.3.1. Klassifisering av utstyr er gitt i FEB 91 §201.

Ved IT-lavspenningsforsyning har beskyttelsesjordnettet som hovedfunksjon å sikre at berøringsspenningen ikke overstiger 50 V. I IT-nett skal det finnes jordfeilvarsler. Dersom det ved enkel jordfeil ikke er mulig å overholde kravet om 50 V berøringsspenning, kreves utkobling av feilstedet. Dobbel jordfeil i et IT-lavspenning system krever utkobling.

Beskrevet i FEB 91 § 413.1 (§413.1.5)

Ved TN lavspenningsforsyning har beskyttelsesjordnettet som hovedfunksjon å sikre en tilfredsstillende returvei for en feilstrøm ved en eventuell jordfeil. Det skal finnes vern som automatisk kobler ut feilstedet ved slike feilstrømmer. Vernet skal primært være et strømvern, men kan i tillegg inkludere jordfeilbryter.

Beskrevet i FEB 91 § 413.1 (§413.1.3)

Jordfeilbryter monteres i tillegg til strømvern for å sikre utkobling selv om strømmen ikke er stor nok til å kobles ut via sikring.

Jordfeilvern skal plasseres rett etter inntakspunktet, slik at det dekker hele installasjonen. Det kan også plasseres vern i underfordelinger/på spesielle kurser i anlegget.

5.3.2.1.4 Skjermjord

Dersom et bygg er metallarmert vil dette gi en viss skjermvirkning. Byggets armering må tilkobles byggets hovedjordskinne. Det skal ikke finnes koblinger mellom armeringsnettverket og jordnett andre steder i bygningen. Alle enheter som skal festes i tak, gulv eller vegg må festes slik at enheten er isolert fra armering.

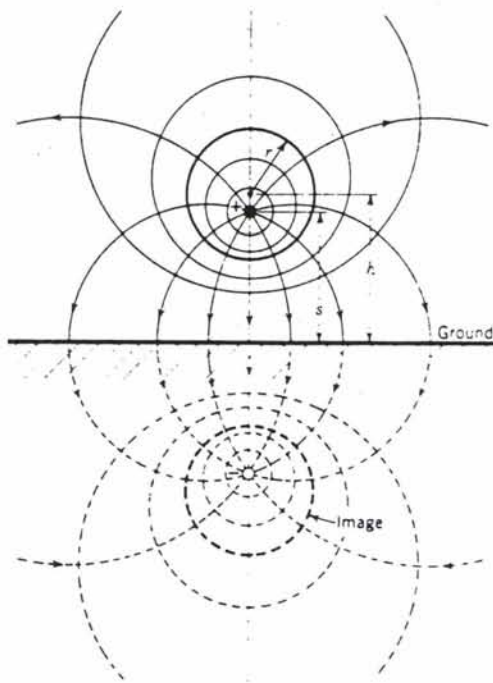
Dersom det ikke er mulig holde armeringsnettverket isolert fra beskyttelsesjordnettet (unntatt i byggets hovedjord) skal beskyttelsesjordnettet utforme et delvis eller totalt maskenett.

Ref. kap 5.2.1.2.

Alle typer jordplan vil gi en skjermende effekt på utstyr/forbindelser som er lokalisert nær planet. Utforming av beskyttelsesjord og skjermjord-nettet skal legge vekt på å danne jordplan (evt helomsluttende skjerm).

Utstyr lokalisert nær et jordplan vil ha elektriske feltlinjer som vil "avbøyes" normalt mot jordplanet. Dette betyr at feltet ut fra en krets plassert nær et jordplan raskt vil reduseres med avstand. (Se fig. 5.7)

Videre vil alle innkommende elektriske feltlinjer "avbøyes" normalt mot jordplanet. Dette resulterer i begrenset kobling inn på kretser forlagt på jordplan.



Figur 5.7: Leder plassert over et metallisk jordplan

All forlegning av kabler skal skje på metalliske bruer/kanaler. Kabelbruene/kanalene må være metallisk sammenhengende. For å sikre dette anbefales en uisolert PE-leder forlagt på kabelbrua/kanalen med hyppig elektrisk tilkobling til brua/kanalen.

Kabelkanalen må være formet i et treformet nett. Kabel skal ikke føres utenom kabelkanalene.

Kabelkanalen vil gi jordplanfunksjonalitet for kabler forlagt i denne. Kabelkanal-strukturen må ikke danne sløyfer da dette vil kunne gi økt feltkobling.

I rom med tele-/data-teknisk utstyr skal alt utstyr plasseres i skap med metallisk helomsluttende skjermingsfunksjonalitet. Kabelkanalen skal fysisk tilkobles skapet. All kabling til skapet skal skje gjennom dette koblingspunktet (inntakspunkt). PE-leder som følger kabelkanal og er jevnlig koblet til denne, jordes i koblingspunktet ved inntaket til skapet. Utstyr i skapet som krever beskyttelsesjording skal tilkobles denne PE-lederen (i koblingspunktet). (Se fig. 5.8)

Eventuelt kan rom dedikert til tele-/data-teknisk utstyr ha eget jordplan i gulvet (datagulv). (Se fig. 5.9)

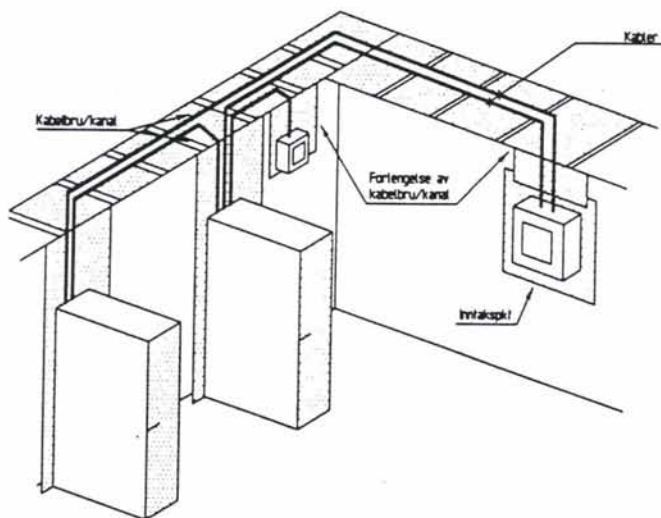
Skapene forbindes da til jordplanet. Det skal kun finnes én kabelkanalforbindelse inn til rommet, og kabelkanalen skal kobles til jordplanet i rommet. All kabling internt i rommet skal skje ved forlegning nærmest mulig jordplanet. PE-leder som følger kabelkanal og er jevnlig koblet til denne, jordes jevnlig til rommets jordplan og i koblingspunktet ved inntaket til alle skap. Utstyr i skapene som krever beskyttelsesjording skal tilkobles denne PE-lederen. (PE-lederen skal danne trestruktur.)

Dersom det kan oppstå store ledningsbundne forstyrrelser på kabler i bygget, bør det vurderes bruk av filtre på kabler i overgang mellom kabelkanal og rommets jordplan.

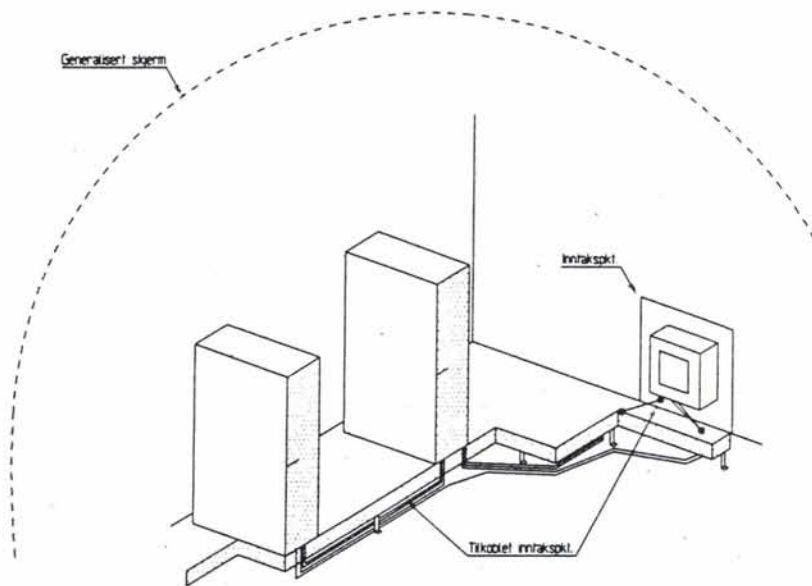
Rommets jordplan sammen med kabelkanalene danner sammen et felles jordplan, med den funksjonaliteten dette medfører. Skap med helomsluttende skjermer kobles til jordplanet, og kan betraktes som alle andre enheter plassert på jordplanet. Videre vil utstyret inne i skapet være skjermet fra omgivelsene med den skjermvirkning skapet kan oppvise.

Forbindelser fra enheter til skjerm skal ha lav impedans. Spesielt viktig er det at forbindelsen har lav induktans. Dette sikres ved bruk av korte jordledere med stort tverrsnitt.

Forbindelser som skal avlede høye frekvenser må ha lav induktans for å sikre at det ved høyfrekvent strømgjennomgang ikke oppstår store spenningsforskjeller pga induktansen i forbindelsen, samt må lengden være kort i forhold til bølgelengde det skjerms mot, for å forhindre refleksjoner i lederen.



Figur 5.8: Rom med utstyr plassert i helomsluttende metalliske skjermer



Figur 5.9: Rom med jordplan

5.3.2.2 Begrensning av elektromagnetisk ledningsbundet kobling

5.3.2.2.1 Filtrering av ledningsbundet støy

Alt elektrisk utstyr skal følge de krav til EMC som er gitt i kap 2.4.2. Likevel vil sammenkobling av utstyr (til systemer) føre til større mottakelighet for uakseptabel påvirkning. Denne påvirkningen kobles i hovedsak inn via kabelføringene. Dersom det oppstår uakseptabel ledningsbundet påvirkning på utstyr eller systemer skal tiltak beskrevet i kap. 2.4.3.1 benyttes.

5.3.2.2.2 Overspenningsvern

Overspenningsvern plasseres primært ved inntak i bygningen. For utstyr eller systemer som er spesielt følsomme mot overspenningstransienter, plasseres tilleggsvern før utstyret.

5.3.2.2.3 Reservestrømsforsyning

For enkelte systemer er det viktig at kraftforsyningen ikke mistes over kortere eller lenger tidsrom. Kravet til spenningsdip og langvarige bortfall varierer fra system til system. Dersom et system har krav til avbruddsfri strømforsyning skal disse tas hensyn til ved utforming av anlegget.

Reservestrømsforsyning må utformes slik at det ikke forårsaker avvik i jordnettstrukturen, og de prinsipper som er skissert til sameksistens mellom anlegg i dette dokumentet.

Batterianlegg skal ha pluss-polen jordet.

Batteriets ene pol jordes for å gi filtervirkning mot differential-mode spenninger i kraftforsyningen. Videre velges plusspolen jordet da dette minimaliserer materialvandringen i jordsystem/jordelektrode.

5.3.2.3 Begrensing av elektromagnetisk feltkobling mellom systemer

Alt elektrisk utstyr skal følge de krav til EMC som er gitt i kap 2.4.2. Likevel er det behov for spesifisering av hvordan man kan gruppere typer utstyr på en enkel måte for å bedre det elektromagnetiske miljøet. Videre defineres ikke kabelanlegg under elektrisk utstyr og krever dermed beskrivelse av hvordan kobling mellom kabler begrenses.

5.3.2.3.1 Plassering av utstyr

Tele-/data-teknisk utstyr bør plasseres i eget/egne rom. Rommene bør skjermes med jordplan som beskrevet over. Det må kreves en minimumsavstand til annet utstyr og kabelføringer som kan ha forstyrrende effekt. *Tele-/data-systemer er normalt følsomme for elektromagnetisk påvirkning. Denne type systemer plasseres i egne rom for å begrense muligheten for påvirkning fra omverden. Utforming av jordplan i rommet vil forbedre denne skjermingseffekten, og vil i tillegg begrense påvirkning mellom de ulike systemene i rommet.*

Støyende elektrisk utstyr skal plasseres i egne rom. Rom for støyende elektrisk utstyr skal plasseres i en slik avstand at det ikke påvirker rom for tele-/data-utstyr.

Normalt er det vanskelig å skjerme mot lavfrekvente magnetfelt på annen måte enn å sikre tilstrekkelig avstand mellom påvirkende og påvirket utstyr.

5.3.2.3.2 Kabelføring

Alle kabler tas inn i bygninger via felles inntakspunkt. Det skal finnes eget rom for inntak av kabler.

All kabelføring skal skje i metallisk sammenhengende kabelkanaler/bruer. For å sikre dette føres uisolert PE-leder i kabelkanalen. PE-lederen tilkobles kanalen jevnlig.

Dette gir jordplanfunksjonalitet. Se kap. 5.3.2.1.4.

Kraftkabler og kommunikasjonskabler må separeres i ulike kanaler eller i felles kanal med metallisk skille mellom føringene.

Ved separasjon av kraftkabler og kommunikasjonskabler sikres en begrensing av kobling mellom ulike typer kabler.

Det anbefales bruk av balanserte/symmetriske kabler der dette er mulig.

Balanserte overføringer er langt mindre mottakelige for elektromagnetisk støy. Ved ideelt balanserte kabler vil ikke common-mode spenninger føre til differential-mode spenninger, som igjen vil påvirke nyttesignalet i kablen. Videre vil balanserte kabler gi lavere feltstråling enn ubalanserte kabler.

Der ubalanserte kabler må benyttes skal disse ha skjerm. Det anbefales også at balanserte kabler har skjerm. *Kabler skjermes for å begrense den elektromagnetiske koblingen inn og ut av kablen. Skjerming vil bl.a. ha jordplan funksjonalitet. Se kap. 5.3.2.1.4.*

Kabelskjerming skal fysisk jordes i en ende. Dersom kabler forårsaker eller er påvirket av høyfrekvent støy, skal skjerming tilkobles i "åpen ende" (isolert ende) med omsluttende kapasitiv kobling til utstyrets lokale skjerm.

Jording av kabelskjerming er viktig for å sikre skjermingens funksjonalitet. Primært er det ønskelig å jorde alle skjerming i begge ender. Dette kan imidlertid gi uønskede strømmer i skjerming som kan indusere spenninger på kabelens ledere. Videre vil en direkte fysisk kobling av alle kabler til alt utstyr gi et maskenett, noe som ikke er ønskelig i den jordnettstrukturen som er beskrevet.

Ved høyfrekvent støy vil kabelskjerming som kun er tilkoblet utstyrets skjerming i en ende ikke fungere. Høyfrekvent støy vil kobles kapasitivt mellom skjerming og ledere. Dersom skjerming ikke er avsluttet helomsluttende i begge ender vil den høyfrekvente støyen være representert både på utsiden og innsiden av skjerming, og begrenset av kobling oppnås i prinsippet ikke.

Kabler der skjerming fungerer som SRJ-leder bør unngås, dersom de ikke er absolutt påkrevet. Når denne type kabler benyttes skal kabelens skjerming behandles tilsvarende tidligere beskrivelser av SRJ-ledere og ikke som en normal kabelskjerming.

Kabelskjerming som fungerer som SRJ er driftsjord. Dermed betraktes denne som signalleider og skal behandles deretter.

5.3.2.3.3 Fordelingsstativ for lavspenningsforsyning og kommunikasjonslinjer

Fordelingspunkter for lavspenningsforsyning og kommunikasjonslinjer skal skje på et definert jordplan eller inne i et metallisk skjermende skap. Fordeling av lavspenningsforsyning og kommunikasjonslinjer skal holdes adskilt med tilstrekkelig avstand til å hindre uakseptabel påvirkning mellom de to.

Fordelingspunkt er tradisjonelt sårbare for påvirkning i tillegg til å være store støykilder. I disse punktene åpnes kabler opp (isolasjon og skjerm/armering fjernes) og lederne fordeles fritt. Dette åpner for større elektromagnetisk kobling da ledere ikke lenger er skjermet og befinner seg i større avstand fra hverandre.

Ved bruk av skap eller jordplan kan denne koblingen begrenses til et akseptabelt nivå. (NB! Krysskoblingsstativ har funksjonalitet som et glissent jordplan. I mange tilfeller der avstander til omliggende utstyr er stor, gir stativet tilstrekkelig beskyttelse.)

5.3.2.4 Spesielle tiltak for bygninger med høyspenningsforsyning

Dersom bygninger høyspenningsforsynes, skal de nødvendige høyspenningsinstallasjoner plasseres i eget rom dedikert høyspenningsutstyr. Høyspenningsrommet må plasseres i så god avstand til andre elektriske installasjoner at disse ikke påvirkes uakseptabelt via feltmessige koblinger fra høyspenningsutstyret. Eventuelt må det utformes skjerming som begrenser påvirkningen til et akseptabelt nivå. Videre må høyspenningskabler ikke føres parallelt med lavspenning og kommunikasjonskabler i bygget.

