

# RAPPORT

JB 2011/09



## TEMARAPPORT OM BRANNTILLØP I STRØMAVTAGERE PÅ T-BANETOG TYPE MX-3000

 English summary included

*Statens havarikommisjon for transport (SHT) har utarbeidet denne rapporten utelukkende i den hensikt å forbedre jernbanesikkerheten. Formålet med undersøkelsene er å identifisere feil og mangler som kan svekke jernbanesikkerheten, enten de er årsaksfaktorer eller ikke, og fremme tilrådinger. Det er ikke havarikommisjonens oppgave å ta stilling til sivilrettslig eller strafferettslig skyld og ansvar. Bruk av denne rapporten til annet enn forebyggende sikkerhetsarbeid bør unngås.*

**INNHold**

1.	INNLEDNING.....	4
1.1	Rullende materiell .....	5
1.2	Vognsett/strømvtagere .....	5
1.3	Branntilløpene .....	8
1.4	Strømvtagernes konstruksjon på MX-3000 .....	9
1.5	Innvendig renhold av vogner .....	11
2.	GJENNOMFØRTE UNDERSØKELSER.....	11
2.1	Undersøkelse av strømvtager.....	11
2.2	Undersøkelse av vannprøve.....	12
2.3	Videofilming.....	13
2.4	Strømforbruk “gamle T-banetog” .....	13
2.5	Strømforbruk MX-3000.....	13
2.6	Opplæring / kjøreteknikk.....	13
2.7	“Ny type” (modifisert) strømvtager.....	14
2.8	Feil på opphengsisolatorer.....	15
2.9	Oversikt over samme type strømvtagere i bruk.....	16
2.10	Vedlikeholdsoppfølging på strømvtagere.....	16
2.11	Strømforsyningssystemet for 750 Volt DC.....	17
2.12	Vern i likeretterstasjonene.....	17
2.13	Strømskinner (tredjeskinne) .....	20
2.14	Snørydding rundt strømskinner .....	21
2.15	Oslo T-banes linjenett.....	22
2.16	Organisasjon.....	22
2.17	Sikkerhetsanalyser og godkjenninger.....	23
2.18	Andre funn.....	26
3.	ANALYSE.....	26
3.1	Tekniske og operative forhold.....	26
3.2	Bakenforliggende forhold.....	28
4.	KONKLUSJON.....	30
5.	GJENNOMFØRTE TILTAK .....	30
6.	SIKKERHETSTILRÅDINGER .....	31
	REFERANSER .....	33
	VEDLEGG.....	34

## **TEMARAPPORT OM BRANNTILLØP KNYTTET TIL STRØMAVTAGERE I T-BANETOG AV TYPE MX-3000**

Tognummer:	Flere
Involvert materiell:	Sju T-banetog av type MX-3000
Registrering:	3129, 3152, 3323, 3365, 3147, 3130 og 3116
Eier:	Kollektivtransportproduksjon AS
Bruker:	Oslo T-banedrift AS
Besetning:	1 fører i hvert togsett
Passasjerer:	Ukjent antall
Havaristed:	Sju forskjellige steder på Oslo T-banedrifts banenett
Havaritidspunkt:	I tidsrommet oktober 2009 – oktober 2010

### **MELDING OM HAVARIENE**

Alle tilfellene med branntilløp i T-banetog av type MX-3000 har umiddelbart blitt meldt av trafikkleder ved Oslo T-banedrift til vakthavende havariinspektør i Statens havarikommisjon for Transport (SHT).

Hyppigheten og det store skadepotensialet ved disse branntilløpene gjorde at havarikommisjonen valgte å lage en foreløpig rapport med umiddelbar sikkerhetstilråding. Oppstart av undersøkelsen var 8. februar 2010, og rapporten ble avgitt den 23. februar 2010.

### **SAMMENDRAG**

På bakgrunn av de tre første branntilløpene i de nye T-banetogene av type MX-3000 iverksatte havarikommisjonen en undersøkelse. Tilløpene skjedde i tidsrommet fra oktober 2009 til januar 2010. Et inntraff i tunnelen på fellesstrekningen, mens de to øvrige skjedde på linjen i friluft.

I perioden etter at den foreløpige rapporten ble avgitt har det inntruffet ytterligere tre tilfeller med branntilløp i strømavtagere. Et tilfelle skjedde i fellestunnelen mellom stasjonene Tøyen og Grønland, det andre skjedde ved Manglerud stasjon og det tredje ved Østhorn stasjon. Disse er tatt med i denne endelige rapporten.

To av branntilløpene inntraff i fellestunnelen.

Havarikommisjonen har utført tekniske undersøkelser, samt hatt møter med Oslo T-banedrift AS, verkstedet på Ryen, Oslo Vognselskap AS (OVS) og representant fra produsenten av T-banetogene. Det har også blitt gjennomført kontaktmøte hvor alle involverte parter var representert.

## **ENGLISH SUMMARY**

After three fire incidents in the new Siemens MX-3000 metro trains the Accident Investigation Board Norway (AIBN) effectuated an investigation. The fire incidents happened between October 2009 and January 2010. One incident occurred in the tunnel at the joint section, and the two other incidents occurred on open line.

In the period after the first preliminary report was published there have been another three fire incidents in the current collector on the MX-3000. One incident happened in the tunnel at the joint section between the stations Tøyen and Grønland, the second incident happened at Manglerud station and the third incident happened at Østhorn station. These incidents have been included in this final report.

Two of the fire incidents happened in the tunnel at the joint section.

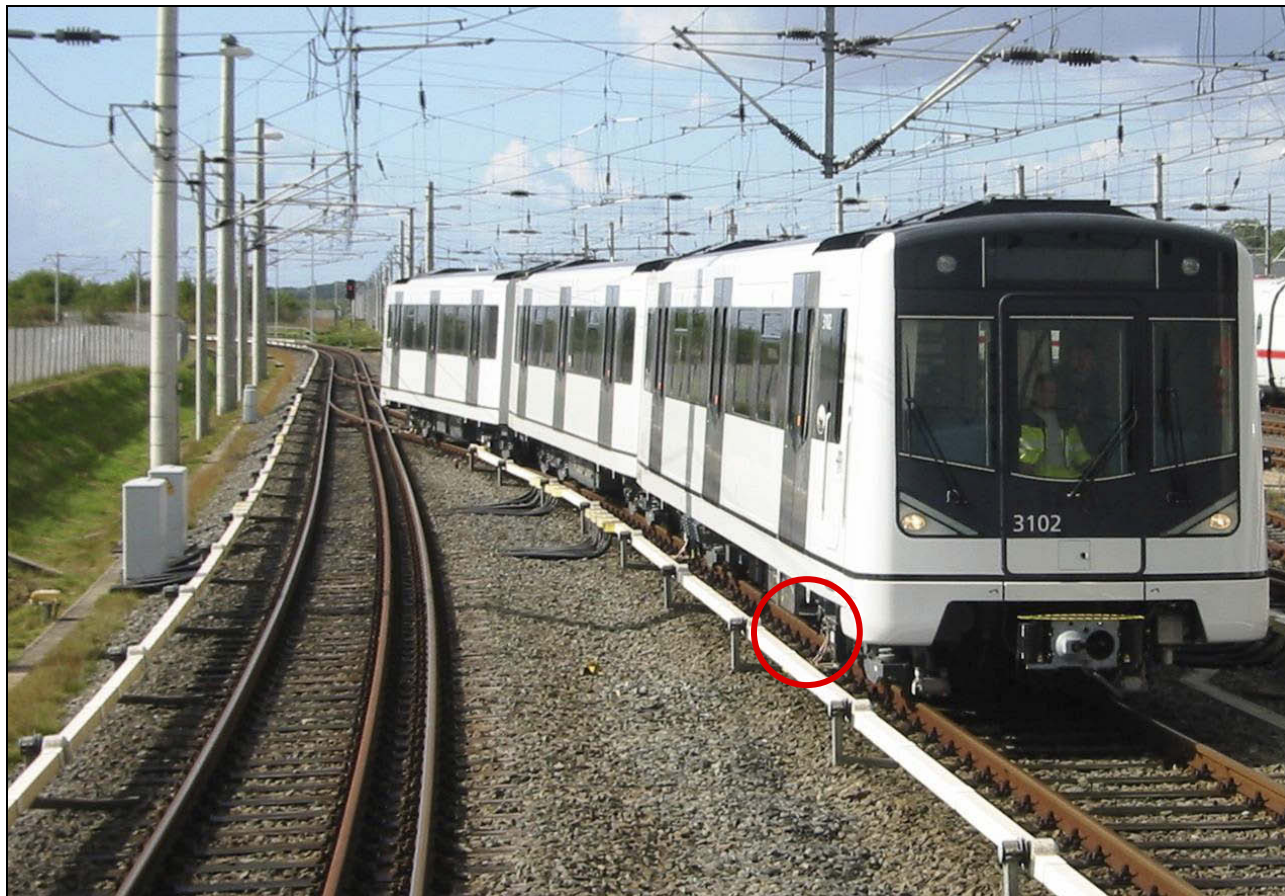
The AIBN has performed technical examinations, held meetings with Oslo T-banedrift AS, the workshop at Ryen, Oslo Vognselskap AS (OVS) and representatives from Siemens. There has also been a meeting where all parties have been represented.