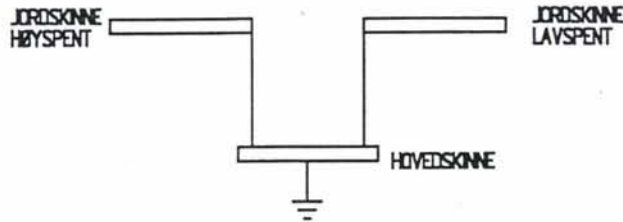
Høyspenningsutstyr plasseres i eget rom med god avstand til andre elektriske installasjoner for å begrense

den feltmessige påvirkningen på disse. Normalt er man avhengig av å sikre tilstrekkelig avstand til omliggende følsomt utstyr, da det er vanskelig å skjerme seg mot lavfrekvente magnetfelt.

Høyspenningsinstallasjoner skal ha egen jordleder. Jordlederen skal danne trestruktur.

Høyspenningsinstallasjoner skal ha egen jordskinne, og utjevnes via byggets hovedjordskinne. Det tillates ikke maskenett i bygg med høyspenningsinstallasjoner.

Høyspenningsutstyr har eget jordnett. Dette for å begrense påvirkning på annet utstyr ved eventuell feilsituasjon.



Figur 5.10: Tilkobling av høyspenning og lavspenning jordskinne til hovedjordskinne

Lavspenningsforsyning av elektriske lavspenningsinstallasjoner i høyspenningsrom (eksempelvis lysarmatur) skal skje isolert. Faseleder(e) og beskyttelsesjord fra lavspenningsanlegget føres isolert inn i høyspenningsrommet. Viser forøvrig til bestemmelser gitt i FEF 88 §30201.7.

6 ANLEGG TILKNYTTET BANESTRØMFORSYNING

6.1 INNLEDNING

Dette kapitlet beskriver utforming av anlegg tilknyttet banestrømforsyning. Utforming skal beskytte mot farlige berørings-spenninger, og sikre elektromagnetisk sameksistens med andre systemer og internt i anlegget.

Kapittel 6.2 gir en overordnet beskrivelse av strategi for jording og skjerming av anlegg tilknyttet banestrømforsyning.

Kapittel 6.3 gir en utfyllende beskrivelse av funksjonelle/strukturelle krav til jording og skjerming av anlegg tilknyttet banestrømforsyning.

Anlegg tilknyttet banestrømforsyning omfatter alle elektroinstallasjoner knyttet til omforming, styring og kobling av banestrømforsyning. Anlegg tilknyttet banestrømforsyning skal i hovedsak følge anbefalinger for jording og skjerming av bygninger tilkoblet skinnejord. (Se kap. 5) Dette kapitlet beskriver spesielle tiltak som må utføres i anlegg tilknyttet banestrømforsyning, utover beskrivelse i kapittel 5. Det forutsettes at bygningen har treformet jordnettstruktur.

6.2 OVERORDNEDE PRINSIPPER FOR JORDING OG SKJERMING

Kontaktledningsanleggets returkrets skal være veldefinert og lavohmig tilbake til enfasetransformator ved matepunktet

Alle høyspenningsanlegg tilknyttet banestrømforsyning skal ha jordnett som sikrer returvei for eventuelle kortslutningsfeil i banestrømkretsen.

Banestrømmens fram- og tilbakeledere skal føres parallelt og i tett forlegning for å minimalisere feltkobling til andre anlegg.

Høyspenningsutstyr skal plasseres i egne rom og ha egen gren i jordnettet.

E-verkets jordnett skal holdes isoleres fra anlegget tilknyttet banestrømforsyning og anlegg med kontaktledningsanleggets driftsjord tilkoblet jordnettstruktur.

Bruk av likestrømsignaler i styrekretser anbefales for å redusere støyfølsomhet og støygenerering.

Det anbefales bruk av fiberkabler på utsatte kommunikasjonsoverføringer.

Vann og avløpsrør fra det offentlige nettet skal føres med ikke-ledende rør til anleggene.

6.3 FUNKSJONELLE KRAV TIL JORDING OG SKJERMING

6.3.1 EKSTERNE GRENSESNIITT

6.3.1.1 Grensesnitt mot kontaktledningsanlegget

Returledning fra kontaktledningsanlegget skal ha et tverrsnitt som sikrer lavohmig forbindelse til matestasjon. De største belastningsrømmene som kan forekomme skal være dimensjonerende for tverrsnittet på forbindelsen.

Returledning skal dubleres og sammenkobles med jevne mellomrom.

Bruk av to ledere i parallell i stedet for en med dobbelt så stort tverrsnitt gir lavere impedans (på grunn av strømfortrengning). I tillegg vil dublering gi redundans i returforbindelsen.

Banestrømmens returkrets skal føres til egen retursamleskinne. (Se fig. 6.1) Denne skal ha utjevningsforbindelse til hovedjordsamleskinne for å lede eventuelle feilstømmer tilbake til matepunktet. *Det skal benyttes egen retursamleskinne for å sikre at den øvrige jordnettstrukturen i installasjonen blir uavhengig av driftstrømkretsen*

Utjevningsforbindelse mellom retursamleskinne og hovedjordsamleskinne må dimensjoneres for å tåle de maksimale kortslutningstrømmer som kan forekomme.

Eventuell skinnegang som føres frem til anlegget skal være sidespor som er elektrisk isolert fra den øvrige skinnegang i kontaktledningsanlegget. Isolasjonsnivå skal tilsvare isolasjonsnivå i kontaktledningsanleggets returkrets.

Jordnett i anlegg med komponenter tilknyttet banestrømforsyningen må elektrisk forbindes til kontaktledningens returkrets (skinnegangen) for å ivareta beskyttelse ved en kortslutningsfeil. Forbindelsen skal tåle de kortslutningstrømmer som kan oppstå.

Elektrisk forbindelse mellom jordnettet og skinnegangen sikrer returvei til matepunkt og rask utkobling ved eventuelle feilstømmer.

Banestrømmens fram- og tilbake-ledere mellom kontaktledningsanlegget og høyspenningsinstallasjonene skal føres parallelt i nær forlegning.

Tett føring mellom fram- og tilbake-leder begrenser kretsens areal, og dermed begrenses det totale feltet omkring kretsen.

Ved jordslutning i kontaktledningsanlegget skal det finnes vern som kobler ut spenning på kontaktledning. Vernets reaksjonstid skal bestemmes ut fra spenningsnivå og feilhyppighet i kontaktledningsanlegget. Definerte grenser for utkoblingstid er gitt i FEF-88 §40801.3.1.

6.3.1.2 Grensesnitt mot E-verk

E-verkets beskyttelsesjordnett skal isoleres fra anlegg med jordnett tilkoblet kontaktledningsanleggets driftsjord.

Anlegg tilknyttet banestrømsforsyning kreves tilkoblet kontaktledningsanleggets driftsjord, og skal dermed isoleres fra E-verkets beskyttelsesjordnett.

Isolasjonsnivået skal minst tilsvare høyeste driftspenning. Ved driftspenning lavere enn isolasjonsnivå i kontaktledningsanleggets returkrets, skal isolasjonsnivået i kontaktledningsanleggets returkrets være minstekrav til isolasjon.

6.3.1.2.1 Inntak av høvspenningstilførsel

Ved inntak av trefase høvspenning fra linje avsluttes og jordes eventuell jordleder fra E-verket ved mast i god avstand fra anlegg tilknyttet bamestrømsforsyning. Tilstrekkelig avstand vurderes etter samme prinsipper som i kapittel 9 (vedrørende avstander mellom jordelektroder).

Ved inntak av trefase høvspenning fra kabel, skal kabelens skjerm/jordleder isoleres fra jordnett i anlegg tilknyttet banestrømsforsyning

6.3.1.2.2 Inntak av lavspenningstilførsel

Lavspenningstilførsel tas inn som beskrevet i kapittel 5, avsnitt 5.3.1.3.3.

6.3.2 ANLEGGSPESIFIKK UTFORMING

6.3.2.1 Jordnettstruktur for høvspenningsutstyr

Høvspenningsutstyr skal jordes til egen jordskinne. Denne skal utjevningsforbindes til hovedjordskinne. *Jordfeil på høvspenningsanlegg skal ikke overføres til lavspenningsanlegg.*

Utjevningen via hovedjordskinne skal utformes slik at farlige potensialforskjeller ikke kan oppstå.

Dersom det forekommer flere høvspenningsnivåer anbefales forskjellige jordskinner for de forskjellige spenningsnivåene med utjevningsforbindelse til hovedjordsamleskinne. Utstyr som er tilknyttet forskjellige spenningsnivåer skal jordes og isoleres iht det høyeste spenningsnivået.

Jordleder for høvspenningsutstyr skal være en sløyfe med begge endepunkter på jordlederen tilkoblet jordskinne for aktuelt spenningsnivå..

Dersom begge endepunktene på jordlederen har tilkobling til jordskinnen, oppnåes følgende fordeler:

- risikerer ikke farespenninger i noen endepunkter på jordlederen ved feil.
- oppnår alternativ vei for feilstrømmer ved eventuelt brudd i jordlederen
- reduserer impedansen i jordnettet mellom utstyret til hovedjordsamleskinnen

Ref. FEF § 30201.1.1

Metalliske installasjoner som ikke direkte er tilknyttet høyspenningsinstallasjon (som f.eks. vannrør), skal ikke føres gjennom høyspenningsrom

Ref FEF § 30201.2.1

6.3.2.2 Jordnettstruktur for lavspenning- og svakstrømsutstyr i høyspenningsinstallasjoner

Lavspenningsutstyr i høyspenningsrom eller nær høyspenningsanlegg skal beskyttelsesjordes til beskyttelsesjordnettet for lavspenningsanlegget. Jordlederen føres isolert fra utstyret som skal beskyttelsesjordes til jordnettet for lavspenningsanlegget. Isolasjonsnivået skal tilsvare høyeste driftspenning.

Lavspenningsutstyr tilkoblet høyspenningsinstallasjoner skal jordes til høyspenningsanleggets jordnett. Utstyret skal isoleres med isolasjonsnivå tilsvarende høyeste driftspenning (dvs. driftspenning på høyspenningsanlegget utstyret er tilkoblet). Alle ledere til/fra lavspenningsutstyr tilkoblet høyspenningsinstallasjoner skal galvanisk skilles iht. høyeste driftspenning (dvs. driftspenning på høyspenningsanlegget utstyret er tilkoblet).

Utstyr som inngår i styre- og kontrollutrustingen betraktes som datautstyr og skal beskyttelsesjordes via egen grein i beskyttelsesjordnettet. Dette jordnettet sammenkobles med resterende beskyttelsesjordnett i anleggets hovedjordskinne.

Separat beskyttelsesjordnett for datautstyr etableres for å unngå påvirkning fra eventuelle støystrømmer i det resterende beskyttelsesjordnettet grunnet feilstrømmer eller kapasitive koblinger mellom utstyr og beskyttelsesjordledere.

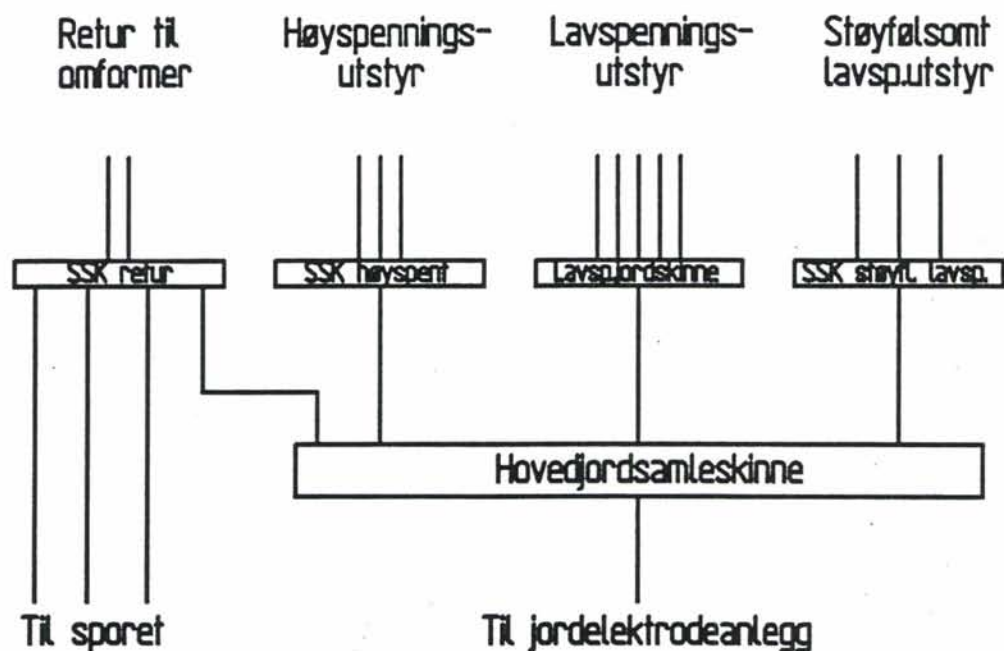
6.3.2.3 Hovedjordskinne

Anlegg tilknyttet banestrømsforsyning skal ha en sentral jordskinne (hovedjordskinne) som skal være utgangspunkt for anleggets jordnett. Hovedjordskinne skal knytte beskyttelsesjordledere, utjevningsforbindelser og driftsjordkretser sammen med hovedjordleder (tilkobling til anleggets jordelektrodeanlegg).

I anlegg tilknyttet banestrømsforsyning skal det etableres egne jordskinner for:

- beskyttelsesjordnett for høyspenningsutstyr
- beskyttelsesjordnett for lavspenningsutstyr
- beskyttelsesjordnett for støyfølsomt lavspenningsutstyr (tele- og data- utstyr)
- kontaktledningsanleggets driftsjord

Denne oppdelingen i jordskinner/jordsystemer for de forskjellige delanleggene gjøres for å redusere påvirkning mellom de forskjellige anleggene. For at ønsket funksjon skal oppnås må avgrensningene fra hovedjordsamleskinne utformes som trestruktur. (Se figur 6.1)



Figur 6.1: Prinsippkisse for anordning av jordskinner

6.3.2.4 Sameksistens mellom systemer

Høyspenning-utstyr skal plasseres i egne rom. Høyspenning-rommet må plasseres i tilstrekkelig avstand til andre elektriske installasjoner slik at disse ikke påvirkes uakseptabelt via feltkoblinger fra høyspenning-utstyret. Eventuelt må det utformes skjermer som begrenser påvirkningen til et akseptabelt nivå. Videre må høyspenning-kabler ikke føres parallelt med lavspenning og kommunikasjon-kabler i bygget.

Høyspenning-utstyr plasseres i eget rom med tilstrekkelig avstand til andre elektriske installasjoner for å begrense den feltmessige påvirkningen på disse. Normalt er man avhengig av å sikre tilstrekkelig avstand til omliggende følsomt utstyr, da det er vanskelig å skjerme seg mot lavfrekvente magnetfelt.

7 KABELANLEGG

7.1 INNLEDNING

Dette kapittelet beskriver utforming av kabelanlegg. Utforming skal sikre beskyttelse mot farlige berøringsspenninger, og sameksistens med andre systemer og internt i anlegget.

Kapittel 7.2 gir en overordnet beskrivelse av strategi for jording og skjerming av kabelanlegg.

Kapittel 7.2 gir en utfyllende beskrivelse av strukturelle/funksjonelle krav til jording og skjerming av kabelanlegg.

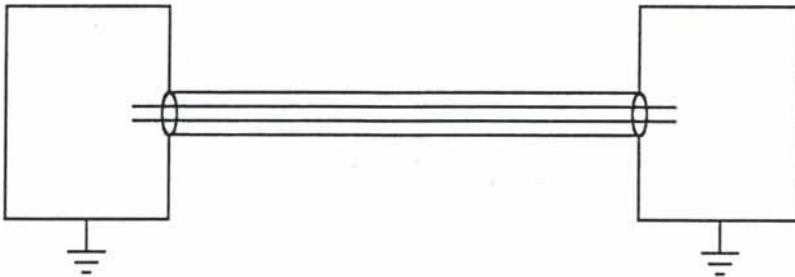
Kabelanlegg omfatter høyspenning-, lavspenning- og kommunikasjonskabel. Kommunikasjonskabler omfatter alle type kabler tilknyttet kommunikasjonsoverføring.

7.2 OVERORDNEDE PRINSIPPER FOR JORDING OG SKJERMING

Det bør benyttes symmetriske / balanserte forbindelser for metalliske kabelforbindelser ved NSB.

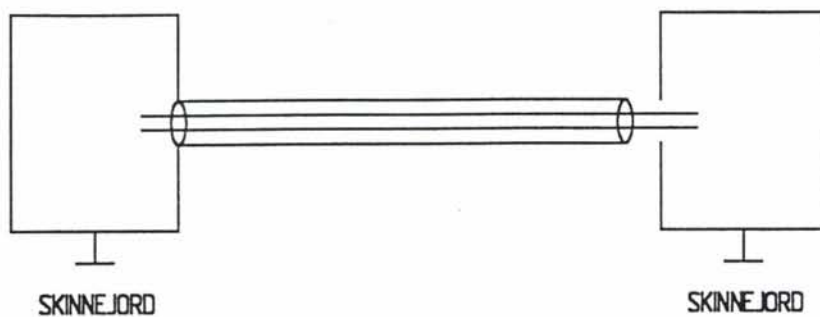
Symmetriske/balanserte forbindelser begrenser inn- og utstråling fra forbindelsen.