## **1. INNLEDNING**

På bakgrunn av det har vært flere branntilløp i forbindelse med strømvagterne på T-banetog type MX-3000 fra høsten 2009 utarbeidet havarikommisjonen en foreløpig rapport i februar 2010. I tidsrommet etter at den foreløpige rapporten ble utgitt har det vært nye tilfeller av branntilløp på strømvagterne, samt i omkringliggende komponenter.

Havarikommisjonen har foretatt nye undersøkelser, samt filmet samspillet mellom strømvagtere og strømskinner med videokameraer montert på tog under kjøring på T-banestrekningene.

## 1.1 Rullende materiell

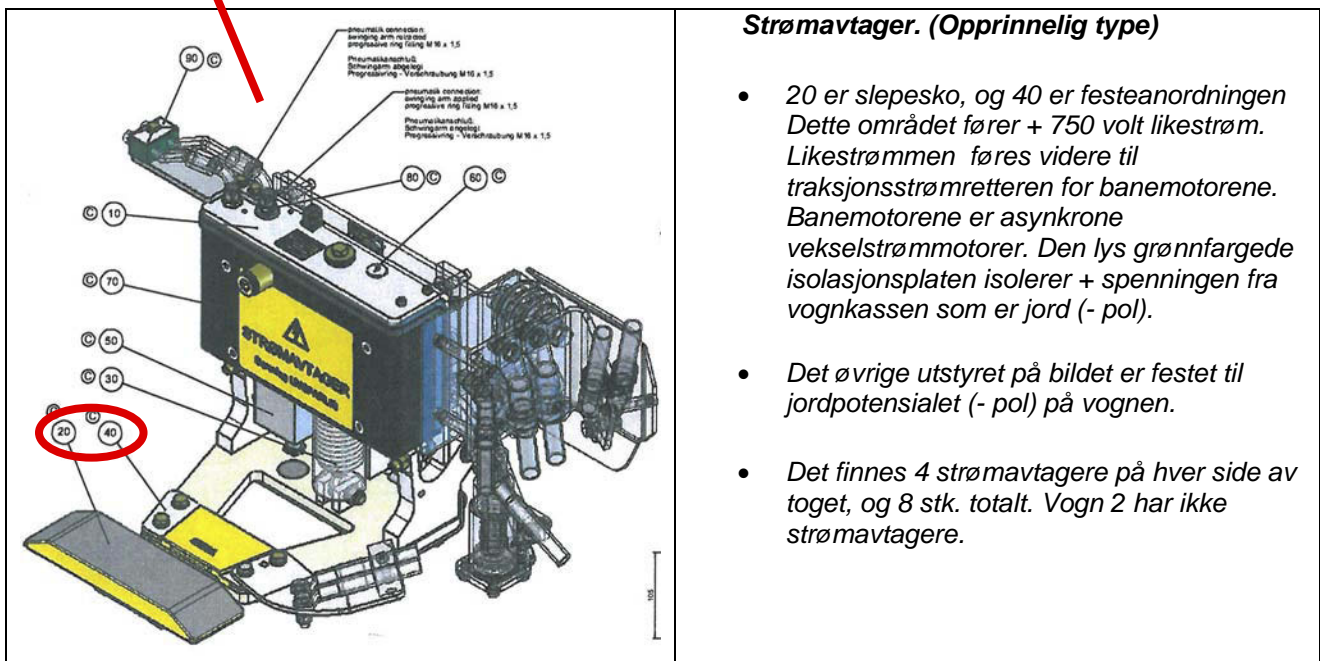
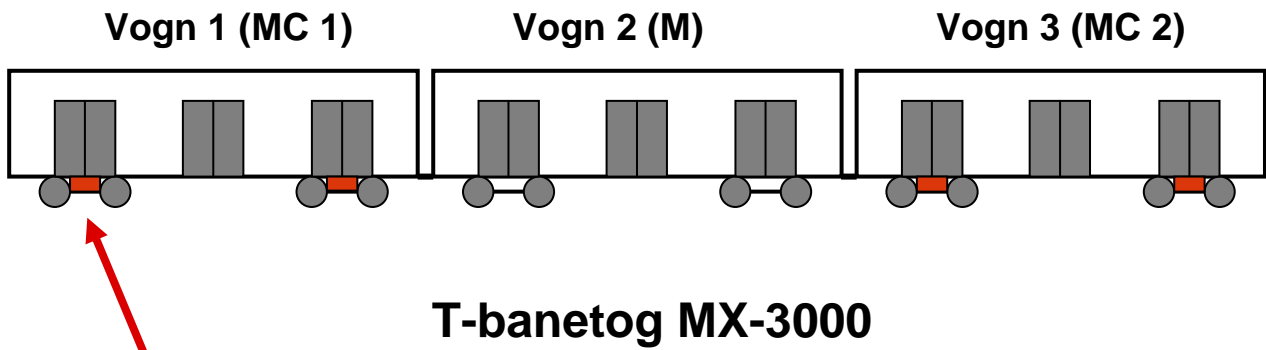


Figur 1: Vognsett type MX-3000. Strømvtagerne er plassert under dørene på begge sider av vognene. (Foto: Fra OTD)

Involvert materiell er T-banetog av typen MX-3000. Hvert togsett består av tre vogner. MX-3000 ble introdusert i Oslo med to prøvetog i oktober 2005. Disse ble testet og utprøvd fram til de ble satt i prøvedrift i januar 2006. Det var en forutsetning at togene skulle testes minst 60 dager i vinterperioden som ble definert til perioden mellom desember og februar. Fra januar 2007 startet hovedleveransen av opsjon 1 på 63 tog som ble levert i løpet av 2009. Senere ble opsjon 2 på ytterligere 20 togsett utløst, og leveransen på 83 togsett ble ferdigstilt i august 2010. Opsjon 3 ble bestilt i desember 2010 og er på 32 togsett. Denne leveransen skal være fra august 2012 til mars 2014. Leveransen vil da være komplett med totalt 115 togsett.

## 1.2 Vognsett/strømvtagere

Vognsettene består av tre vogner, hver med tre doble dører på hver side. Strømvtagerne er plassert på undersiden av de ytterste dørene på vogn nr. 1 og 3.



Figur 2: Strømvtager med slepesko og isolatorplate.



Figur 3: T-banens linjekart med hendelsessteder (utgave 2010-12).





Figur 4: Brann i MX-3000 T-banetog ved Brynseng stasjon. (Foto: Fra Oslo T-banedrifts overvåkningsvideo)

### 1.3 Branntilløpene

Undersøkelsen har avdekket to forskjellige feiltyper. Den ene er når isolatorene på baksiden av strømvaktakerne feiler og medfører kortslutning.


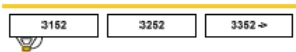

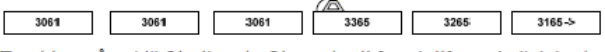

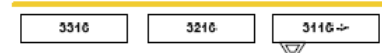
Den andre feiltypen er knyttet til overslag mellom den positivt ladede slepeskoen og den jordede delen av strømvaktakeren (- pol). Den første feiltypen har vist seg å føre til at sikring kobler ut og at strømtilførselen stanser slik at det ikke oppstår brann. Ved den andre feiltypen har ikke alltid strømtilførselen automatisk stanset, og brann kan oppstå.



Figur 5: Viser utvendige skader på vognen som brant ved Holmen stasjon, januar 2010.



Figur 6: Viser skader som oppstod på strømvaktager som brant ved Holmen stasjon, januar 2010.

Hendelse	Togkonfigurasjon
09.02.2009?	3337
16.10.2009 Nationaltheatret 14:26	 <p>Toget kunne kjøre frem til stasjon.</p>
Brynseng 23.01.2010 23:12	 <p>Etter oppstart fra stasjonen, banket passasjerer på hos føreren og varslet om brann. Brannen slukket da strømsko ble lagt ut. Vitner rapporterte om at noen hadde kastet ut en pose med ølbokser i sporet.</p>
Holmen 26.01.2010 21:01	 <p>Aluminiumsboks funnet i sporet.</p>
Manglerud 05.03.2010 23:57	 <p>Tomt tog på vei til Stortinget. Stoppet rett før plattform da linjebryter falt. Saken ble håndtert som strømbrydd, og det ble først mistenkt feil på toget da strømmen ikke lot seg legge inn.</p>
Grønland 06.03.2010 01.37.49	 <p>Stoppet utenfor plattform (vet ikke hvorfor). Tomt tog på vei til Stortinget.</p>
Østhorn 13.03.2010 01:27	

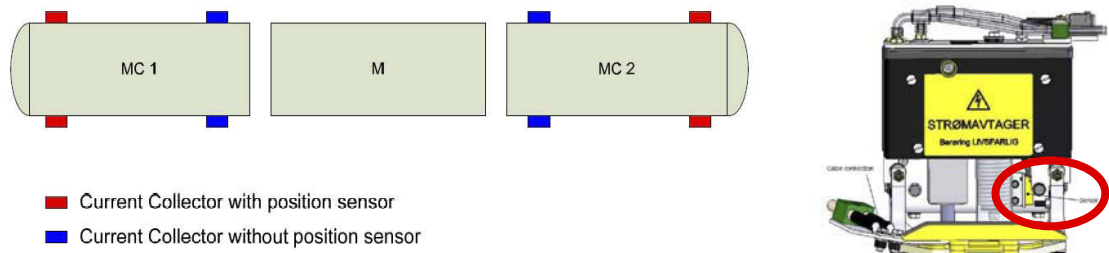
Figur 7: Vognen involvert i branntilløp.

Det ble i løpet av 2010 foretatt en modifisering av strømvatageren. Det ble også foretatt endringer i rutineene med ettersyn og vedlikehold. I tidsperioden etter at strømvatageren ble modifisert har det ikke vært branntilløp i strømvatagerne, men begynnende overslag i isolatorplaten har blitt oppdaget under ettersyn.

#### 1.4 Strømvatagerens konstruksjon på MX-3000

Strømvatagerne finnes i både venstre og høyre utførelse (tilkobling av kabler til strømsko). Strømvatageren er isolasjonsmessig adskilt fra strømskoen med en glassfiberarmert epoxy isolasjonsplate, og strømskoen er koblet til koblingsisolatorene med to 70 mm<sup>2</sup> flertrådede kabler.

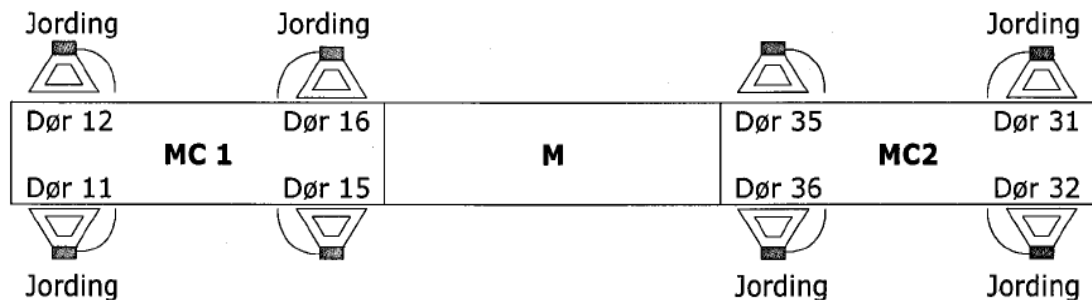
Det sitter en strømgapsdetektor i de forreste og bakerste strømvatagerne på togsettet. Hensikten med disse er at strømforbruket på den aktuelle vognen skal reduseres når toget passerer "strømgap" i strømtilførselskinnene. Dette for å redusere rykk i toget ved innkjøring i lange strømgap. I ettertid har det vist seg at strømgapsdetektoren gir en reduksjon av gnistring i form av lysbuer som oppstår ved store strømuttak under kjøring.



Figur 8: Strømgapsdetektorenes (position sensor) plassering i vognsett og på strømvatager.

Strømgapsdetektorene var i perioder utkoblet da de ikke fungerte etter hensikten. Det har i tidsrommet etter vognene ble levert blitt foretatt flere modifiseringer. I desember 2010 ble strømgapsdetektorene friskmeldt og permanent innkoblet på strømvatagerne.

En fjærbelastet hydraulisk løfteanordning er montert for å heve/senke strømvatager. Det er også plassert en jordingsenhet ved hver strømvatager. Det er ikke jordingsenhet under to av de indre dørene i vogn MC1 og MC2. Jordingsenheten har til hensikt å jorde når det er behov for det.