Kabler forlagt på ikke elektrifiserte strekninger eller mellom utstyr utenfor slyngfeltet, skal ha kabelskjerm jordet i begge ender. (Se fig. 7.1)



Figur 7.1: Prinsipp for jording av kabelskjerm på ikke-elektrifiserte strekninger og utenfor slyngfelt

Kabler forlagt på elektrifiserte strekninger mellom utstyr innenfor slyngfeltet, skal ha kabelskjerm jordet i en ende. (Se fig. 7.2.)



Figur 7.2: Prinsipp for jording av kabelskjerm innenfor slyngfelt

Kommunikasjonskabler med metalliske ledere tillates kun benyttet over korte avstander.

På gjennomgående kommunikasjonsforbindelser skal det **kun** benyttes optisk fiberkabel. Optiske fiberkabler er immune mot elektromagnetisk påvirkning, og skal derfor benyttes for alle kommunikasjonsforbindelser der lengden forårsaker fare for induksjon av farlige berøringsspenninger på kabler med metalliske ledere.

Det skal benyttes metallfri optisk fiberkabel.

7.3 FUNKSJONELLE KRAV TIL JORDING OG SKJERMING

7.3.1 EKSTERNE GRENSESNIITT

7.3.1.1 Høyspenningskabel

Høyspenningsforbindelser bør være symmetriske / balanserte, dersom det aktuelle system tillater dette. *Symmetriske/balanserte forbindelser har mindre feltkobling til omverden enn usymmetriske/ubalanserte forbindelser.*

Driftsjord i kabelforbindelser skal primært jordes i en ende (ved kretsens matepunkt).

Driftsjord er systemets returforbindelse og betraktes som faseleder. For å sikre at returstrømmen går i driftsjord skal denne kun jordes i en ende.

Avvik tillates dersom det av hensyn til personvern er behov for tilkobling til jord flere steder. Dette vil medføre at deler av returstrømmen vil benytte jordsmonnet som returforbindelse.

Høyspenningskablers skjerm skal jordes normalt i begge ender.

Ved høyspenningsforsyning til utstyr/bygninger tilkoblet skinnejord, skal kabelskjermen ikke tilkobles til utstyret/bygningen. Det må imidlertid påses at kabelskjermen er jordnet i en ende.

FEF-88 §50303.1.1. Kabelskjerm skal ikke tilkobles, for å unngå alternative veier for KL-anleggets returstrøm.

Kabelkappens isolasjon skal minst tilsvare kabelens driftspenning.

FEF-88 § 40601.2

Ved overgang fra luftlinje til kabel skal det benyttes overspenningsvern på samtlige ledere. Vernet skal plasseres i øvre del av mast, og være tilknyttet egen jordelektrode.

Ved overgang til kabel må overspenningsvern benyttes for å avkoble eventuelle transienter i luftlinjenettet.

Vernet må plasseres i øvre del av mast for å unngå eventuelle overslag til jord før transient når overspenningsvernet.

Jordingsanlegg skal være utført slik at overgangsmotstanden til jord blir tilstrekkelig lav til å hindre at det oppstår farlige berøringspenninger. Jordledere skal være isolert, og ha et tverrsnitt som tåler de feilstømmer som kan oppstå. Isolasjonsnivå skal minst tilsvare kabelens driftspenning.

Grenseverdier er gitt i FEF-88 § 50402. Det henvises også til kap. 9.

7.3.1.2 Lavspenningskabel

Lavspenningsforbindelser bør være symmetriske/balanserte, dersom det aktuelle system tillater dette.

Symmetriske/balanserte forbindelser har mindre feltkobling til omverden enn usymmetriske/ubalanserte forbindelser.

Driftsjord i kabelforbindelser skal primært jordes i en ende (ved kretsens matepunkt).

Driftsjord er systemets returforbindelse og betraktes som faseleder. For å sikre at returstrømmen går i driftsjord skal denne kun jordes i en ende.

Elektroinstallasjoner som er beskyttelsesjordet til kontaktledningsanleggets driftsjord (eksklusiv bygninger) skal kraftforsynes med IT-system. Dersom E-verket leverer TN-lavspenningssystem skal det benyttes transformator før utstyret forsynes.

Der en rekke enheter mates fra felles kabel skal transformator plasseres ved kabelen forsyningside.

Utstyr som er beskyttelsesjordet til kontaktledningsanleggets driftsjord, må forsynes med IT lavspenningsforsyning for å hindre at eventuelle kortslutninger inne i utstyret gir mulighet for 16 2/3 Hz returstrømmer i E-verkets jordnett.

Lavspenningskablens skjerm tilkobles skjerm/kapsling på utstyr/bygg som ikke er jordet til kontaktledningsanleggets driftsjord (utenfor slyngfelt eller på ikke elektrifisert strekning). Dette utstyret skal ha egen elektrode for beskyttelsesjord dersom utstyret har driftspenning som krever dette.

I tilfeller der kabelskjerm ikke er dimensjonert for å tåle induerte strømmer som følge av nærføring med kontaktledningsanlegget skal kabelen seksjoneres og kun jordes i en ende.

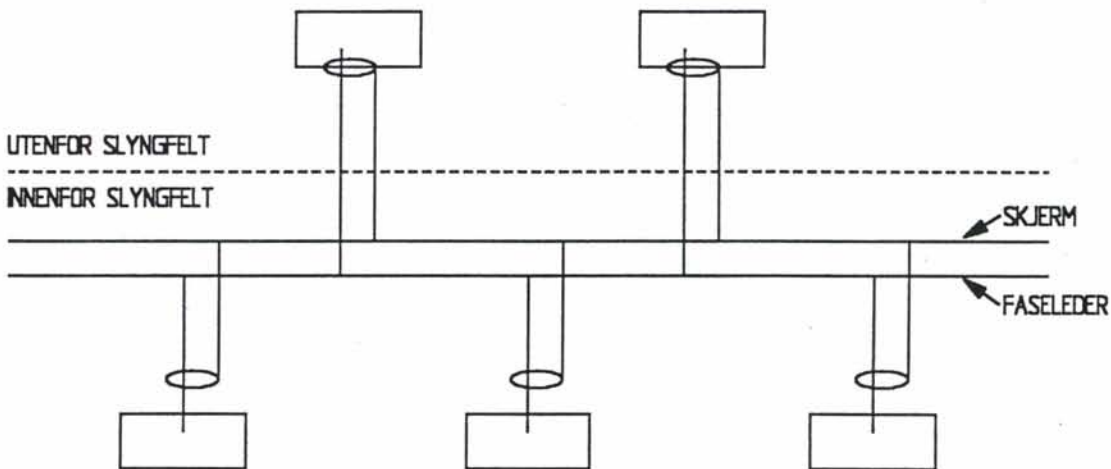
Lavspenningskablens skjerm skal i utgangspunktet jordes i begge ender for å begrense stråling inn og ut av kabel. Det er en forutsetning at kabelens skjerm tåler de induerte strømmer som kan oppstå ved nærføring av jernbanelinja.

Lavspenningskablens skjerm skal isoleres fra utstyr/bygg som er jordet til kontaktledningsanleggets driftsjord. Isolasjonsnivå mellom kabelskjerm og utstyr skal tilsvare isolasjonsnivå i KL-anleggets returkrets. (Se fig. 7.3)

Når kabelskjerm ikke jordes i en ende må det påses at skjermen er jordet i motsatt ende. Lavspenningskabler mellom utstyr plassert innenfor slyngfeltet skal jordes i en ende og isoleres i motsatt ende.

Kabelskjerm må ikke tilkobles utstyr forbundet til kontaktledningsanleggets driftsjord, da dette kan gi alternative forbindelser for KL-anleggets returstrøm og for signalstrømmer i sporet.

Skjerm på eventuell avgreiningskabel tilkobles skjerm på hovedkabel for å sikre beskyttelse mot feil mellom fase og skjerm.



Figur 7.3: Jording/isolering av skjerm på lavspenningskabel på elektrifiserte strekninger

På elektrifiserte strekninger skal kabelkappens isolasjon minst tilsvare isolasjonsnivå i KL-anleggets returkrets eller kabelens driftspenning.

Isolasjonsnivået holdes minst på nivå med KL-anleggets returkrets for å forhindre uønskede returstrømmer i kabelens skjerm.

På ikke-elektrifiserte strekninger skal kabelkappens isolasjon minst tilsvare kabelens driftspenning.

Ved overgang fra luftlinje til kabel skal det benyttes overspenningsvern på samtlige ledere mot jordelektrode. Vernet skal plasseres i øvre del av mast, og være tilknyttet egen jordelektrode.

Ved overgang til kabel må overspenningsvern benyttes for å stoppe eventuelle transienter i luftlinjenettet. Vernet må plasseres i øvre del av mast for å unngå eventuelle overslag til jord før transient når overspenningsvernet.

Jordingsanlegg skal være utført slik at overgangsmotstanden til jord blir tilstrekkelig lav for å hindre at det oppstår farlige berøringspenninger. Jordledere skal være isolert, og ha et tverrsnitt som tåler de feilstrømmer som kan oppstå.

7.3.1.3 Kommunikasjonskabel

7.3.1.3.1 Optisk fiberkabel

På gjennomgående kommunikasjonsforbindelser skal det benyttes optisk fiberkabel.

Optiske fiberkabler er immune mot elektromagnetisk påvirkning, og skal derfor benyttes for alle kommunikasjonsforbindelser der lengden forårsaker fare for induksjon av farlige berøringspenninger på kabler med metalliske ledere.

Det skal benyttes metallfrie optiske fiberkabler på elektrifiserte banestrekninger eller ved nærføring med høyspenningslinjer.

Dette er spesielt viktig i tunneler der avstandene er små, og dermed feltkoblingene større.

Dersom forlegning likevel krever armering for mekanisk beskyttelse, skal armering seksjoneres.

Ved seksjonering av armering begrenses oppbygging av induserte common-mode spenninger på kabelen.

På elektrifiserte strekninger skal kabelkappens isolasjon tilsvare isolasjonsnivå i KL-anleggets returkrets. *Isolasjonsnivå holdes på dette nivå for å unngå uønskede returstrømmer i kabelens skjerm. På ikke-elektrifiserte strekninger stilles ingen spesielle krav til kabelkappens isolasjonsnivå.*

For uarmert optisk fiberkabel og alle typer optisk fiberkabel på ikke-elektrifiserte banestrekninger finnes ikke behov for spesielle tiltak med tanke på beskyttelse mot elektrisk støt.

7.3.1.3.2 Metalliske kabler

Det bør benyttes balanserte parkabler for alle metalliske kabelforbindelser i bruk ved NSB.

Balanserte forbindelser er ved sin utforming mindre mottakelig for ekstern feltpåvirkning enn ubalanserte forbindelser.

Lokalkabel skal ha skjerm som begrenser innkobling av elektromagnetisk støy. Skjermen skal primært jordes i begge ender. Skjermen skal ha tilstrekkelig ledningsevne til å tåle de induserte strømmer som kan oppstå.

(Unntak, der kabelskjermen kun jordes i en ende, er beskrevet senere.)

I de tilfeller der skjermen ikke er dimensjonert for å tåle induserte strømmer som følge av nærføring med kontaktledningsanlegget, skal kabelen jordes i en ende. Motsatt ende skal holdes isolert.

Kabelens skjerm skal isoleres fra alt utstyr som er jordet til kontaktledningsanleggets driftsjord. Isolasjonsnivå mellom kabelskjerm og utstyr skal tilsvare isolasjonsnivå i KL-anleggets returkrets eller kabelens returkrets. (Høyeste krav er dimensjonerende.)

Når kabelskjerm ikke jordes i en ende må det påses at skjermen er jordet i motsatt ende. Kabler mellom utstyr plassert innenfor slyngfeltet skal jordes i en ende og isoleres i motsatt ende.

Kabelskjerm må ikke tilkobles utstyr forbundet til kontaktledningsanleggets driftsjord, da dette kan gi alternative forbindelser for KL-anleggets returstrøm og for signalstrømmer i sporet.

Dersom utstyret/forbindelsen er følsom for høyfrekvent påvirkning skal kabelskjermen alltid tilkobles i begge ender. Dersom kabelen ikke kan jordes i begge ender, skal skjermen jordes direkte i en ende, og tilkobles høyfrekvent (kapasitivt) ved inngang til utstyret i motsatt ende. Den kapasitive tilkoblingen til utstyret skal ha et lavfrekvent isolasjonsnivå som tåler isolasjonsnivå i kontaktledningsanleggets returkrets.

Ved høyfrekvent støy vil kabelskjerm som kun er tilkoblet utstyrets skjerm i en ende ikke fungere. Dersom skjermen ikke er helomsluttende tilkoblet i begge ender vil den høyfrekvente støyen være representert både på utsiden og innsiden av skjermen. Høyfrekvent støy vil kobles kapasitivt mellom skjerm og ledere, og begrensning av kobling oppnås ikke..

Ved innføring til bygg skal kabelens skjerm elektrisk tilkobles i byggets inntaksplate.

På elektrifiserte strekninger skal kabelkappens isolasjon tilsvare isolasjonsnivå i KL-anleggets returkrets.

Isolasjonsnivå holdes på dette nivå for å unngå uønskede returstrømmer i kabelskjerm. På ikke-elektrifiserte strekninger stilles ingen spesielle krav til kabelkappens isolasjon.

Kommunikasjonskabler med metalliske ledere skal kun benyttes ved overføring over korte avstander.

Avstanden skal ikke være lenger enn at krav til akseptabel induisert spenning på kabelens ledere overholdes.

Krav er gitt i FEF 88 §40801.5, og "Tillegg til Instruks for Televerket, del XI teknikk - Linje- og kabelarbeid. Sikringsforskrifter" T3-G2.

Lange kabler med metalliske ledere på elektrifiserte strekninger vil kunne bygge opp uakseptable induiserte spenninger på kabelens ledere (med den beskrevne jordingsstrategien vil dette bli aktuelt ved lengder på noen titalls km).

Dersom det under spesielle forhold kreves å gå lenger med kommunikasjonskabel med metalliske ledere, skal induisert spenning på lederne reduseres.

Reduksjon av induisert spenning på metalliske ledere i en kabel oppnås ved følgende tiltak:

- Fiberkabel/radio: Ved bruk av fiberkabel eller radiosamband benyttes annet transmisjonsmedium og farespenninger oppstår ikke.
- Galvanisk skille: Bruk av skilletransformator, optokobler, e.l. vil redusere berøringsfarlige common-mode spenninger på kabelens ledere.
- Kabler med reduksjonsfaktor: Kabler med reduksjonsfaktor har skjerm med god ledningsevne og høy permeabilitet. Disse kablene skal jordes i begge ender, og med jevne mellomrom. Jordingspunktene må ha lav overgangsmotstand til jord, slik at strømmen i kabelskjermen blir størst mulig. Skjermen skal holdes isolert fra kontaktledningsanleggets driftsjord, og jordes til byggets hovedjord eller egne jordelektroder. Jordledere skal være isolert. Kabelens jordpunkter skal holdes isolert fra kontaktledningsanleggets driftsjord, med tilstrekkelig avstand til at påvirkningen fra returstrøm i kontaktledningsanlegget ikke merkbart påvirker kabelanlegget.

Kabelskjermen vil føre en strøm som vil sette opp et felt motsatt av det opprinnelige induserende feltet. Kabelskjermens strøm vil dermed forårsake at det totale feltet på kabelens ledere reduseres.

Koaksialkabler har skjerm som returforbindelse. Ved inntak til bygninger/utstyr skal skjermen galvanisk skilles med kapasitiv tilkobling til byggets/utstyrets inntakspunkt.

Koaksialkabler er ofte tilknyttet utstyr jordet til kontaktledningsanleggets driftsjord. For å unngå alternativ vei for KL-anleggets returstrøm må skjerm ha galvanisk skille.

7.3.2 ANLEGGSPESIFIKK UTFORMING

Kabler skal forlegges slik at det ikke oppstår uakseptabel påvirkning mellom kabler. Ved nærføring mellom høyspenning, lavspenning og kommunikasjonskabel skal det være tilstrekkelig avstand mellom kablene til at jordslutning i en kabel ikke skader omliggende kabler.

Videre skal det ved parallellføring av høyspenning, lavspenning og kommunikasjonskabel tas hensyn til begrensning av induktiv virkning. I tilfelle eventuell feilsituasjon skal det finnes utkobling av høyspenningsanlegg ved jordslutning.

Beskrevet i FEF-88 § 40801.5.1, §40801.6, §70603.1 og "Tillegg til Instruks for Televerket, del XI teknikk - Linje og kabelarbeid. Sikringsforskrifter" T3-G2, kap.6.1.

I kommunikasjonskabler skal det ikke overføres samband som benytter effektnivåer som vil påvirke andre samband i samme kabel.

Kommunikasjonskabler skal klassifiseres iht. de effektnivåer kabelen skal overføre.

Ved klassifisering av kommunikasjonskabler grupperes samband iht de effektnivåer de benytter. Klassifisering gjøres for å sikre at det i en kabel kun overføres samband som ikke påvirker hverandre uakseptabelt.

8 EKSPLOSJONSFARLIGE OMRÅDER

8.1 INNLEDNING

Antall eksplosjonsfarlige områder i forbindelse med jernbanedrift er begrenset, og det vil i dette kapittelet kun foreslås hovedprinsipper for jording i eksplosjonsfarlige områder. Det vil i den forbindelse henvises til aktuelle normer og litteratur der ytterligere og mer detaljert informasjon finnes.

Eksplosjonsfarlige områder er definert i FEB 91 §808.

8.2 EKVIPOTENSIALISERING

På grunn av faren for antennelse av eksplosjonsfarlige gasser og væsker, er kravene til ekvipotensialisering langt strengere i eksplosjonsfarlige områder enn ved normale elektriske installasjoner. Dette setter krav til plassering av utstyr i eksplosjonsfarlige områder, potensialutjevning mellom alle ledende konstruksjoner og elektriske installasjoner, samt forhindring av gnister ved elektrostatiske utladninger.

Planlegging og utførelse av eksplosjonsfarlige områder skal gjøres iht. bestemmelsene i FEB 91 §808. Videre gir CENELEC-utarbeidede europasnormer, EN 50 014 ==> EN 50 020, beskrivelse av utforming av elektroanlegg i eksplosjonsfarlige områder.

Forslag til europasnorm, CENELEC prEN 50122-1 (Dec.93), beskriver utforming av eksplosjonsfarlige områder tilknyttet jernbanedrift.

Europasnormene er imidlertid under stadig forandring, og gjeldende europasnormer bør vurderes før disse benyttes.

Dette dokumentet behandler ikke drift av anlegg. Det vil likevel påpekes viktigheten av tilrettelegging for tilkobling (potensialutjevning) mellom faste installasjoner og transportabelt materiell.

9 JORDELEKTRODEANLEGG

9.1 INNLEDNING

Dette kapittelet beskriver krav til funksjon og utforming av jordelektrodeanlegg. Beskrivelsen er en basis for alle kapitler i dette dokumentet som tilkobles jordelektrodeanlegg.

9.2 GENERELLE FUNKSJONSKRAV

En jordelektrode skal sette et anlegg eller en anleggsdel i forbindelse med jord. Jordsmonnet defineres som null potensial, og en elektrode skal bringe nullnivået opp til jordnettet i installasjonen.

Overgangsmotstanden mellom elektrode og jordsmonnet være slik at følgende tilfredstilles:

Motstand via elektroden til jord i serie med jordleder, skal ha tilstrekkelig lav motstand til at det ikke oppstår farlig strømgjennomgang gjennom et menneske.

Overgangsmotstanden skal være tilstrekkelig lav til å sikre automatisk utkobling av strømforsyning i en feilsituasjon.

Overgangsmotstanden må ha lav motstand for at strømmen skal være tilstrekkelig til å aktivisere utkoblingsvern.

Jordelektroden skal sikre et felles og mest mulig stabilt referansepotensial for elektriske installasjoner.

Overgangsmotstand til jord kan beregnes eller måles. Se vedlegg 9.1 for beregning av overgangsmotstand og vedlegg 9.2 for måling av overgangsmotstand

9.3 PRINSIPIELL UTFORMING

9.3.1 ELEKTRODETYPE

Jordelektrodeanlegg skal utformes slik at ønsket funksjonalitet oppnås.

Overgangsmotstanden er avhengig av spesifikk jordmotstand. Overgangsmotstanden varierer med elektrodens geometriske utforming. Spesielt viktig parametere er utstrekning og overflateareal av elektroden. Større utstrekning og kontaktflate gir lavere overgangsmotstand. Se vedlegg 9.1

Elektrodetyper som spyd, bånd, tråd, plater, armering i fundamenter, armering i betong og andre anvendelige metallkonstruksjoner kan benyttes. (FEB §542.2.1) Metalliske rørkonstruksjoner tillates ikke benyttet som jordelektrodeanlegg. (FEB §542.2.6)

Ved avledning av lavfrekvente strømmer skal jordelektroden sikre lav ohmsk motstand til jord.

Lav motstand skal sikre at det ikke oppstår farlig lavfrekvent strømgjennomgang gjennom et menneske.

Ved avledning av høyfrekvente strømmer skal jordelektroden sikre lav induktans.

Ved avledning av høye frekvenser vil induktans i elektrode og jordleder ha stor betydning, Induktans i

elektrodeanlegget må være så lav at det ikke oppstår refleksjoner tilbake i anlegget fra elektroden, og at kraftige høyfrekvente spenninger ikke overstiger akseptabelt nivå. Lav induktans oppnås ved bruk av korte, parallelle elektroder.

Elektroden skal utføres av materiale som er motstandsdyktig mot korrosjon.
Eksempelvis kan kobber eller kobberkledt stål benyttes.

Levetiden på elektrodeanlegget skal være like lang som levetiden på anlegget forøvrig

9.3.2 AVSTANDER

Avstand mellom jordelektroder skal sikre at avledning fra en elektrode ikke påvirker avledning fra andre omliggende jordelektroder.

Se beskrivelse i FEF-88 § 50202.4.

Vedlegg 9.2 beskriver påvirkning mellom jordelektroder.

9.3.2.1 Avstand mellom elektroder i forskjellige elektrodeanlegg

Jordelektroder tilhørende forskjellige elektrodeanlegg skal plasseres med en avstand som sikrer at det ikke oppstår potensialheving i den ene elektroden ved feilstrømmer i den andre.

Nødvendig avstand kan finnes ved målinger. (se vedlegg 9.2)

9.3.2.2 Avstand mellom elektroder i samme elektrodeanlegg

Jordelektroder tilhørende samme elektrodeanlegg skal plasseres med en avstand som sikrer at avledning fra en elektrode ikke påvirker avledning fra andre elektroder i anlegget.

Feilstrømmer vil fordele seg mellom elektrodene, slik at avledning per elektrode blir mindre. Dette reduserer kravet til avstand mellom elektrodene.

Elektroder i samme anlegg vil få samme potensialheving i en eventuell feilsituasjon, og feilstrømmer vil gå i jord i stedet for mellom elektrodene.

9.3.2.3 Avstand mellom elektroder og skinnegangen

Jordelektroder nær skinnegangen (som ønskes separert fra kontaktledningsanleggets driftsjord) må plasseres i en avstand som minimaliserer sannsynligheten for at banestrømmen forårsaker potensialheving på elektrodene.

9.3.3 PLASSERING I FORHOLD TIL ANLEGG SOM SKAL JORDES

Lederne mellom jordelektrode og det anlegget som skal jordes skal være så korte at total overgangsmotstand til jord fra utstyret ikke overskrider uakseptabelt nivå.

Se kap. 9.2.

9.3.4 OPTIMAL UTFØRELSE VED FORSKJELLIGE GRUNNFORHOLD

9.3.4.1 Generelt

Effektiviteten av enhver jordelektrode avhenger av grunnforholdene på stedet. Antall og type jordelektroder velges etter grunnforholdene og den overgangsmotstand som kreves.

Beskrevet i FEB §542.2.1

Jordelektrodens utforming og plassering skal være slik at frost eller uttørking ikke gir høyere overgangsmotstand til jord enn tillatt.

Beskrevet i FEB §542.2.2

Jordingsystemets oppbygning og utforming skal ta hensyn til en mulig økning av elektrodens overgangsmotstand til jord som følge av korrosjon.

Beskrevet i FEB §542.2.4

9.3.4.2 Tiltak ved vanskelige grunnforhold

Ved vanskelige grunnforhold kan overgangsmotstand til jord forbedres ved bruk av kjemiske tilsetningsstoffer i jorda rundt elektroden.

Effekten av tilsetningsstoffene skal være like lenge som antatt levetid på elektrodeanlegget forøvrig.

10 DOKUMENTASJON/TEGNING

10.1 INNLEDNING

Dette kapittelet omhandler krav til dokumentasjon av anlegg i forbindelse med skjerming og jording av elektroanlegg. Det gis ikke maler for utarbeidelse av dokumentasjon, men foreslås hvilken dokumentasjon som bør finnes.

10.2 BEHOV FOR DOKUMENTASJON

Det skal finnes teknisk dokumentasjon som beskriver hvordan beskyttelse av personer, sameksistens mellom anlegg/systemer, og driftsjordforbindelser er ivaretatt i det aktuelle anlegg.

Det skal finnes tekstlig presentasjon av det aktuelle anleggets overordnede jordnettstruktur. Beskrivelsen skal inkludere jordnettets koblinger til omverden, samt hvordan ledningsbundne og feltmessige koblinger er begrenset til et akseptabelt nivå.

Det skal finnes overordnet tegning som viser jordnettstrukturen for det totale anlegget. Videre skal det finnes tegninger på flere nivåer med detaljering av enkeltdeler av anlegget. Alle tegninger skal relateres til overliggende nivå.

VEDLEGG TIL KAPITTEL 1

VEDLEGG 1.1 GENERELL BAKGRUNNSLITTERATUR

Det gis her en oversikt over bakgrunnsliteratur som er benyttet i utarbeidelse av strategidokumentet. Referansedokumenter er gitt i kap. 1.4 i strategidokument.

1. Jording. Jording av tekniske installasjoner i bygninger. Retningslinjer
Energiforsyningens Forskningsinstitutt A/S, September 1993
2. Strukturerede kabelnett. Håndbok i kabling av bygg.
Energiforsyningens Forskningsinstitutt A/S, Desember 1991
3. Jording i industrielle automatiseringsanlegg
IFEA, Mai 1993
4. Jording og skjerming
Seminar om elektromagnetisk miljøteknikk som beskriver hvordan man oppnår støyrobuste elektrotekniske systemer.
22-24 mars 1993, Storefjell Høyfjellshotell Gol
NIF Studiesenteret
5. Electromagnetics.
John D. Kraus
McGraw-Hill Bokk company, Third edition - 1985
6. Støy og farespenninger i telenettet
Bjørn Fossum - Televerket
7. Sivile og militære EMC-standarder.
Arbeidsnotat utarbeidet av Nils Arild Ringheim ved EFI i SINTEF-prosjektet "Retningslinjer for EMC-tiltak".
8. EMC mellom elektriske anlegg
En analyse av hvilke krav som bør stilles til EMC mellom elektriske anlegg ved NSB, utifra akseptabel elektromagnetisk påvirkning på signal- og teleanlegg.
NSB Bane, Ingeniørtjenesten - Desember 1992.

VEDLEGG TIL KAPITTEL 2

VEDLEGG 2.1 GENERELL TEORI/BEGREPER I FORBINDELSE MED EMC

1 FORKLARING AV BEGREPENE EMC/EMI

Elektrisk støy er alle uønskede strømmer og spenninger som kan opptre i et elektrisk system. Når elektrisk støy påvirker systemet i den grad at det ikke fungerer som forutsatt, snakker vi om forstyrrelse eller elektromagnetisk interferens (EMI - ElectroMagnetic Interference).

De elektromagnetiske forstyrrelsene kan komme fra andre deler av systemet (intrasystem), fra andre systemer (intersystem) eller fra naturlige fenomen som lyn, elektrostatisk utladning (ESD) og lignende.

Med andre ord; EMI er ethvert elektromagnetisk fenomen som kan degradere funksjonaliteten til en komponent, utstyrsenhet eller system.

Det motsatte av elektromagnetisk interferens er elektro-magnetisk kompatibilitet (EMC - ElectroMagnetic Compatibility, elektromagnetisk sameksistens). EMC beskriver en tilstand der et elektronisk system fungerer uforstyrret i sitt omgivende elektromagnetiske miljø, samtidig som det selv ikke forurensrer dette miljøet utover akseptable grenser. Det betyr at alle systemene fungerer som forutsatt.

Til tross for at EMI og EMC beskriver to motsatte situasjoner vil det likevel være en glidende overgang. EMC betyr ikke at det ikke forekommer elektrisk støy i noe system. Det vil alltid være en viss grad av påvirkning mellom systemer og internt i systemene. EMC angir at påvirkningen er så lav at alle systemer fungerer som ønsket, mens EMI angir den situasjon at påvirkningen på et system fører til funksjonalitetssvikt.

2. GRUNNLEGGENDE TEORI

Elektromagnetiske felt kan deles inn i nærfelt og fjernfelt. Nærfeltet er dominert av enten et magnetisk eller et elektrisk felt, mens det i fjernfeltet vil være et elektromagnetisk felt med et konstant forhold mellom de magnetiske og elektriske komponenter. Grensen mellom nærfeltet og fjernfeltet avhenger av bølgelengden, og kan forenklet sies å være ved $\lambda/2\pi$. Forholdene mellom elektriske og magnetiske felt, nærfelt og fjernfelt er uttrykt i Maxwell's ligninger.

Elektrisk nærfelt: Høy spenning forårsaker et elektrisk felt. (Dvs. den elektriske feltvektor er dominerende energibærer i det elektromagnetiske feltet.)
Kapasitiv kobling vil resultere i støy- spenninger i ledere som befinner seg i dette nærfeltet. Elektriske nærfelt blir også omtalt som høyimpedansfelt.

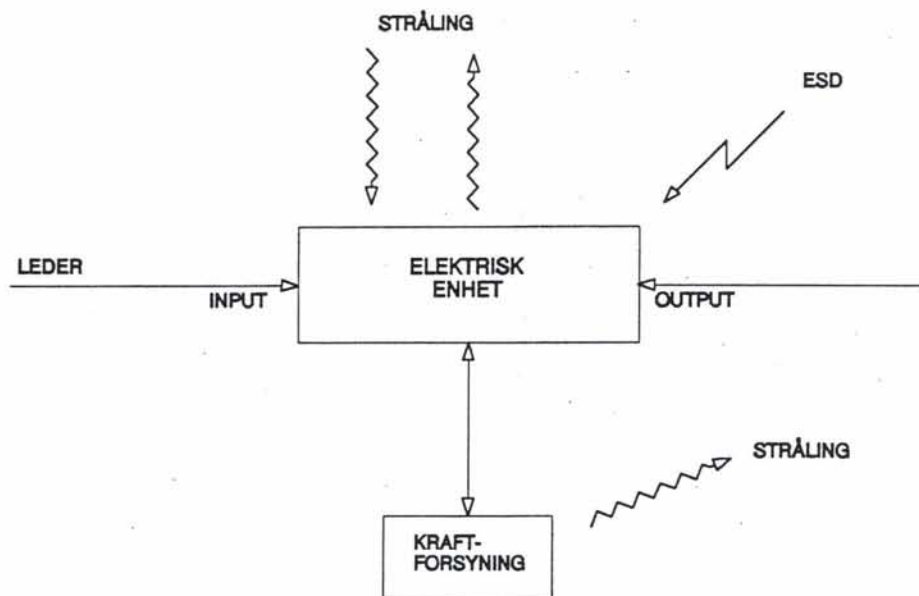
Magnetiske nærfelt: Stor strømstyrke forårsaker et kraftig magnetisk nærfelt. (Dvs. den magnetiske feltvektor er dominerende energibærer i det elektromagnetiske feltet.)
Varierende magnetiske felt som omslutter ledningssløyfer, vil indusere støyspenninger/strømmer i disse kretsene. Magnetiske nærfelt blir også omtalt som lavimpedansfelt.

Fjernfelt: I fjernfeltet er det et konstant forhold mellom de magnetiske og elektriske

komponentene. Fjernfeltet kalles ofte for stråling.

3. KOBLINGSVEIER

Ethvert elektrisk system virker både som støykilde og som støymottaker. Gjennom stråling, konduktive,



induktive og kapasitive koblinger vil ulike systemer og enheter innvirke på hverandre.

Figur 3.1: Koblingsveier for EMI

- Stråling:** Høyfrekvente støyspenninger (elektromagnetiske fjernfelt) kobles mot kretser der antennevirkningen er tilstrekkelig. De aller fleste elektriske/elektroniske komponenter er årsak til en viss stråling.
- Konduktiv kobling:** Forstyrrende og forstyrret krets deler en felles impedans. Deler av strømmen fra den forstyrrende kretsen vil dermed gå gjennom den andre kretsen og påvirke signalet i denne.

- Induktiv kobling: Ved parallellføring mellom to kretser vil stor varierende strømstyrke i den ene kretsen forårsake varierende magnetisk nærfelt som igjen vil indusere støyspenninger eller støystømmer i den parallellførte kretsen.
- Kapazitiv kobling: Nærliggende kretser med stor varierende spenning, vil påvirke hverandre gjennom kapazitiv virkning pga det elektriske nærfeltet. Den kapasitive virkningen reduseres raskt med økende avstand mellom kretsene.
- ESD: Elektrostatisk utladning (ElectroStatic Discharge) skjer oftest ved at personer som har opparbeidet en viss elektrostatisk ladning er i berøring eller i meget kort avstand til et annet jordet objekt. De statiske spenningene utlades ved meget høyfrekvente pulser. Dersom utladningen skjer gjennom følsomme komponenter, vil disse ødelegges.

Grunnleggende elektromagnetiske fenomen det må tas hensyn til i forbindelse med immunitets- og emisjonskrav:

* Ledningsbundet, lav frekvent støy

- Harmoniske
- Spennings-variasjoner/-bortfall
- Spennings ubalanse
- Frekvensvariasjoner i krafttilførsel
- DC strømmer og spenninger i AC-nettverk

* Strålt, lavfrekvent støy

- Magnetiske felt (kontinuerlige eller transienter)
- Elektriske felt

* Ledningsbundet, høyfrekvent støy

- Transienter (enkelte og skurer)
- Høyfrekvente signaler på kraftforsyning

* Strålt, høyfrekvent støy

- Magnetiske felt
- Elektriske felt
- Elektromagnetiske felt
(kontinuerlige og transienter)

* Elektrostatisk utladning (ESD)

4. TYPISKE KOBLINGSFENOMEN I FORBINDELSE MED JERNBANEDRIFT

Det elektromagnetiske miljøet i forbindelse med jernbanedrift er preget av ulike typer systemer som skal fungere tilfredstillende i hverandres nærvær.