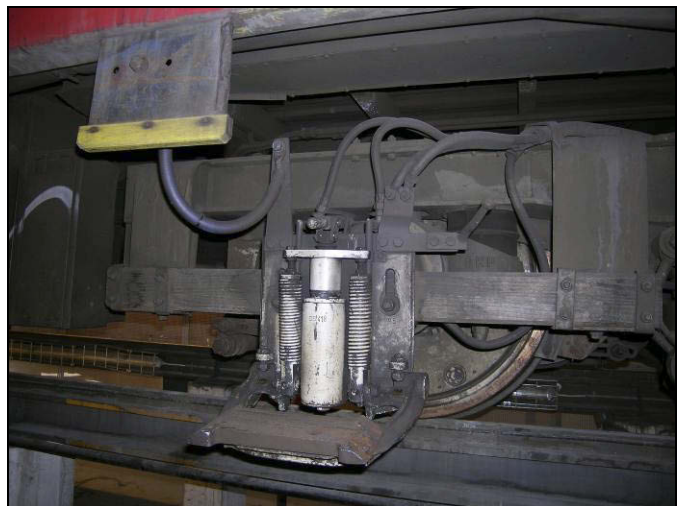


Figur 9: Viser plasseringen av jordingsenhetene.

#### 1.4.1 Strømvatagerne på gamle T-banvogner (Røde)

Strømvatagerne på de gamle (utrangerte) vognene var plassert annerledes enn på dagens MX-3000-vogner. De var ikke plassert under dørene.

Hele strømvatageren hadde samme spenningspotensiale og var montert på en trebjelke, slik at det ble mindre mulighet for overslag mot vognkassen. En isolator (koblingspunkt) som var plassert under vognkassen var skjermet for gnistringen fra slespeskoens kontakt mot strømskinnene (se figur 10).



Figur 10: "Gammel type strømvatager".

## 1.5 Innvendig renhold av vogner

Strømvogterne på MX-3000 er plassert under dørene på hver ende av vogn MC1 og MC2 (se figur 2). Passasjerer som går på og av toget skritter dermed på oversiden av der strømvogterne er plassert.

Ved innvendig vask av vognene ble vaskevann svabret ut gjennom dører og kunne komme ned på strømvogter. Det ble tatt en snøprøve fra en strømvogter for analyse. Denne viste at det var spor av kalium, kalsium og natrium i smeltevannet. Rutinene med vasking har blitt endret slik at vaskevannet ikke lenger svabres ut gjennom dører, men samles opp med vannsuger.

## 2. GJENNOMFØRTE UNDERSØKELSER

Branntilløpene har oppstått i forbindelse med strømvogterne og omkringliggende komponenter i togsett i trafikk. Undersøkelsen har hatt et teknisk fokus rettet mot strømvogterne og strømforsyningssystemet. Organisatoriske forhold i forbindelse med godkjenning og implementering av MX-3000 togene har også blitt gjennomgått.

### 2.1 Undersøkelse av strømvogter

Havarikommisjonen har sett nærmere på isolatorplatene for å søke å finne hvorfor de har blitt ledere i stedet for isolatorer. En strømvogter fra toget som var involvert i branntilløpet ved Holmen stasjon, og en fra en annen hendelse, ble brakt til Forsvarets laboratorietjeneste (FLO) for nærmere undersøkelse. Begge platene hadde brennmerker som indikerte at de har hatt lokal oppvarming, med forgreininger som strakte seg ut fra området omkring innfesting av slepeskoen inn mot jordingspotensialet (- pol). En av isolatorplatene ble rengjort, mens den andre ikke ble det. Det ble først tatt en overflateanalyse ved hjelp av karbontape av den ikke rengjorte platen.



Figur 11: Oversiktsbilde av de to undersøkte isolatorplatene/strømvogterne. Sledesko vises i nederste bildekant.

Undersøkelse i SEM (Scanning Electron Microscope) med opptak av EDS spekter (Energy Displacement Spectrography) viste en overflate dekket av blant annet små partikler. Partiklene bestod av jern, aluminium, mineralske partikler, kalium, kalsium, natrium og klor.

Deretter ble den rengjorte platen undersøkt i stereo lysmikroskop med fokus på de varmeutsatte områdene. Disse områdene hadde blitt utsatt for en varme som hadde smeltet bort epoksy og smeltet glassfibertrådene. Glass (rent silisiumoksid) har en smeltetemperatur på om lag  $2000^{\circ}\text{C}$ . Prøver fra disse områdene ble tatt inn i SEM for opptak av EDS spekter. Undersøkelsen avdekket betydelige mengder metalliske partikler med en størrelse på mellom 1 og 2  $\mu\text{m}$ . Disse bestod i hovedsak av jern, kalsium og aluminium.



Figur 12: Utsnitt av varmpåvirkede områder på isolatorplate

Slepeskoen ble undersøkt med tanke på eventuell strukturendring. Undersøkelsen viste en betydelig hardhetsforskjell mellom kjernemateriale ( $300\text{HV}_{1,0}$ ) og materiale ut mot overflaten ( $540\text{HV}_{1,0}$ ). Overflaten bestod av en martensittisk herdestruktur. Disse effektene oppstår ved en varmpåvirkning på mellom  $750$  og  $1100^{\circ}\text{C}$ . Slepeskoen bar videre preg av å ha fått erodert bort materiale i begge ender.

SINTEF Energy Research har i ettertid på oppdrag fra Oslo Vognselskap AS (OVS) utarbeidet en mer detaljert rapport med forklaring på mulig årsak til utvikling av begynnende lysbuer på den modifiserte strømvtageren sammenlignet med den originale. Rapporten skal i tillegg evaluere nye tekniske forslag fra Siemens/Stemmann for å eliminere eller redusere utviklingen av lysbuer. Se vedlegg G.

## 2.2 Undersøkelse av vannprøve

Det ble tatt en snøprøve fra en strømvtager for å undersøke ledningsevnen, pH og ionekonsentrasjon. Snøprøven inneholdt en forholdsvis stor andel av nysnø og mindre andel av snø som hadde falt av fra passasjerers sko. Prøven ble sendt til Norsk institutt for vannforskning (NIVA) for analyse. Resultatet fra analysen viser en pH på 6,83, en ledningsevne på  $16,2\text{ mS/m}^2$  og et kloridinnhold på  $24,8\text{ mg/l}$ . Se vedlegg B.

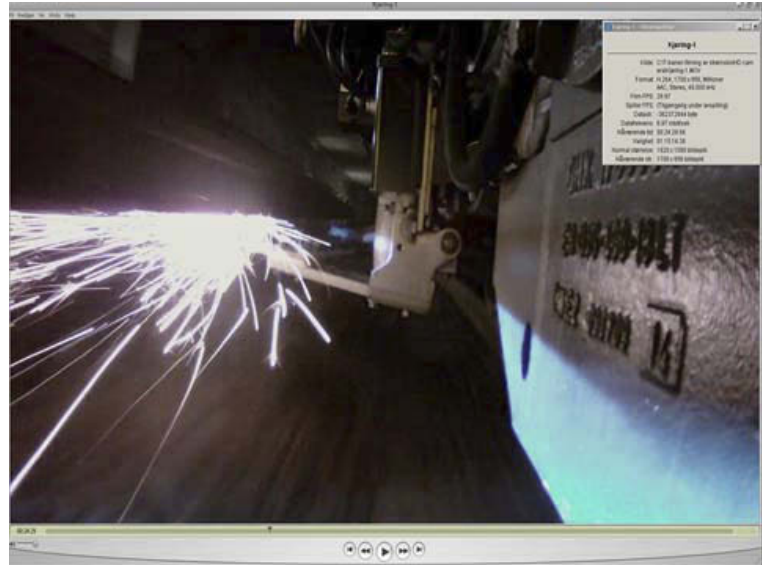
## 2.3 Videofilming

Den 18. mars 2010 gjennomførte havarikommisjonen videofilming av hvordan strømavtageren oppførte seg med strømskinnen under kjøring av tog. Strekningen som ble filmet var fra Mortensrud til Østerås via Ringen, i begge retninger. Det var en rutinert vognfører som førte toget, og vedkommende kjørte toget på en skånsom måte med hensyn til strømforbruk.

Det viste seg at det oppstod omfattende lysbuer når strømgap ble passert. Det var også tegn til gnistring på enkelte steder av strømskinnene. Strømskoen på testtoget hadde skjev anløpsflate mot strømskinnen. Link til videoen ligger som vedlegg A.

Under videofilmingen oppstod det gjentatte ganger lysbuer med betydelig gnistring fra strømskoens kontakt med strømskinnene. Slike gnistregn avgir varme med temperaturer som kan være høyere enn 3000 °C.

Lysbuene vises også på videofilmen som er vedlagt rapporten.



Figur 13: Gnistring fra strømsko. (Foto fra video).

## 2.4 Strømforbruk “gamle T-banetog”

På de gamle (røde) T-banevognene var strømforbruket i akselerasjonsfasen med fullsatt to-vognstog inkl. hjelpeforbrukere ca. 1200 Ampere (1800 Ampere for tre-vognstog) i strømstøt på 1. feltsvekningsstrinn (maksimum ved ca. 32 km/t): normal fordelt på 2 stk. strømavtagere. I en tidlig fase var strømforbruket opp til 1700 Ampere ved fullsatt tog inkl. hjelpeforbrukere i akselerasjonsfasen normalt fordelt på 2 stk. strømavtagere i 2. feltsvekningsstrinn (maksimum ved ca. 39 km/t). Dette var kun tilkoblet en kort periode.

## 2.5 Strømforbruk MX-3000

MX-3000 hadde opprinnelig et strømforbruk på ca 4100A inkl. hjelpeforbrukere på 3-vognsett. Dette har blitt justert ned 2 ganger, og er nå nede på ca. 2200 Amper, inklusive hjelpestrøm på 3-vognsett.

## 2.6 Opplæring / kjøreteknikk

Rapporten om mykkjøringsprosjektet er det beskrevet at fører skal redusere pådraget før strømgap. Det skal tas hensyn til om toget er enkeltsett eller dobbeltsett og ta hensyn til stigning/fall og om det kjøres fra MC1 eller MC2.

I MX-3000 brukerhåndbok står det at fører bør unngå å akselerere toget over strømgap for å minimere lysbuedannelse på strømvtagerne.

## 2.7 “Ny type” (modifisert) strømvtagger

Oslo T-banedrift AS har utført endringer på strømvtaggerne. Det har foregått en kontinuerlig utskifting til modifisert utgave. Disse var skiftet på alle togsett i løpet av oktober 2010. 83 togsett med åtte stk. på hvert togsett, er totalt 664 strømvtagger.

Det ble også montert en jordingsforbindelse på baksiden av strømvtaggerne (se figur 15).

Før og etter at modifisering av strømvtaggeren ble foretatt har det oppstått feil med overslag i koblingsisolatorer. Disse sitter i tilknytning til strømvtaggerne men er separate fra disse. Det antas at denne type feil ikke er knyttet til endringen av strømvtaggeren. I disse tilfellene har sikringene i likeretterstasjonene løst ut og koblet bort strømtilførselen.

Verkstedenheten i KTP AS gir følgende informasjon:

*På den endrede løsningen (se figur 12), er den strømførende delen beskyttet slik at kun selve slepeskoen er eksponert. Krypstrømvstanden og luftavstanden fra strømførende til jordet del av strømvtaggeren er dermed økt slik at faren for overslag er mindre. Den økte bredden på isolasjonsplaten sammen med innbyggingen av spenningsførende deler på siden, over og under gjør også at sannsynligheten for kortslutning som følge av fremmedlegemer er betydelig redusert. Innbyggingen er utført i samme materiale som selve isolasjonsplaten. I tillegg er det satt på en krympestrømpe over kabelskoene som skal gjøre det vanskeligere å starte en gnist ved sammenstøt med objekter i sporet. Denne var ikke montert på strømvtaggeren ved dør 11 i vogn 3176 i denne testen.*

*I tillegg til denne innbyggingen av strømførende del, er det også montert en ekstra jording av strømvtaggerens bevegelige del (se plassering på figur 13). Granskning av lysbuebrannene på MX-3000 har vist at denne delen har dårlig jording, og dermed usikkert potensiale. Det har blitt reist spørsmål om dette kan bidra til å gjøre det vanskelig for likeretternes vern å detektere lysbuer mellom de delene som skal være strømførende og den bevegelige delen av strømvtaggeren. Den nye jordingen skal sikre god jording av den bevegelige delen av strømvtaggeren slik at slike overslag vil være lettere å detektere. Det var ikke installert nye jordingsforbindelser i den innledende testen på lukket spor, men dette ble installert 29.04.2010*



Figur 14: Modifisert strømvtagger.



Figur 15: Jordingsforbindelse på strømvtagger.

## 2.8 Feil på opphengsisolatorer

Opphengsisolatoren er et koblingspunkt med to isolatorer som er plassert på boggierammen til siden for strømavtageren. Det har det vært flere tilfeller med overslag i disse. Det er i hovedsak de tidligste leveransene av vognsettene som har hatt disse problemene. (Påvist på vognsettene: 3001, 3002, 3003, 3004, 3005 og 3009, også 3028).



Figur 16: Viser plasseringen.



Figur 17: Viser en defekt opphengsisolator.

### 2.8.1 Vedlikeholdsoppfølging på opphengsisolatorer

Opphengsisolatorene kontrolleres visuelt og med isolasjonsmåling (megging) med 1000 volt megger på 10 000 km-ettersyn. Påvises begynnende elektrisk overslag, sprekker og brudd skal isolator byttes. Dette punktet er S-merket. Hvis isolasjonsmotstand er mindre enn 20 M $\Omega$ , skal det konfereres med driftsleder. Opphengsisolatorene vaskes på 60 000 km ettersyn.

### 2.8.2 Tekniske undersøkelser av opphengsisolatorer (Siemens)

Siemens har undersøkt forholdet etter å ha fått overlevert defekte isolatorer. De har ikke påvist noen feil/mangler eller bakenforliggende årsak som kan forklare årsaken til de elektriske overslagene i disse. Havarikommisjonen har derfor sendt isolatorene til laboratorieundersøkelser hos FLO. Isolatorene ble etter undersøkelsene levert tilbake til OTD for videre undersøkelser av Siemens.

### 2.8.3 Laboratorieundersøkelse av opphengsisolator (FLO)

Opphengsisolatorer som har vært utsatt for strømoverslag ble sendt for laboratorieundersøkelser til FLO<sup>1</sup> og Nemko<sup>2</sup>. Resultatene fra disse undersøkelsene ga ikke noe klart svar på hvorfor strømoverslag inntreffer. Rapportene fra disse undersøkelsene ligger som vedlegg F og E.

<sup>1</sup> Forsvarets analytiske laboratorium

<sup>2</sup> Norsk elektrisk materialkontroll



## 2.9 Oversikt over samme type strømvtagere i bruk

Havarikommisjonen har mottatt en oversikt over hvilke andre land som benytter strømvtagere av samme type som på MX-3000. Dette er vesentlig i land som har andre klimatiske forhold enn Norge.