Lokomotiv mates fra omformerstasjon via kontaktledningsanlegget. Det benyttes 16 2/3 Hz 16 kV forsyningsystem for mating av lokomotiv. Kontaktledningsanlegget overfører under normal drift store strømmer. Dette fører til at kontaktledning og returledning/skinnegang omgir seg med kraftig lavfrekvent magnetfelt. Magnetfeltet omslutter elektroinstallasjoner, kabler og ledende gjenstander langs jernbanelinjen, og inducerer spenninger /strømmer på disse. Induksjonen avhenger av koblingsimpedansen mellom kontaktledningsanlegget og det påvirkede anlegget.

Typisk forårsaker magnetfeltet fra kontaktledningsanlegget uakseptable induserte spenninger i lange parallellførte metalliske kabler/gjenstander. Spenningene kan være berøringsfarlige for mennesker.

I forbindelse med jernbanedrift vil det kunne oppstå store jordstrømmer, da kontaktledningen vil være langt mer utsatt for nedfall enn normale høyspenningslinjer. Jordstrømmene fører til kraftig induktiv virkning på nærliggende parallelle ledende kabler/gjenstander.

Kontaktledningsanlegget har høy driftspenning og omgir seg dermed av et kraftig elektrisk felt. Dette elektriske feltet vil påvirke elektriske installasjoner i nærheten av jernbanelinjen. De fleste anlegg langs jernbanelinjer er imidlertid lokalisert nær bakken, og vil dermed ha begrenset kobling fra det elektriske feltet.

Kontaktledningsanlegget benytter delvis skinnegangen som returforbindelse. Skinnegangen har avledning til jord, og vil dermed påvirke jordpotensialet i områder nær jernbanelinjen.

Avledning av returstrøm fra skinnegangen betyr at deler av kjørestråmen vil returnere til omformerstasjonen via jordsmonnet. Dette kan føre til returstrømmer i parallellførte ledende gjenstander i bakken.

Elektrisk utstyr plassert innenfor slyngfeltet beskyttelsesjordes til skinnegangen. Denne type utstyr vil påvirkes av endringer i potensialet i skinnegangen.

Internt i omformerstasjon og i lokomotiv genereres harmoniske til 16 2/3 Hz og høyfrekvente transienter som følge av koblinger og styringer i systemene. Videre vil fraslagn av strømvtagere fra kontaktledning føre til høyfrekvente pulser. Kontaktledningen vil fungere som antenne for høye frekvenser, og omliggende utstyr/kabler vil påvirkes av elektromagnetiske og magnetiske høyfrekvente felt. Parallelt med jernbanelinjen ligger kommunikasjonskabler for tele-/data-/signal-samband. Disse opererer med lave effektnivåer og er normalt følsomme overfor støy.

Kabler er gode antenner for både utsendelse og mottakelse av støy. Dette fører til at systemer ofte påvirker hverandre via kabling mellom enheter i systemet.

Langs jernbanelinjen er det en rekke systemer som kraftforsynes via ulike sterkstrømskabler. Sterkstrømskabler vil omgi seg med elektriske og magnetiske felt som kan påvirke nærførte kommunikasjonskabler.

Utstyr påvirker hverandre via strålt og ledningsbundet støy. De fleste typer elektrisk utstyr har en viss utstråling av elektromagnetisk energi. Videre vil enheter som kobles sammen i system kunne påvirke hverandre ved at signalet/kraftforsyningen som oversendes inneholder uønskede strømmer/spenninger som påvirker mottaker.

VEDLEGG 2.2 OVERSIKT OVER EUROPEISKE EMC-NORMER

1 GENERELT

Dette vedlegget gir en oversikt over EMC-normer utarbeidet av CENELEC i forbindelse med EU's EMC-direktiv.

Vedlegget er utarbeidet på bakgrunn av oversikt over inndeling av EMC-normer utarbeidet av Nils Arild Ringheim ved EFI i SINTEF-prosjektet "Retningslinjer for EMC-tiltak".
Det påpekes at det stadig er endringer i endel standarder, og at stadig nye kommer til.

2 NORGES FORHOLD TIL EU's EMC-DIREKTIV

I forbindelse med innføring av EU's indre marked er det utarbeidet et eget direktiv innen EMC (EMC direktiv 89/336 EEC). Direktivet inneholder juridiske retningslinjer for EMC.

Formålet med EMC-direktivet er:

- * Kontroll av elektromagnetisk "miljøforurensing"
- * Åpne for fri handel mellom medlemslandene, ved bruk av samme spesifikasjoner.

Kort oppsummert inneholder EMC-direktivet følgende:

- * Nesten alle elektroniske og elektriske artikler som blir solgt eller produsert innen EU må:
 - konstrueres slik at det ikke forårsaker elektromagnetisk forstyrrelser og ikke påvirkes av elektromagnetiske forstyrrelser.
 - godkjennes av sertifisert organisasjon, eller at produsent/leverandør må kunne påvise at produktet overholder gjeldende krav.
 - være merket med CE-etikett
- * Teknisk dokumentasjon fra produsent må være tilgjengelig innen EU.
- * De som ikke overholder direktivets krav, må trekke de aktuelle produktene tilbake fra markedet. Alle som ønsker kan teste de produktene som selges innen EU.

Direktivet skulle opprinnelig gjelde fra 01.01.92. Imidlertid var ikke de tekniske spesifikasjoner og normer som direktivet henviser til ferdig utformet, og dessuten ønsker produsentene noe tid til tilpasning til de nye normene. Dette har ført til en forskyvning av innføringen av direktivet. Det er bestemt en overgangsperiode fra 01.01.92. til 01.01.96. der produsenten kan velge om han vil forholde seg til EMC-direktivet eller de gjeldende nasjonale retningslinjer/normer. Etter 01.01.96. er det imidlertid EMC-direktivet som gjelder.

Arbeidet med spesifisering av standardene direktivet henviser til, er satt bort til den europeiske standardiserings-organisasjonen CENELEC. CENELEC består av de 18 medlemslandene i EU og EFTA. Som medlem av CENELEC innfører Norge alle normer utarbeidet/bestemt i CENELEC som norske normer

fortløpende, etterhvert som EN-normene publiseres.

Inntil videre er det i Norge gitt fritak fra følgende norske normer (fram til 01.01.96):

NEK -EN 55020
NEK-EN 60555 -2 og -3
NEK-EN 50081-1
NEK-EN 50082-1

Utover disse unntakene er EMC-direktivet og norske forskrifter identiske. Videre vil EMC-direktivet gjelde som et alternativ til norske forskrifter i og med EØS-avtalen.

3 INNDELING AV NORMER

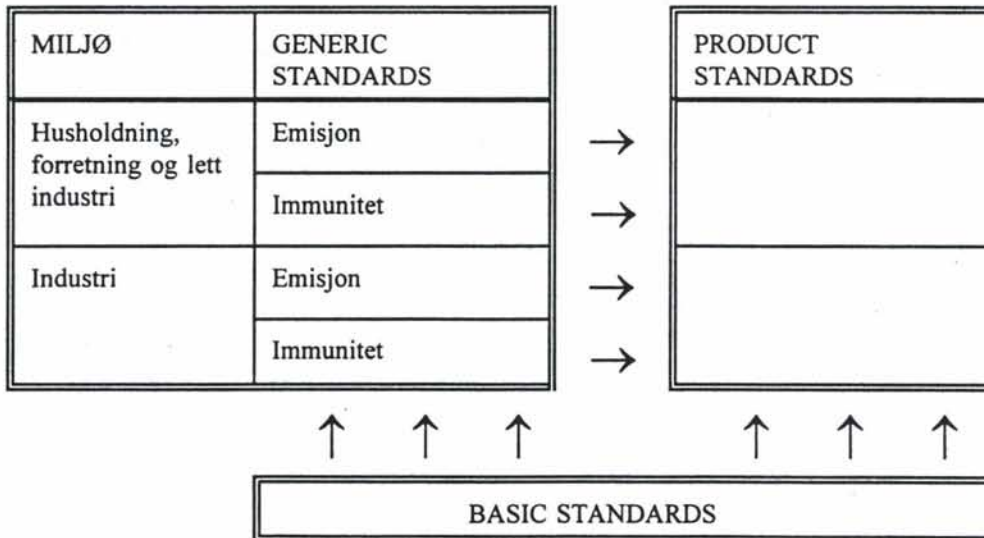
CENELEC deler inn EMC-normene i følgende typer:

Basic EMC standard: Referansestandard som benyttes for alle produkter og systemer. Basis standarder gir generell informasjon om fenomenet som forårsaker forstyrrelser og detaljert beskrivelse av måle- og testprosedyrer.

Generic EMC standard: Generell standard som beskriver normer for produkter i spesielle omgivelser/miljø. Standardene definerer presise krav/grenser og henviser til de testprosedyrene (basic standards) som skal benyttes. Generelle standarder benyttes når produktet ikke faller inn under standarder for spesielle produkter eller produktklasser.

Product EMC standard: Produktstandarder definerer krav/grenser og henviser til testprosedyrer (basic standards) for spesielle produktklasser. Dersom et produkt omfattes av både generell standard og produktstandard, skal produktstandard være gjeldende.

Figur gir en grafisk framstilling av forholdet mellom standard-typene.



4 MILJØKLASSER

CENELEC relaterer grenseverdier til spesifiserte elektromagnetiske miljø der det aktuelle produktet skal operere. Det er foreløpig definert to elektromagnetiske miljøklasser:

Husholdning, forretning og lett industri:

Dette er definert som referansemiljøet. Miljøet omfatter innendørs og utendørs miljø som f.eks. hus, kontorlokaler, utendørs oppholdssteder som bensinstasjon, og lette industriområder som verksted og laboratorier. Områder som forsynes direkte fra offentlig lavspenningnett betraktes å tilhøre dette miljøet.

Industri:

Industriområder er ofte tilkoblet kraftforsyningsnett med egne transformatorer og karakteriseres ved en eller flere av følgende forhold:

- industrielt utstyr er tilstede
- store strømmer og kapasitive laster blir koblet ofte
- strømmer og tilhørende magnetfelt er store

Jernbanevirksomhet vil være et typisk industrielt miljø. Alt utstyr som omfattes i strategidokumentet for jording og skjerming av elektroanlegg ved NSB, skal betraktes som utstyr i industrielt miljø.

Imidlertid går jernbanetraseer ofte i tettbebygde strøk. Her blir konflikt mellom emisjonskravene til jernbanedriften og immunitetskrav til utstyr i hus nær jernbanetraseen. UIC vurderer i den forbindelse å definere et eget jernbane-miljø. Dette er foreløpig ikke klarlagt.

Strategidokumentet påpeker at nye anlegg må sikre tilstrekkelig avstand mellom ulike miljøer, eventuelt foreta skjermingstiltak, slik at kravene kan opprettholdes i begge miljøer.

5 SYSTEMATISERT OVERSIKT OVER NORMENE.

Det vil i dette kapitlet gis en systematisert oversikt over standardene, for bedre å belyse forhold mellom standarder og innholdet. Videre gis en oversikt over endel aktuelle standarder, organisert etter standard-type.

Matriseinndelingene i dette underkapittelet er ikke fullstendige, og er ment som et hjelpeverktøy for å skape bedre oversikt over normene.

Tabell 1 gir en systematisert oversikt over generic standards, NEK-EN 50 081 og NEK-EN 50 082, med de henvisninger som er gitt til basic standards for ulike støyfenomener. Skrift i kursiv antyder at fenomenet er planlagt tatt inn i generic standards når tilhørende basic standard er endelig godkjent.

Fenomenene angitt i kursiv i tabell 1 viser normer under utarbeidelse. Informasjonen er hentet fra vedlegg i generic standards, men er ingen komplett liste.

TABELL 1

FENOMEN		MILJØ	Husholdning, forretning, og lett industri	Industri
Emisjon	Ledningsbundet lavfrekvent	Harmoniske strømmer	NEK-EN 60555-2	NEK-EN 60555-2 ¹⁾
		Spenningsvariasjoner	NEK-EN 60555-3	NEK-EN 60555-3 ¹⁾
		Signalering ²⁾	NEK-EN 50065-1 ²⁾	³⁾
	Strålt lavfrekvent	³⁾	³⁾	³⁾
	Ledningsbundet høyfrekvent	Radiofrekvent støy	NEK-EN 55014 NEK-EN 55022	NEK-EN 55011
	Strålt høyfrekvent	Radiofrekvent støy	NEK-EN 55022	NEK-EN 55011
Immunitet	Ledningsbundet lavfrekvent	<i>Spenningsdip, - avbrudd og variasjoner</i>	<i>prEN 50093</i> ^{4) 5)}	<i>prEN 50093</i> ^{4) 5)}
		<i>Harmoniske</i>	³⁾	<i>Utkast</i>
	Strålt lavfrekvent	<i>Nettfrekvente magnetfelt</i>	<i>IEC 1000-4-8</i>	<i>IEC 1000-4-8</i>
	Ledningsbundet høyfrekvent	Raske, repeterende transienter	IEC 801-4 ⁶⁾	IEC 801-4 ⁶⁾
		<i>Støtspenning (Surge)</i>	<i>IEC 801-5 / ENV 50142</i> ^{6) 7) 8)}	<i>IEC 801-5 / ENV 50142</i> ^{6) 7) 8)}
		<i>Radiofrekvent støy</i>	<i>IEC 801-6 / ENV 50141</i> ^{6) 7)}	<i>IEC 801-6 / ENV 50141</i> ^{6) 7)}
	Strålt høyfrekvent	Elektrostatisk utladning (ESD)	NEK-HD 481.2 / IEC 801-2 ⁶⁾	NEK-HD 481.2 / IEC 801-2 ⁶⁾
		Elektromagnetiske felt (Umodulert, <i>amplitudemodulert og pulsmodulert</i>)	NEK-HD 481.3 / IEC 801-3 / <i>ENV 50140</i> ^{6) 7)} <i>Utkast</i>	NEK-HD 481.3 / IEC 801-3 / <i>ENV 50140</i> ^{6) 7)} <i>Utkast</i>

- 1) Grensene er foreløpig ikke fastsatt i generic standard, under overveielse
- 2) Fenomenet er ikke beskrevet i generic standard, men er gjeldende i norsk norm.
- 3) Ingen norm planlagt idag.
- 4) pr = provisional = provisorisk, foreløpig.
- 5) Vil seinere omdøpes til IEC 1000-4-X, se forøvrig fotnote 6.
- 6) IEC 801-X serien skal omdøpes til IEC 1000-4-X, med tilhørende europnorm EN 61000-4-X.
- 7) ENV 50140, -41, og -42 er foreløpige overgangsstandarder til EN 61000-4-X for hhv. IEC 801-3, -6 og -5.
- 8) ENV 50142 ble nedstemt av CENELEC TC 110 i mai -93.

Tabell 2 viser product standards som gjelder for ulike miljøer. Da det mangler mange standarder blir det mange åpne felt. Skrift i kursiv antyder normer som er under utarbeidelse.

TABELL 2

PRODUKTKLAS SER	MILJØKLASSER			
	Husholdning, forretning, og lett industri		Industri	
	Emisjon	Immunitet	Emisjon	Immunitet
Generic standard	NEK-EN 50081-1	NEK-EN 50082-1	<i>prEN 50081-2</i>	<i>prEN 50082-2</i>
Industrielt, vitenskapelig og medisinsk (ISM) utstyr	NEK-EN 55011		NEK-EN 55011	
Radio- og TV-mottakere	NEK-EN 55013	NEK-EN 55020		
Husholdningsapparat, bærbart verktøy og tilsvarende elektriske apparat	NEK-EN 55014 NEK-EN 60555	<i>prEN 55014-2</i>		
Lysstoffrør, lysarmatur o.l.	NEK-EN 55015			
Informasjonsteknologi utstyr (ITE)	NEK-EN 55022	<i>prEN 55024</i>		
Teleterminalutstyr (ISDN)	<i>prENV 51502-1</i>	<i>ENV 51502-2</i>		

STANDARDTYPER

Det vil videre gis en presentasjon av hvilke normer som tilhører hvilke standard-typer.

Noen standarder nevnes under flere typebetegnelser. Dette skyldes normalt at eldre produktstandarder inneholder beskrivelse av test- og måleprosedyrer, og kommer dermed både under betegnelsen basic standard og product standard.

Normer skrevet i kursiv er under utarbeidelse eller under avstemming.

Basic standards

CISPR 16 CISPR specification for radio interference measuring apparatus and measuring methods.