CUSTOMER	APPLICATION	DRAWING	Top/ Bottom Running	SERIES / TEST	OPERATION	YEAR OF MANUFACTURE	QUANTITY
Hamburg	Subway	SG101	Bottom	- / X	Spring / pneumatical	2005	6
Hamburg	Subway	SG101	Bottom	X / -	Spring / pneumatical	2009	28
Oslø	Subway	SG102	Bottom	X / -	Spring / pneumatical	2006	782
Rotterdam	Subway	SG108	Bottom	X / -	Spring / pneumatical	2007	312
Vancouver	Subway	SG109	Top	X / -	Spring / pneumatical	2006	180
St. Petersburg	Subway	SG112	Bottom	- / X	Spring / pneumatical	2008	16
Helsinki	Subway	SG113	Bottom	- / X	Spring / pneumatical	2008	4
Gimhæe	Subway	SG114	Bottom	X / -	Spring / mechanical	2009	150
Prague	Subway	SG115	Bottom	- / X	Spring / pneumatical	2008	4
Prague	Subway	SG115	Bottom	X / -	Spring / pneumatical	2009	124
Almaty	Subway	SG116	Bottom	X / -	Spring / pneumatical	2009	112
Berlin	Subway	SG119	Bottom	- / X	Spring / pneumatical	2010	2
Caracas	Subway	SG120	Top	X / -	Spring / mechanical	2010	1150

Figur 18: Landsoversikt over samme type strømvtagere som er i bruk på MX-3000.

## 2.10 Vedlikeholdsoppfølging på strømvtagere.

Kilde: Vedlikeholdsplan – Revisjon N – Siemens. Utdrag: *Vedlikeholdskonseptet er basert på en gjennomsnittlig kjørelengde på 120 000 km i året for hver modul. I henhold til kravene ved utarbeidelse av RAM og sikkerhetsplan etter EN 50126 er det utviklet et vedlikeholdsprogram som skal sikre at toget kan kjøres på en trygg og pålitelig måte. Med bakgrunn i RAM og sikkerhetsplanen er det definert krav for vedlikeholdsintervaller.*

Intervalldefinisjon	Kode	Antall driftskilometer	Intervall
Månedlig visuell Inspeksjon	MVI	10.000 km	Ca. hver måned
Inspeksjon hver 3. måned	MI 3	30.000 km	Ca. hver 3. måned
Halvårlig service	HS	60.000 km	Ca. hver 6. måned
Årlig service	S1	120.000 km	Ca. hvert år
Service hvert annet år	S2	240.000 km	Ca. hvert 2. år
Revisjon R1	R1	480.000 km	Hvert 4. år (+10 %)
Revisjon R1A	R1A	720.000 km	Hvert 6. år (+10 %)
Revisjon R2	R2	960.000 km	Hvert 8. år (+10 %)
Revisjon R3	R3	1 440 000 km	Hvert 12. år (+10 %)
Revisjon R4	R4	1 920 000 km	Hvert 16. år (+10 %)

Figur 19: Vedlikeholdskonsept.

Etter flere hendelser ble instruksene endret for å ha større fokus på opphengsisolatorene for 750 volt koblingsplate, samt kontroll av bruddsprekker og påbegynnende elektriske overslag.

## 2.11 Strømforsyningssystemet for 750 Volt DC.

Strømforsyningen til togene foregår ved at likerettere forsyner dedikerte strekninger av banenettet. I travle perioder av døgnet er det et stort energibehov, mens det i andre er et lavere behov. Det er ikke noe system som overvåker om et enkelt tog trekker uvanlig mye strøm. Strømmen blir derfor ikke automatisk kuttet og dette bidrar til at et branntilløp får tilført energi til å utvikle seg.

Alle branntilløpene synes å ha utspring i overslag over isolatorplaten som skiller + og – pol, og som i tillegg bærer slepeskoen, se figur 9. Isolatorplaten er laget av et glassfiber/epoksy basert komposittmateriale, mens slepeskoen er laget av en støpestållegering. Isolatorplaten har en forholdsvis ru overflate.

Slepeskoen henter likestrøm fra en separat strømskinne som løper parallelt med sporet og som har en spenning på 750 Volt DC. Disse strømskinnene er vanligvis framstilt av stål, mens de siste installerte er framstilt av aluminium med en sliteflate av stål. T-banenettet i Oslo har mange strømgap, og dette sammen med en stedvis ujevn kontakt mellom slepesko og strømskinne, gir lokale lysbuer (overslag) når T-banetogene trafikkerer linjene.

## 2.12 Vern i likeretterstasjonene

I tillegg til det integrerte vernet i linjebryterne er det monter 3 vern med forskjellige funksjoner. Beskrivelsen av vernene er hentet fra KTP AS dokument “*Vernfilosofi for linje- og effektbrytere i T-banens likeretterstasjoner*”.

### 2.12.1 Strømstigningsvern

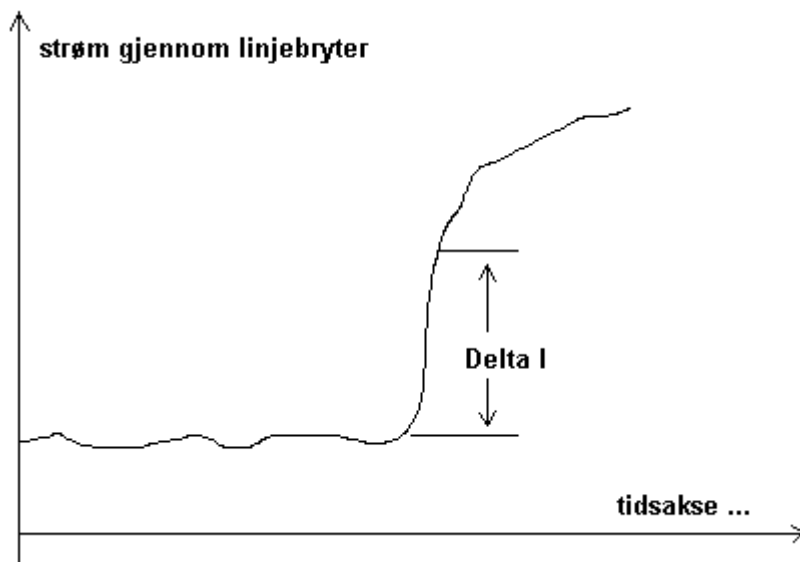
I tillegg til det ordinære elektromagnetiske vernet som ofte sitter integrert i selve linjebryteren, er det vanlig at en tar i bruk tilleggsvern som strømstigningsvern og termisk vern. Et strømstigningsvern vil ofte løse ut en feil tidligere enn hva et ordinært elektromagnetisk vern gjør, og dermed redusere belastningen på linjebryter ifm. kontaktseparasjon. Imidlertid skal en ikke basere seg på strømstigningsvern som det eneste vern (eksklusivt vern), men ha det som supplement til elektromagnetisk vern.

Det er vanlig med en todelt funksjonalitet i slike strømstigningsvern:

- Delta I funksjon
- DI/dt funksjon

#### *Delta I funksjon*

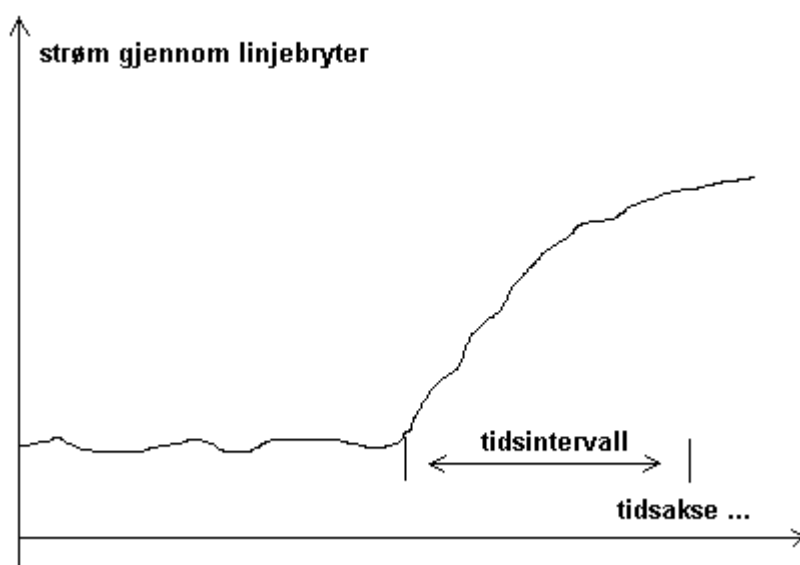
Ved en begynnende steil strømstigning (steilhet over en gitt innstilt verdi), vil vernet registrere strømmen ved *starten av* steilheten. Dersom *strømøkningen* så stiger over en gitt innstilt verdi, vil vernet løse ut.



Figur 20: Delta I funksjon.

*DI/dt funksjon*

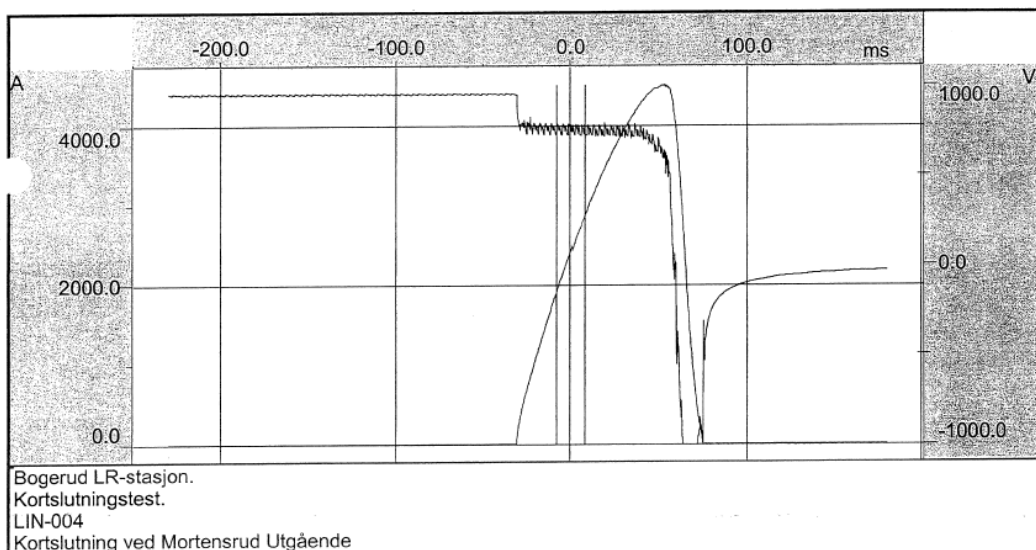
Ved en begynnende steil strømstigning (steilhet over en gitt innstilt verdi), vil vernet starte en tidteller. Dersom så strømstigningen vedvarer tilstrekkelig lenge (lenger enn en gitt innstilt verdi), vil vernet løse ut.



Figur 21: DI/dt funksjon.

Ut fra disse to hovedfunksjoner på strømstigningsvernet finnes det ulike tilleggjusteringer, avhengig av type og fabrikat.

Det er foretatt målinger (kortslutningsprøver v/Siemens) ved nye Bogerud likeretterstasjon. Feilen er pålagt ca. 3 km fra likeretterstasjon. Kurvene brukes for å se på hva som er typisk strømstigning i T-banenettet.



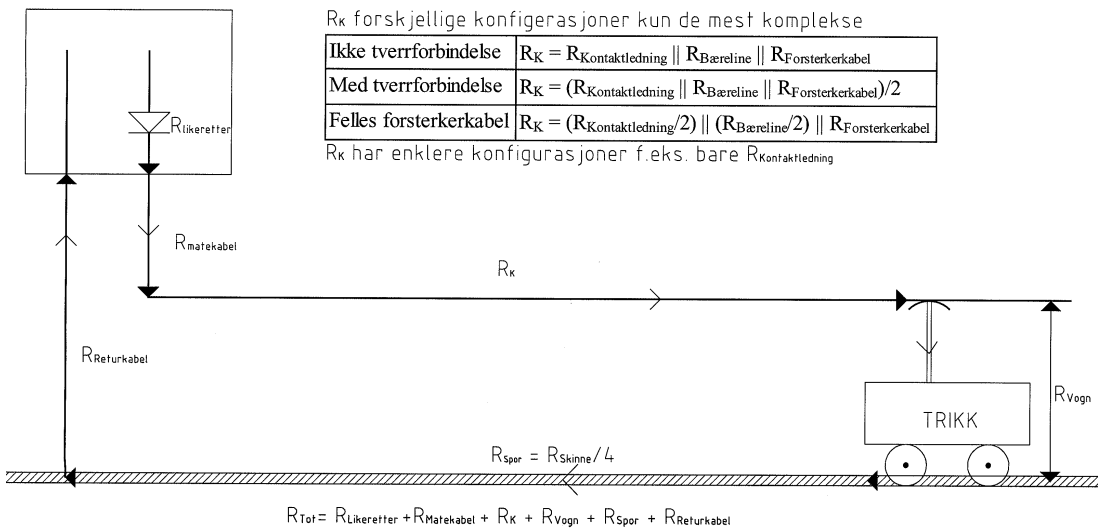
Figur 22: Utskrift av kortslutningstest.

<b>Result of analysis:</b>		
Start of analysis	-7.8	ms
Duration of analysis	15.6	ms
Voltage on trip	770	V
Analysis I max	2870	A
Analysis delta I	2818	A
Analysis duration delta I	0.0	ms
Analysis di/dt	92	A/ms
Analysis duration di/dt	23.0	ms
Analysis gradient	62.0	A/ms

Figur 23: Analyseresultater.

Ser en på kurven og analyseresultatene, kan en trekke ut følgende nøkkeltall:

- Stasjonær kortslutningstrøm: > 4500 A
- Strømstigning initiell: 92 A/ms
- Strømstigning etter ca.30 ms: 62 A/ms



Figur 24: Prinsippskisse for motstand i strømvei mellom likeretter/tog.

### 2.12.2 Overstrømsvern

For å beskytte mot overstrømmer og kortslutninger med større overgangsmotstand (feil med lysbuer etc.), brukes et overstrømsvern med invers- eller konstant tid karakteristikk.

### 2.12.3 Termisk vern

For å beskytte matekabler mot vedvarende *overbelastning* (ikke kortslutning), brukes et termisk vern. På eldre typer er dette som oftest et bimetallrele, mens på nyere vern beregnet temperatur i kontaktledning indirekte og elektronisk (såkalt *thermal image*). Innstillingen av dette vernet vil også være avhengig av type og fabrikkat.