NEK-HD 481 Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment
-1 Part 1: General introduction
-2 Part 2: Electrostatic discharge requirements
-3 Part3: Radiated electromagnetic field requirement

*(NEK-HD 481-1, -2 og -3 er identisk med IEC 801-1, -2 og -3. IEC 801-X serien skal omdøpes til IEC 1000-4-X, og tilhørende europanorm blir EN 61000-4-X.
Normen er egentlig en produkt(familie)standard)*

IEC 801 Electromagnetic compatibility for industrial-process measurement and control equipment
-1 Part 1: General introduction
-2 Part 2: Electrostatic discharge requirements
-3 Part3: Radiated electromagnetic field requirement
-4 Part 4: Electrical fast transient/burst requirements
-5 *Part 5: Surge immunity requirements*
-6 *Part 6: Immunity to conducted radio frequency disturbances above 9 kHz*
-7 *Part 7: Installation conditions*

(NEK-HD 481-1, -2 og -3 er identisk med IEC 801-1, -2 og -3. IEC 801-X serien skal omdøpes til IEC 1000-4-X, og tilhørende europanorm blir EN 61000-4-X.

IEC 1000	Electromagnetic compatibility (EMC)	
-4	Part 4: Testing and measurement techniques	
-1	Section 1:	Overview of immunity tests. Basic EMC publication.
-2	Section 2:	<i>Electrostatic discharge requirements</i>
-3	Section 3:	<i>Radiated electromagnetic field requirement</i>
-4	Section 4:	<i>Electrical fast transient/burst requirements</i>
-5	Section 5:	<i>Surge immunity requirements</i>
-6	Section 6:	<i>Immunity to conducted radio frequency disturbances above 9 kHz</i>
-7	Section 7:	General guide on harmonics and interharmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto.
-8	Section 8:	Power frequency magnetic fields
-9	Section 9:	Pulsed magnetic fields
-10	Section 10:	Damped oscillatory magnetic fields
-11	Section 11:	<i>Voltage dips, short interruptions and voltage variation - immunity tests</i>

(NEK-HD 481-1, -2 og -3 er identisk med IEC 801-1, -2 og -3. IEC 801-X serien skal omdøpes til IEC 1000-4-X, og tilhørende europainorm blir EN 61000-4-X.)

NEK-EN 60555	Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment	
-1	Part 1:	Definitions
-2	Part 2:	Harmonics
-3	Part 3:	Voltage fluctuations

(Normen er egentlig en produkt(familie)standard)

NEK-EN 55011 Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of industrial scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment.

NEK-EN 55014 Limits and methods of measurement of radio interference of household electrical appliances, portable tools and similar electrical apparatus.

NEK-EN 55022 Limits and methods of measurement of radio interference characteristics of information technology equipment.

Generic standards

- NEK-EN 50081 Electromagnetic compatibility - Generic emission standard
- 1 Part 1: Residential, commercial and light industry
 - 2 Part 2: Industrial environment (*Final Draft - denne deler er foreløpig ikke godkjent.*)

- NEK-EN 50082 Electromagnetic compatibility - Generic immunity standard
- 1 Part 1: Residential, commercial and light industry
 - 2 Part 2: Industrial environment (*Final Draft - denne deler er foreløpig ikke godkjent.*)

Product standards

Industrielt, vitenskapelig og medisinsk (ISM) utstyr:

- NEK-EN 55011 Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of industrial scientific and medical (ISM) radio-frequency equipment.

Radio- og TV-mottakere:

- NEK-EN 55013 Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of broadcast receivers and associated equipment.

- NEK-EN 55020 Immunity from radio interference of broadcast receivers and associated equipment.

Husholdningsapparater, bærbart verktøy og tilsvarende elektriske apparat:

- NEK-EN 55014 Limits and methods of measurement of radio interference of hoshold elektrical appliances, portable tools and similar electrical apparatus.

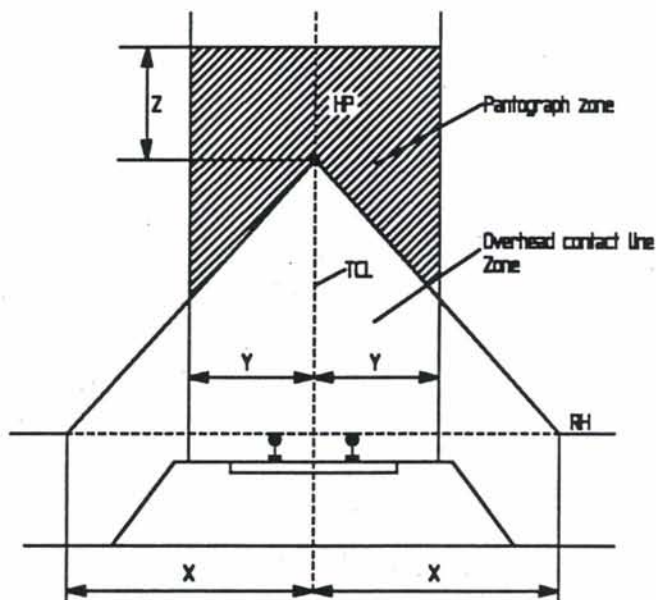
- NEK-EN 60555 Disturbances in supply systems caused by household appliances and similar electrical equipment
- 1 Part 1: Definitions
 - 2 Part 2: Harmonics
 - 3 Part 3: Voltage fluctuations

VEDLEGG TIL KAPITTEL 3

VEDLEGG 3.1 DEFINISJON AV KONTAKTLEDNINGENS SLYNGFELT

Kontaktledningens slyngfelt er den sonen som i teorien begrenser mulig område som kan bli berørt ved brudd i eller nedfall av kontaktledningen. Slyngfeltet er satt sammen av kontaktledningsone og strømvaktersoner.

Slyngfeltet er skissert i prEN 50122 - 1 og gjengitt i figuren nedenfor. Avstandene x , y og z må bestemmes. Strekninger med krappe kurver krever høyere verdi på x enn rettlinjede strekninger.



- RH: Rail Head (skinneoverkant)
- TCL: Track Centre Conduct Line (spormidt)
- HP: Highest Overhead Contact Line Conductor (høyeste leder i kontaktledningsanlegget)

Figur 3.1-1: Slyngfeltet definert av CENELEC

VEDLEGG 3.2 TEORI OM SUGETRANSFORMATOREN

Sugetransformatoren har to viktige formål:

- * redusere returstrømmens andel i jord
- * "redusere" spenningsfallet i returkretsen

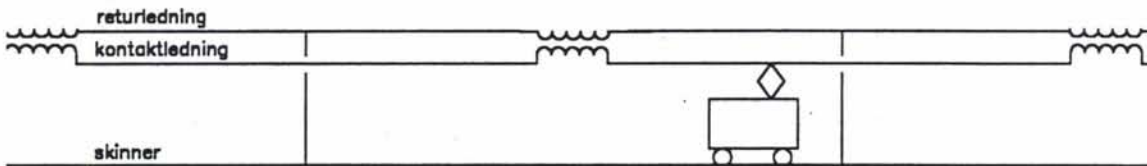
Dette vedlegget skal gi en forståelse av hvordan en oppnår dette. Beskrivelsen er inndelt slik:

- * beskrivelse av oppkobling
- * forklaring av virkemåte, ved hjelp av ekvivalentskjema
- * forklare hvordan spenningsfallet på sekundærsiden bidrar til potensialutjevning i returkretsen.

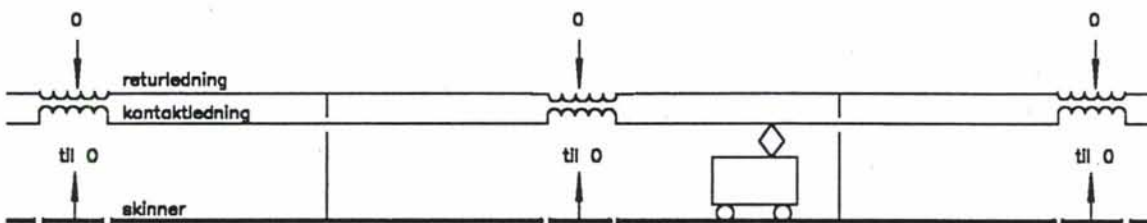
1 OPPKOBLING

Sugetransformatoren er koblet slik at det virker som en strømtransformator, dvs lav spenning over viklingene ved merkestrøm og omsetning relatert til forholdet mellom primærstrøm og sekundærstrøm. Omsetningsforholdet er ideelt sett lik 1:1.

Sugetransformatorens primærvikling er koblet i serie med kontaktledningen. Sekundærviklingen er koblet i serie med returledningen. Lokomotivet kobler sammen primær- og sekundærsiden på en slik måte at laststrømmen går igjennom begge viklingene. Se figurene 1 og 2 nedenfor.



Figur 1: Oppkobling av sugetransformatoren i anlegg med returledning(uten 0-felt)



Figur 2: Oppkobling av sugetransformatoren i anlegg med returledning og 0-felt

For sammenlikning viser figurene oppkobling for tilfellet med og uten 0-felt. Hovedargumentet for bruk av nullskinnne er krav til skinnebruddsdeteksjon. Imidlertid konkluderer vedlegg 4.2 med at også oppkoblingen som vist i figur 1 (uten 0-felt) gir tilfredsstillende funksjon med hensyn til skinnebruddsdeteksjon.

En annen betenkelighet ved å fjerne 0-feltet (i tillegg til skinnebruddsdeteksjon) er om en vil få sløyfestrømmer i en krets mellom nedføringene, der skinnene og returledningene representerer impedanser, og sugetransformatorens sekundærvikling representerer den drivende spenning. I så fall vil transformatoren "suge" en selvgenerert strøm, og banestrømmen må finne en alternativ trasé - dvs gjennom jord. Antar vi minimal avledning til jord på grunn av "flesk" og ren pukk synes dette problemet å være ubetydelig. Det anbefales imidlertid å bygge en prøvestrekning med returledning og uten 0-felt, for å ta målinger og samle driftserfaringer.

Systemet uten 0-felt er derfor å foretrekke, siden dette gir redusert behov for isolasjonsjikt og filterimpedanser, og dermed færre feilkilder i returkretsen. I tillegg vil fjerning av isolasjonsjikt gi lav impedans i skinnene og magnetiseringstrømmen vil gå i skinnene (oppnår reduksjon av jordstrømmene).

Ved belastet strekning fordeler spenningsfallet i sporet seg fra belastning til nedføringene, og en unngår skadelige spenninger som kan oppstå over et isolasjonsjikt ved store strømmer .

Når et tog passerer en sugetransformator vil strømvakteren kortslutte primærviklingen og togakslingene kortslutter sekundærviklingen. På grunn av togets lengde varer den sekundære kortslutningen lenger enn den primære. For å begrense varigheten, bør en unngå å installere sugetransformatorene på steder der en kan forvente togstopp.

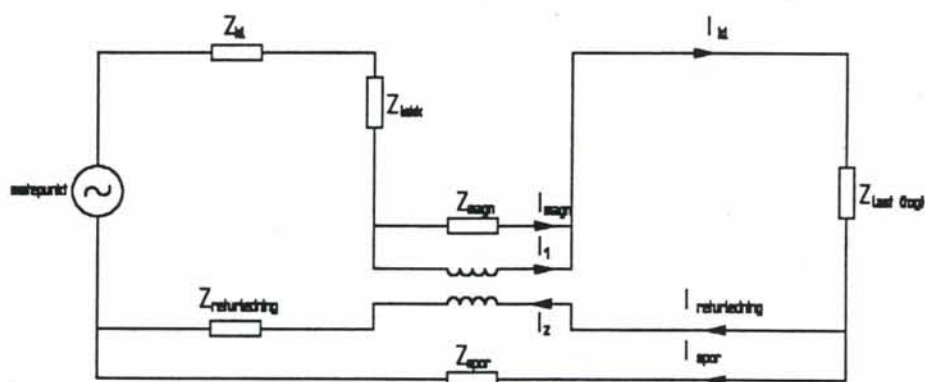
2 VIRKEMÅTE

Sugetransformatorens primærstrøm (kontaktledningstrømmen) setter opp fluks i primærviklingen. Sekundærviklingen omslutter mesteparten av fluksen og vil derfor generere en spenning som driver sekundærstrømmen I_2 . For en strømtransformator er belastningen på sekundærsiden bestemmende for størrelsen på den genererte spenningen. I_2 setter opp motfluks som kompenserer for påvirkningen fra primærfluksen. Med omsetningsforhold 1:1 vil sekundærviklingen behøve like stor strøm som I_1 for å oppnå full kompensasjon. Slik vil sekundærviklingen "suge" til seg returstrøm, både skinnestrøm og jordstrøm.

I realiteten er sugetransformatoren ikke ideell. Den kan representeres ved hjelp av komponenter som illustrerer følgende forhold:

- * **lekkfluks:** Sekundærviklingen omslutter ikke den totale fluksen som primærstrømmen setter opp.
- * **tap:** Pga resistiviteten i viklingene vil primær og sekundærstrømmen medføre ohmsk spenningsfall over viklingene.
- * **magnetisering:** Magnetiseringstrømmen driver transformatorens resulterende fluks i jernet, det vil si et gjenblivende felt som sekundærviklingen ikke kan kompensere.

I figur 3 er disse forhold representert ved komponenter som er kjent fra transformator-teorien: Z_{lekk} representerer lekkfluks og ohmske tap for både primær og sekundærsiden, referert til primærsiden. Z_{magn} representerer magnetiseringen. Fysisk kan magnetiseringsfenomenet forstås slik: Den nevnte genererte spenningen på sekundærsiden som driver I_2 gir også mulig strømtasé forbi viklingen. (aktuell trasé forbi viklingen er i jord for systemer med 0-felt, og i både skinner og jord for systemer uten 0-felt). Impedansforholdene i sporet og overgangsmotstanden til jord er avgjørende for størrelsen på denne. I_{spor} kan representeres på primærsiden ved I_{magn} som vist i figuren (hvis vi ser bort i fra strømsløyfer i jord, generert av sekundærspenningen, som ikke returnerer til matepunktet)



$$\begin{aligned}
 I_M &= I_{\text{returledning}} + I_{\text{spor}} \\
 I_1 &= I_2 \Rightarrow I_{\text{magn}} = I_{\text{spor}} \\
 I_M &= I_1 + I_{\text{magn}} = I_{\text{returledning}} + I_{\text{spor}}
 \end{aligned}$$

Figur 3: Skjematisk fremstilling av sugetransformator i kontaktledningsanlegg

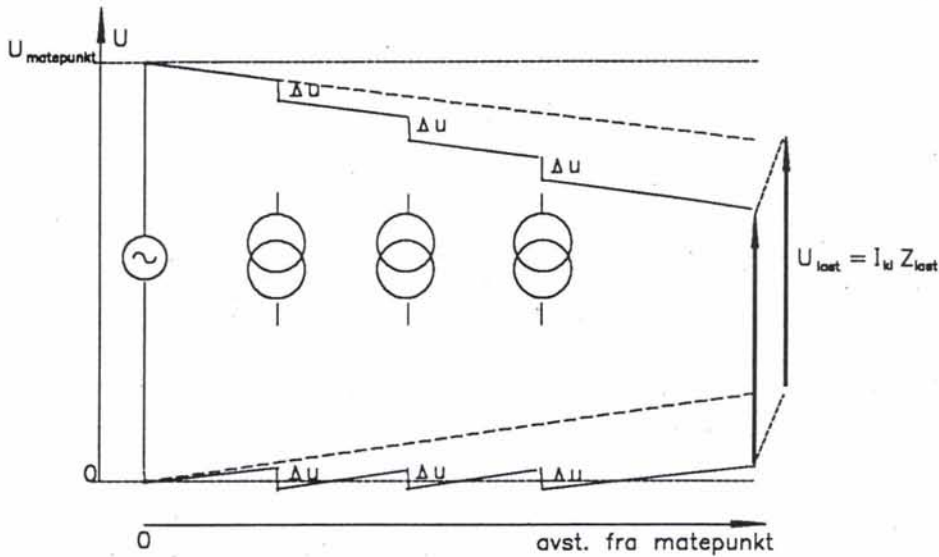
Magnetiseringen er avhengig av sugetransformatorens ytre belastning. For systemet med returledning er potensialet i sporet ved nedføringene ideelt sett lik null (antar like transformatorer på hele strekningne og lik avstand mellom disse) Det vil si at ytre belastning for sugetransformatoren omtrent tilsvarer impedansen i returledningen mellom nedføringene. Denne impedansen er den samme med eller uten 0-felt. Et slikt resonnement taler for at sugetransformatorens sekundærvikling "suger" banestrøm, og ikke selvgenererte sløfestrømmer.

I figur 3.2 - 3 er dessuten kontaktledningen og returkretsen mellom matepunkt og belastning representert henholdsvis ved Z_{kl} og $Z_{returledning}$. Representasjonen her er en liten tilsnikelse; I virkeligheten vil Z_{kl} og $Z_{returledning}$ fordele seg langs hele strekningen og på begge sider av sugetransformatoren. Z_{spor} tilsvarer impedansen i sporet (skinner og jord) mellom nedføringene.

3 POTENSIALUTJEVNING I RETURKRETSEN

På grunn av impedansen i returkretsen, oppstår spenningsfall mellom belastning og matepunkt. Et slikt spenningsfall er uheldig, pga at skinnene, i tillegg til å være returforbindelse for belastningsstrømmen, også skal fungere som beskyttelsesjord for alle ledende anleggsdeler nær sporet. Spenningsforskjell mellom skinner og jord representerer berøringsfare, både ved direkte berøring av skinnene, og ved berøring av materiell som er jordet til skinnene.

Sugetransformatoren er viklet slik at spenningsfallet på sekundærsiden virker med motsatt fortegn i forhold til spenningsfallet i returkretsen forøvrig. For å illustrere hvordan dette foregår, anta en belastnings situasjon som medfører en gitt kontaktledningstrøm I_{kl} og et gitt belastnings spenningsfall $I_{kl} \cdot Z_{last}$. Figur 4 viser spenningsdiagram for et kontaktledningsanlegg med tre sugetransformatorer mellom belastning og matepunkt. For enkelthets skyld antas ensidig mating til belastningen.



Figur 4: Spenningsdiagram for anlegg med (heltrukket kurve) og uten (stiplet kurve) sugetransformator

De stiplede linjene viser spenningsfallet langs kontaktledning og returkrets uten sugetransformator. De heltrukne linjene viser tilsvarende med sugetransformator. På grunn av lekkreaktans Z_{lekk} og magnetiseringsreaktans Z_{magn} bidrar sugetransformatorene med ytterligere spenningsfall ΔU langs kontaktledningen:

$$\Delta U = I_{kl} Z_{lekk} + I_{magn} Z_{magn} \quad (4.2 - 1)$$

ΔU består i hovedsak består av $I_{magn} Z_{magn}$, siden $I_{magn} Z_{magn} \gg I_{lekk} Z_{lekk}$. Ser vi dessuten bort fra sløfestrømmer på sekundærsiden får vi at spenningsfallet på sekundærsiden er lik ΔU .

Som en konsekvens av ΔU ser vi at spenningsfallet over belastningen forskyves nedover i spenningsdiagrammet. Dvs at potensialet i returkretsen ved belastningen havner omtrent på samme nivå som jordpotensialet ved matepunktet. Vi har altså at ΔU virker i motsatt retning av spenningsfallet i returkretsen forøvrig.

VEDLEGG 3.3 TEORI OM FILTERIMPEDANSER

1 ANVENDELSE

Filterimpedanser, også kalt impedansespole, brukes på strekninger som har returstrøm i begge skinnene i forbindelse med:

- * *isolerte skinneskjøter* som skal sperre for sporfeltstrøm
- * *tilkobling av anleggsdeler* for eksempel sugetransformatorer eller jordnet materiell
- * *nedføringer* fra returledning til sporet

Ved skinneskjøter i enden av sporfelter "siler" filterimpedansene returstrømmen forbi skinneskjøtene slik at kun sporfeltstrømmen går til sporfelt-transformatorene.

Ved tilkobling av sugetransformatorer samler filterimpedansen returstrømmen til sekundærviklingen. Dersom anleggsdeler er beskyttelsesjordet til skinnene via filterimpedanser, blir eventuelle feilstømmer fordelt på begge skinnene.

Ved nedføringer samler filterimpedansene returstrømmen fra skinnene og leder den opp i returledningen.

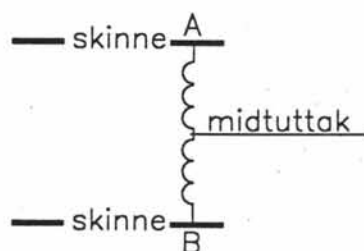
2 VIRKEMÅTE

Prinsippet for filterimpedansen er at all strøm som er likt fordelt på skinnene møter lav impedans. Strøm som er ulikt fordelt møter høy impedans.

Filterimpedansene har tre tilkoblingspunkter: Punkt A og B er koblet til hver sin skinne. Midtpunktet er koblet til midtpunktet på filterimpedansen på motsatt side av skinneskjøten, eller til en av de ovenfor nevnte anleggsdeler. Se figur 1.

Filterimpedansene består av spoler med jernkjerne og kan sammenliknes med en transformator. Med hensyn på returstrøm er filterimpedansens oppførsel analog med en transformator i kortslutning: Korsluttet transformator gir lav impedans og lav primærspenning ved høy sekundærstrøm. Med hensyn på sporfeltstrøm kan vi betrakte tomgangs analogien: Transformator i tomgang gir høy impedans og nominell sekundærspenning ved lav primærstrøm (magnetiseringstrøm).

All returstrøm er ideelt sett likt fordelt på skinnene og vil gi samme potensial på punkt A og B. Slik vil returstrømmen sette opp to felt som virker i motsatt retning og dermed oppveier hverandre slik at resulterende impedans blir lav. Påtrykt spenning på skinnene driver sporfeltstrømmen og størsteparten av sporfeltstrømmen går til sporfelt-transformatoren. Den resterende sporfeltstrømmen går til filterimpedansen og setter opp et felt som gir høy impedans (jfr. magnetiseringstrøm for transformatorer).



Figur 1:
Filterimpedans

VEDLEGG TIL KAPITTEL 4

VEDLEGG 4.1 DRIFTSFORHOLD FOR SPORFELTER

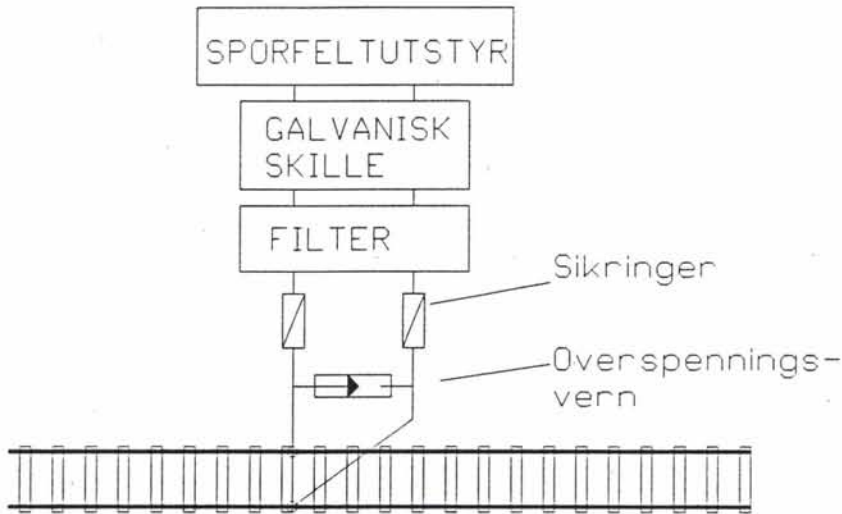
Dette vedlegget beskriver hvilke tiltak man kan gjøre for å bedre driftsforholdene for sporfelter.

Skinnegangen

For å få best mulig driftsforhold for sporfeltene bør ballasten byttes så ofte som mulig, og man må bruke sviller med lav konduktivitet. Det må brukes et isolerende belegg mellom skinnelegeme og svilla. Forøvrig bør all isolasjon mellom skinnene og i skinnegangen med jevne mellomrom inspiseres.

Beskyttelse mot forstyrrelser fra returstrømmen

Ved tilknytning til sporet anbefales det bruk av et filter for å redusere ledet støy fra sporet. I tillegg bør man ha sikringer som er dimensjonert i forhold til maksimal belastningsstrøm, og overspenningsvern som ligger mellom isolasjonsnivået og driftsspenningen., se figur 1.



Figur 1 Vern ved tilkoblinger til sporet

Isolasjonsholdfastheten til det galvaniske skille må være dimensjonert i forhold til isolasjonsnivået i returkretsen. Man må gjøre en vurdering på nødvendigheten av et overspenningsvern da en transformator i det galvaniske skille vil fungere som et overspenningsvern.

Potensialforskjell mellom skinnestrengene

Ledet støy må ikke overstige følgende spenningsnivå som funksjon av frekvens:

Frekvens	Maksimal sp. nivå	Årsak	Mulig konsekvens
0 Hz	1V	DC komponent fra returstrømmen	Likestrømmssporfelter kan gi falsk fritt sporfelt.
16 ² / ₃ Hz	40V	Grunnharmonisk fra returstrømmen	Metning i tilførsel og returtransformator for 95/105 Hz sporfelter.
90-110 Hz	1,0V	Overharmonisk fra returstrømmen	95/105 Hz sporfelter kan gi falsk fritt sporfelt
1,5 -18 kHz	0,1V	Overharmonisk fra returstrømmen	"Skjøteløse sporfelter" kan gi falsk fritt sporfelt
9-11 kHz	0,1V	Overharmonisk fra returstrømmen	Driftsfeil for sporfelter i forbindelse med planoverganger
45-55kHz	0,1V	Overharmonisk fra returstrømmen	Driftsfeil for sporfelter i forbindelse med planoverganger

Returledning

Ved bruk av returleder vil amplituden på den ledede støyen i skinnegangen reduseres. I tillegg vil det elektromagnetiske feltet fra KL-anlegget reduseres. Dette vil gi gunstigere forhold for sporfeltene.

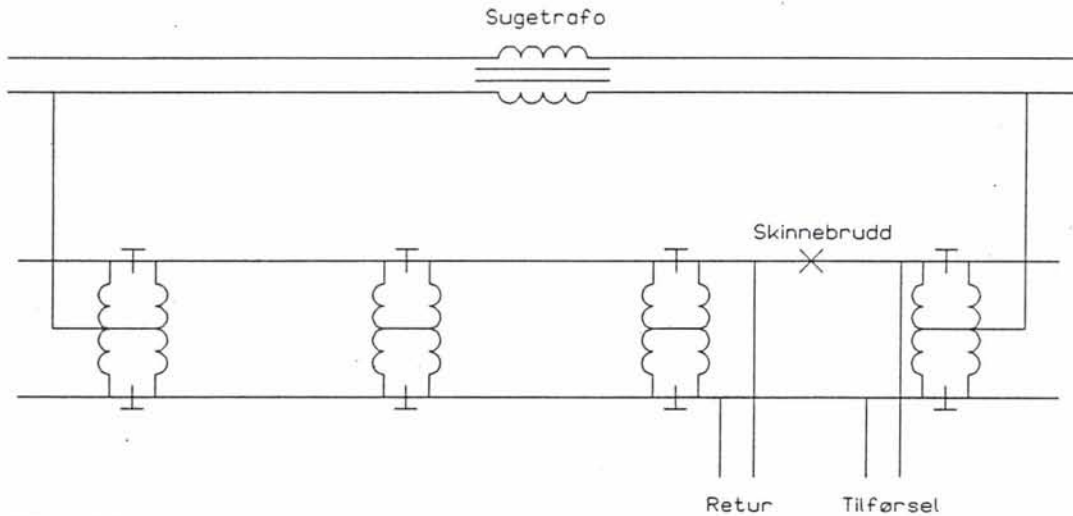
Sugetransformator

Sugetransformatoren vil i sin funksjon redusere skjeivspenninger i sporet. I forbindelse med sugetransformatoren er det et "0-felt". På strekninger med returledning burde det være mulig å kutte ut 0-feltet i forbindelse med sugetransformatoren. En beregning på nødvendigheten av dette feltet er gjort i "vedlegg for 0-felt i forbindelse med sugetransformator".

VEDLEGG 4.2 "0-FELT" I FORBINDELSE MED SUGETRANSFORMATOR

1 INNLEDNING

Dersom det ikke brukes "0-felt" i forbindelse med sugetransformator på strekninger med returledning, er det fare for at et sporfelt kan mate gjennom returledningen ved skinnebrudd. Skinnebruddsdetekteringen vil da forsvinne.



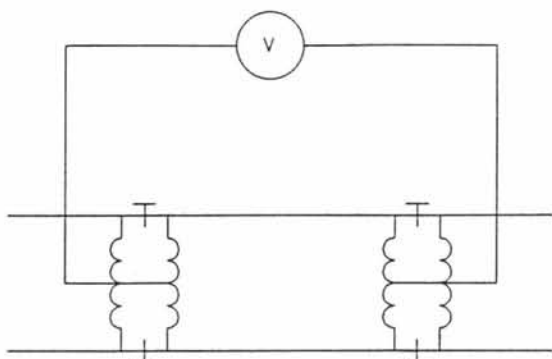
Figur 1.1 Prinsippkisse

For å nærmere belyse dette problemet er det forsøkt lagd en ekvivalent krets for denne situasjonen.

2 MODELL

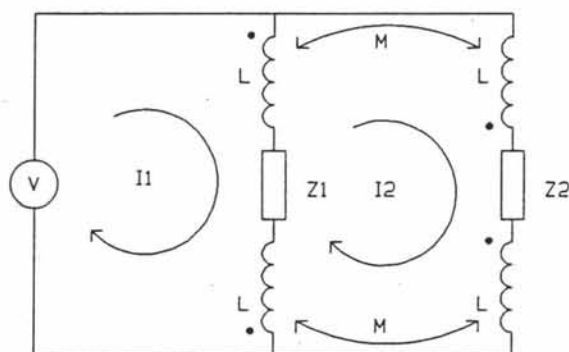
2.1 Impedansforbindelser

Ser først på et sporfelt mellom to impedansforbindelser.



Figur 2.1

Med følgende ekvivalent krets



Figur 2.2

- Z_1 - impedans i skinne 1
- Z_2 - impedans i skinne 2
- L : 1/2-induktans i impedanskopling
- M : gjensidig induktans

Likninger for strømsløyvene

$$\begin{aligned} V &= sL(i_1 - i_2) + Z_1(i_1 - i_2) + sL(i_1 - i_2) - sMi_2 - sMi_2 \\ 0 &= sLi_2 + Z_2i_2 + sLi_2 + sL(i_2 - i_1) + Z_1(i_2 - i_1) + sL(i_2 - i_1) + sMi_2 + sMi_2 + sM(i_2 - i_1) + sM(i_2 - i_1) \end{aligned} \quad (2.1)$$

Der $s = j\omega$ og $\omega = 2\pi f$, $f =$ sporfeltfrekvens (95 Hz). Videre antas $k = 1$ for impedansforbindelsen slik at:

$$M = k\sqrt{LL} = M = L \quad (2.2)$$

Dette gir

$$\begin{aligned} V &= (2sL + Z_1)i_1 - (4sL + Z_1)i_2 \\ 0 &= -(4sL + Z_1)i_1 + (8sL + Z_1 + Z_2)i_2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Forholdet mellom strømmene blir

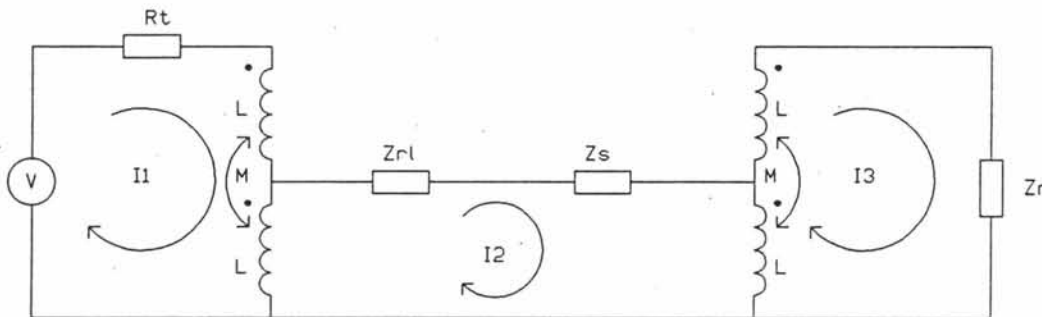
$$i_2 = \frac{4sL + Z_1}{8sL + Z_1 + Z_2} i_1 \quad (2.4)$$

Når $Z_1 \approx Z_2$ eller $sL \gg Z_1 + Z_2$ blir $i_2 \approx \frac{1}{2} i_1$, videre blir

$$V = (2sL + Z)i_1 - (4sL + Z)\frac{1}{2}i_1 = \frac{1}{2}Zi_1 \quad (2.5)$$

Dvs strømmen fordeler seg likt i sporene, og impedansen totalt blir en parallellkopling av skinneimpedansene. De foranliggende sporfeltene i figur 1.1 kan representeres med en impedans Z_s .

2.2 Totalkrets



Figur 2.3

- V : sporfeltspenningen
- R_t : motstand i tilførsel
- L : 1/2 induktans i impedanskopling
- M : gjensidig induktans
- Z_{rl} : returledning med sugetrafo sin impedans ved sporfeltfrekvensen
- Z_s : sporets impedans ved sporfeltfrekvensen
- Z_r : returkretsens impedans ved sporfeltfrekvensen

For de tre strømsløyvene kan følgende likninger settes opp:

$$\begin{aligned} V &= R_t i_1 + sL i_1 + sL(i_1 - i_2) + sM i_1 + sM(i_1 - i_2) \\ 0 &= sL(i_2 - i_1) + Z_{rl} i_2 + Z_s i_2 + sL(i_2 - i_3) - sM i_1 - sM i_3 \\ 0 &= sL i_3 + Z_r i_3 + sL(i_3 - i_2) + sM i_3 + sM(i_3 - i_2) \end{aligned} \quad (2.6)$$

(2.6) kan da vha (2.2) skrives som:

$$\begin{bmatrix} R_i + 4sL & -2sL & 0 \\ -2sL & 2sL + Z_{r_i} + Z_s & -2sL \\ 0 & -2sL & 4sL + Z_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Dette lineære likningssettet kan løses med forskjellige verdier på parameterene for å finne i_3 's avhengighet av disse (og dermed spenningen over returkreten $V_r = i_3 Z_r$).

3 Parametre

3.1 Tilførsel- og returkreten

Sporfelt type III gir følgende for tilførsel- og returkreten [vedlegg 1]:

Sporfeltspenningen	V	= 9 - 31 V
Motstand i tilførsel	R_i	= 4 Ω
Returkretsens impedans	Z_r	= 12 + j ω 8.38e-3 Ω

3.2 Sporet

Et spors langs impedans er i [1] beskrevet som

$$Z_s' = \frac{Z_i' + Z_y' + Z_m'}{2} \quad (3.1)$$

Z_i' : indre impedans [Ω /km]
 Z_y' : ytre impedans [Ω /km]
 Z_m' : gjensidig impedans [Ω /km]

Foreløpig er ikke alle nødvendige parametre for teoretisk utregning av langs impedansen tilgjengelig. I tidligere arbeid på sporfelt er følgende verdi brukt:

Sporets impedans $Z_s' = 0.38 + j\omega 1.59e-3 \Omega/\text{km}$

Dvs 2 km spor ved 95 Hz gir $Z_s = Z_s' \cdot 2 = 0.76 + j1.9 \Omega$

3.3 Returledning

Returledningen består av to 240 mm aluminiumsledninger. I tabellverk finnes dennes impedans ved 50 Hz til $0.12+j0.36 \Omega/\text{km}$. Dvs $0.06+j0.18 \Omega/\text{km}$ parallellkoplet.

$$\text{Returledningens impedans } Z_{rl}' = 0.06+j\omega 0.57e-3 \Omega/\text{km}$$

Tomgangsmålinger på sugetrafo gir [vedlegg 2]:

$$R_0 = \frac{P_0}{I_0^2} = \frac{13}{0.51^2} = 50 \Omega \quad (3.2)$$

$$X_0 = \frac{Q_0}{I_0^2} = \frac{P_0 \tan\left(\cos^{-1}\left(\frac{P_0}{I_0 \cdot U_0}\right)\right)}{I_0^2} = \frac{13 \tan\left(\cos^{-1}\left(\frac{13}{0.51 \cdot 50}\right)\right)}{0.51^2} = 84.3 \Omega \quad (3.3)$$

$$\text{Sugetrafoens impedans } Z_{rs} = 50+j\omega 805e-3 \Omega$$

$$\text{Med 3 km returledning: } Z_{rl} = Z_{rs} + Z_{rl}' \cdot 3 = 50.2+j\omega 806.71e-3 \Omega$$

Som man ser av tallene er returledningens impedans forsvinnende liten i forhold til sugetransformatoren.

3.4 Impedansforbindelsene

Reaktansen i en impedansspole er pga metning avhengig av strømmen gjennom spolen. Dvs likningssettet 2.6 er ikke korrekt i og med at spenningene over impedansforbindelsene ikke er like. For den ene impedansforbindelsen er induktansen L_1 , og for den andre L_2 hvor $L_1 \neq L_2$. Videre er $M_1 \neq M_2$. Avventer nærmere beskrivelse av impedansforbindelsene og bruker foreløpig:

$$\begin{array}{ll} 1/2 \text{ induktans i impedanskopling} & L = 13 \text{ mH} \\ \text{Gjensidig induktans} & M = 13 \text{ mH} \end{array}$$

4 Løsning av likningssett

Løsning av 2.7 med parametre som funnet i kapittel 3.

$$\begin{aligned}L &= 13 \text{ mH} \\M &= 13 \text{ mH} \\Z_{rl} &= 50.2 + j\omega 806.71e-3 \ \Omega \\Z_s &= 0.76 + j1.9 \ \Omega \\V &= 30 \text{ V} \\R_t &= 4 \ \Omega \\Z_r &= 12 + j\omega 8.38e-3 \ \Omega \\\omega &= 2\pi 95 = 596.90 \\i_1 &= 0.1280 - j0.9248 = 0.9733 \angle -82.4436 \\i_2 &= 0.0073 - j0.0296 = 0.0305 \angle -76.1271 \\i_3 &= 0.0066 - j0.0105 = 0.0124 \angle -57.7117 \\V_r &= 0.1324 - j0.0903 = 0.1618 \angle -35.0835\end{aligned}$$

5 Konklusjon

Både absoluttverdi på V_r og fasedreining på strømmen tilsier at releet ikke skal trekke. Dette betyr at man kan kutte ut "0-feltet" uten at man mister skinnebruddsdeteksjonen.

6 Referanser

- [1] Sture, Per Lærebok for kontaktledningsingeniører, del II NSB 1993

VEDLEGG TIL KAPITTEL 9

VEDLEGG 9.1: OVERGANGSMOTSTANDEN FRA ELEKTRODEANLEGGET TIL JORD

Overgangsmotstanden fra elektrode til jord er avhengig av den spesifikke motstanden i jordsmonnet (ρ) og av elektrodens utforming.

1 SPESIFIKK MOTSTAND I JORD

Tabellen nedenfor viser noen typiske verdier for jordsmonnets resistivitet:

sjøvann:	< 1 Ωm
fuktig myrjord	20- 50 Ωm
ferskvann:	10 - 100 Ωm
dyrket jord eller fuktig leire	50 - 150 Ωm
fuktig sand:	100 - 300 Ωm
tørr sand:	1000 - 3000 Ωm
fjell med vannfylte sprekker:	1000 - 10 000 Ωm

Verdiene i tabellen varierer med temperatur og fuktighet i jordmonnet. Økende fuktighet gir lavere resistivitet, tørke og/eller frost gir høyere resistivitet

I tillegg er jordsmonnet sjelden helt homogent, og den reelle resistiviteten er avhengig av sammensetningen av jordsmonnet.

2 BEREGNING AV OVERGANGSMOTSTANDEN

Formlene til beregning av overgangsmotstand som er oppgitt nedenfor, gjelder for avledning av likestrøm eller lavfrekvent vekselstrøm. (inntil 50 Hz)

Horizontale jordtråder

De øvre jordlagene er utsatt for klimavariasjoner, slik a ledningsevnen (og dermed overgangsmotstanden vil variere betydelig. Ved overslagsberegning av overgangsmotstanden for en enkel jordstråle, kan en bruke formelen:

$$R = \frac{\rho}{\pi l} \ln \frac{l}{r} \quad (9.1 - 1)$$

R:	overgangsmotstanden til jord	[Ω]
r:	elektrodens radius	[m]
l:	elektrodens lengde	[m]
ρ :	jordresistivitet	[Ωm]

Ved overslagsberegning av overgangsmotstanden for fire jordstråler i stjerneform, kan en bruke formelen:

$$R = \frac{1}{4} \frac{\rho}{\pi l} \left(\ln \frac{l}{r} + 3.2 \right) \quad (9.1 - 2)$$

l: elektrodens lengde på en stråle [m]

(De øvrige parametrene er tilsvarende ligningen ovenfor.)

Vertikale jordspyd

Jordspyd brukes til såkalt dypjording. Elektroden gir mindre variasjon i overgangsmotstanden fordi klimavariasjonene er mindre i dybden. Elektroden er egnet i grunnforhold med løse masser (morene, leire, sand, etc), men kan også benyttes i fjell hvis det bores hull til jordspydet som tettes med fyllmasse etter plassering.

Jordspydet kan drives ned til sjikt i grunnen som har lavere resistivitet, for eksempel en vannåre. for å utnytte et spesielt gunstig sjikt, kan spydet drives på skrå ned i bakken (øker elektrodens overflateareal i sjiktet)

$$R = \frac{\rho}{2 \pi l} \ln \frac{l}{r} \quad (9.1 - 3)$$

R: overgangsmotstanden til jord [Ω]
r: jordspydets radius [m]
l: elektrodens lengde [m]
ρ: jordresistivitet [Ωm]

Overgangsmotstanden reduseres dersom en bruker flere jordspyd i parallell. De parallelle spydene bør ha en horisontal avstand som er ca 1.5 - 2 ganger større enn spydenes lengde.

Jordingsplater

Jordingsplater er lite kostnadseffektive fordi det over tid kan være vanskelig å opprettholde god kontakt med jordmonnet omkring. Elektroden anbefales kun til bruk i sjø eller leire.

$$R = \frac{\rho \pi}{8 A} \left(1 + \frac{2}{\pi} \arcsin \frac{1}{\sqrt{1 + 4 \pi h^2 / A}} \right) \quad (9.1 - 4)$$

R:	overgangsmotstanden til jord	[Ω]
A:	platens areal	[m^2]
ρ :	jordresistivitet	[Ωm]

Ringjord

Ringjordelektroder etableres ved å legge en jordleder under ytre vegg i fundament eller under dreneringen rundt en bygning. En slik jordingsutførelse er et krav for lynavledeanlegg.

$$R = \frac{\rho}{\pi d} \ln \frac{\pi d}{r} \quad (9.1 - 5)$$

R:	overgangsmotstanden til jord	[Ω]
d:	ringens diameter	[m^3]
ρ :	jordresistivitet	[Ωm]

Fundamentsjording

Bygninger med betongfundament kan benytte dette som elektrode. Beregning av overgangsmotstanden til fundamentet kan beregnes ved å anta en halvkule med samme volum som fundamentet:

$$R = \frac{\rho}{\pi d} \quad (9.1 - 6)$$

R:	overgangsmotstanden til jord	[Ω]
d:	halvkulens ekvivalente diameter	[m^3]
ρ :	jordresistivitet	[Ωm]

Beregning av ekvivalent diameter:

$$d \approx 1.56 V^{1/3} \quad (9.1 - 7)$$

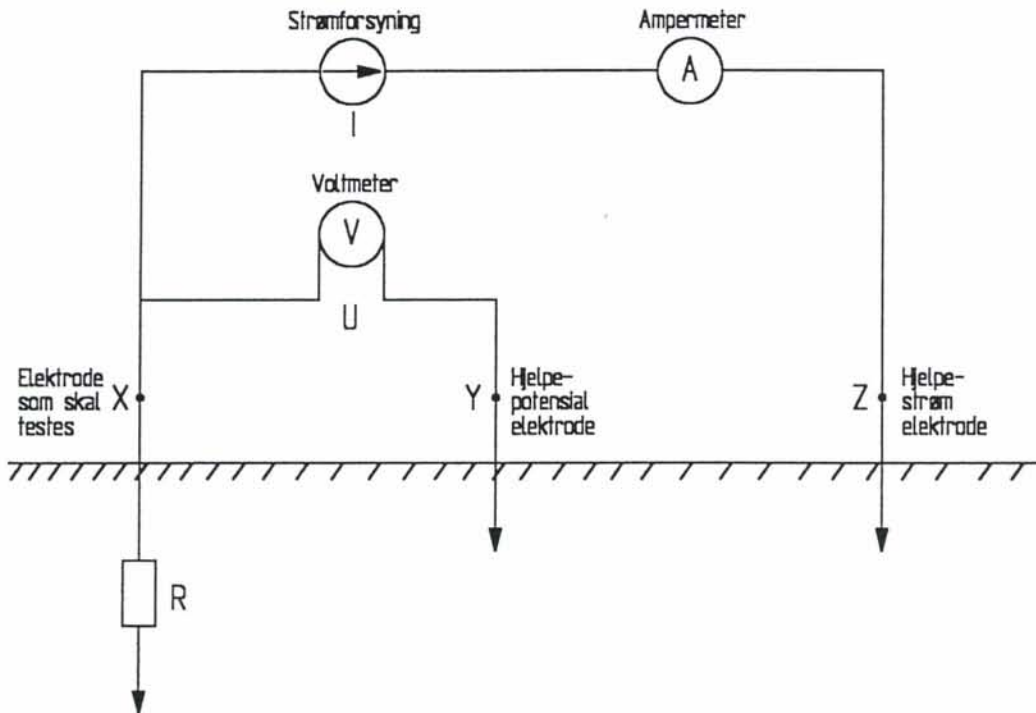
V: fundamentets volum [m³]

Fundamentelektroden bør brukes i kombinasjon med jordspyd, ringjord el. lign. Armeringen må sammenkobles på flere steder (avhengig av utstrekning) Det bør være minst to tilkoblinger til jordspyd, ringjord el lign pr 100 m² grunnflate, og tilkoblingen bør ha avstand på minst 10 m

Kilde: "Jording av tekniske installasjoner i bygninger. Retningslinjer", EFI 1993

VEDLEGG 9.2: TESTEPRINSIPP FOR JORDMOTSTAND (POTENSIALFALL)

Potensialdifferansen mellom elektrodene X og Y måles ved hjelp av et voltmeter og strømmen mellom X og Z måles med et amperemeter.



Figur 1: Potensialfall - måling

Med ohms lov

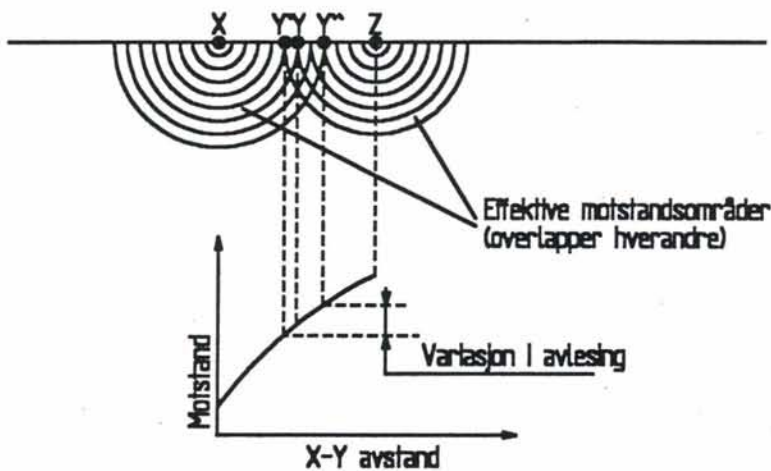
$$R = \frac{U}{I}$$

får vi jordelektrodens motstand. Hvis $U = 20 \text{ V}$ og $I = 1 \text{ A}$ er $R = 20 \text{ }\Omega$. Med jordingstester er det ikke nødvendig å foreta alle målingene. Jordingstesteren måler direkte ved å generere sin egen strøm og ved å avlese motstanden til jordelektroden.

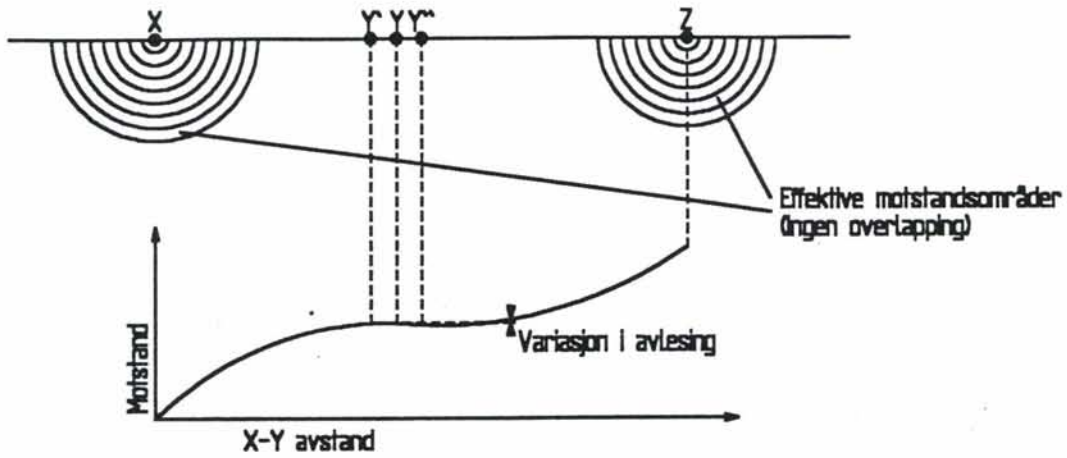
Viktigheten av plasseringen av hjelpeelektroden ved måling

For å måle motstanden mot jord nøyaktig, må man plassere hjelpestrøm-elektroden Z langt nok vekk fra jordelektroden ved testing slik at hjelpe-spenningselektroden Y står utenfor de effektive motstandsområdene til både jordelektroden og hjelpeelektroden. Den beste måten å finne ut om hjelpespennings-elektroden Y står utenfor de effektive motstandsområdene er å flytte den mellom X og Z og foreta en avlesning på hvert sted. Hvis hjelpespennings-elektroden Y står i et effektivt motstandsområde (eller i begge hvis de overlapper hverandre - se figur 2), og man flytter den, vil avlesningene variere betydelig i verdi. Under disse forholdene er det ikke mulig å fastslå noen eksakt verdi for motstanden til jord.

På den annen side, hvis hjelpespennings-elektroden Y er plassert utenfor de effektive motstandsområdene (se figur 3), idet Y flyttes frem og tilbake, er variasjonen i avlesning minimal. Avlesningene bør ligge relativt nær hverandre, og er de beste verdiene for motstanden til jord ved X. Avlesningene bør plottes inn for å sikre at de ligger i et "platå-område" slik som vist i figur 3.



Figur 2:
Ikke tilstrekkelig avstand mellom elektrodene



Figur 3:
Tilstrekkelig avstand mellom elektrodene

Kilde:

"En praktisk innføring i TESTING AV JORD OG MÅLING AV SPESIFIKK MOTSTAND I JORD",
Norsk ElektroTeknikk AS, Mars 1991