### 2.12.4 Automatisk gjeninnkobling

OTDs gransking av branntilløpet ved Holmen viste at kombinasjonen tosidig mating og automatisk gjeninnkobling etter overstrøm, medvirket til at feilen utviklet seg så lenge før kortslutningen ble koblet fra. Samme er trolig tilfelle for flere av de andre branntilløpene, men her har det vært vanskelig å få frem data fra vernene.

## 2.13 Strømskinner (tredjeskinne)

### 2.13.1 Testkjøring med videofilming

Havarikommisjonen gjennomførte den 12. mars 2010 en testkjøring, hvor det var montert to videokameraer som filmet strømvtagernes kontakt mot strømskinnene mens toget var i trafikk. Et kamera var montert i front på toget og filmet infrastrukturen. Kjøringen ble gjennomført på strekningen Bergkrystallen – Ringen – Østerås, på begge sporene med T-banetog i ordinær trafikk.

### 2.13.2 Montering / kontroll / vedlikehold av strømskinner / tilstand

Strømskinnen monteres med fester og bøyer som forankres til ytterkanten av svillene. Ved ujevn skinnegang vil strømskinnen følge svillenes bevegelse. Autorisert personell skal utføre årlig periodisk ettersyn av strømskinnene. Det er kun kontrollen av isolatorene

på strømskinnene som er S-merket. Dette beskrives i dokument id. K1-T-400-52 for Infrastruktur forvaltning. Avvikene dokumenteres i dokument id. K1-T-400-V-42.

### 2.13.3 Samspill mellom strømavtager og strømskinne

Resultatet etter videofilmingen viste at det oppstod gnister mellom strømavtager og strømskinner under kjøringen. Det oppstod betydelige gnister i form av lysbuer under av- og påløp i strømgapene. Videoen viste også at anløpsflaten som strømavtagerne hadde mot strømskinnen var noe variabel. Strømskinnene var også på enkelte steder noe dårlig justert.

## 2.14 Snørydding rundt strømskinner

OTD har særlig fokus på kontakttrykk fra strømsko mot skinne ved snøfall for å vurdere om det er behov for ekstraordinære tiltak.

Kilde: Snøberedskapsplan Perm 1 Del B. Utdrag: *Det er et mål om at strømsko i nedre posisjon ikke skal gå i snø. Snø kan ryddes ned til 30 mm over skinnetopp. Med underkant strømsko i nedre posisjon 85 mm over skinnetopp vil det være en "buffer" på 55 mm mellom underkant strømsko og ned til topp snøprofil. Dette målet vil være førende for beredskap og når rydding må iverksettes. Hvis snødybde kommer opp til 140 mm over skinnetopp vil fastpunkter på tog gå i snø og ønsket fremkommelighet være i fare.*



Figur 25: Bilde av Snøryddingsmaskin "Kollen trollet". (Foto: KTP Infrapartner)

Antall: 1  
I drift november 2010.

Eier: KTP AS

Bruk/vedlikehold:  
Infrapartner

Bruksområde: Primært for  
etterrydding for å etablere  
definert "snøprofil"

Nedenfor er noen illustrasjoner på utfordringer både i forhold til snø over skinnetopp, og snø rundt og under strømskinnen. På bilde til høyre (figur nr. 21) vises strømavtager som har gått i snø.



Figur 26 og 27: utfordringer med snø mellom skinnnettopp og strømskinne.

## 2.15 Oslo T-banes linjenett

Stor deler av Oslo T-bane går i tunnel. Den sterkest belastede strekningen er fellesstrekningen mellom Majorstuen- og Storo / Hasle / Ensjø, hvor hele strekningen går i tunnel.

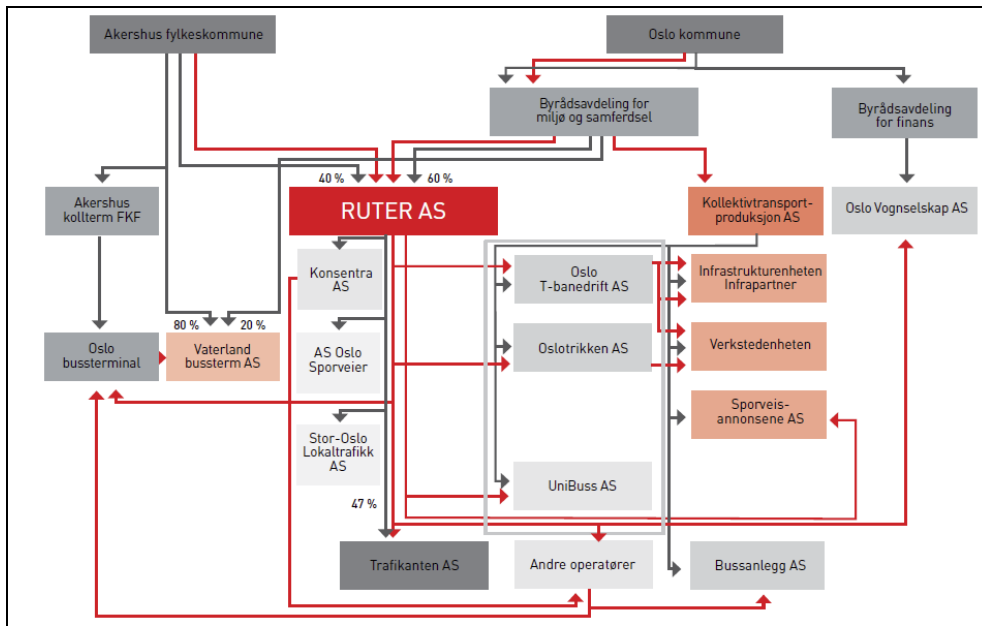
## 2.16 Organisasjon

Organiseringen av kollektivtrafikken i Oslo og Akershus er relativt komplisert. Oslo bystyre har vedtatt å dele Kollektivtransportproduksjon AS (KTP) slik at operatørene skilles ut fra infrastrukturfunksjonene. Ruters oppdrag er å skape et helhetlig kollektivsystem som gir mer kollektivtrafikk for pengene. Selskapet skal forvalte alle pengestrømmer som går til kollektivtransportformål i de to fylkene og sørge for transparens i pengebruken. Ruter er også eierens kompetanseorgan for kollektivtrafikk.

KTP er et produksjonskonsern som er leverandør av kollektivtrafikk i Oslo og Akershus. KTP eier, forvalter, bygger ut og vedlikeholder infrastrukturen for de skinnegående transportformene og forvalter eiendomsmassen. Vedlikehold av skinnegående vognmateriell skjer i regi av Verkstedenheten. Leveransen knyttet til trikk, T-bane og buss gjøres på oppdrag fra Ruter AS gjennom egne kjørekontrakter som forhandles hvert år.

OTDs hovedvirksomhet er persontransport med T-banetog, herunder trafikkstyring, serviceoppgaver og kontrollopgaver. Virksomheten har driftstillatelsen fra Statens jernbanetilsyn. T-banevogner stilles kostnadsfritt til disposisjon av Ruter AS, som har en vognleieavtale med Oslo Vognselskap AS. KTP eier, forvalter, bygger ut og vedlikeholder infrastrukturen for de skinnegående transportformene. KTP er et produksjonskonsern som eies 100 % av Oslo Kommune. OTD kjøper vedlikehold fra henholdsvis Verkstedenheten og Infrastrukturenheten i KTP.

Ansvar for virksomheten er definert i tillatelsesforskriften, og omfatter blant annet at virksomheten drives på en sikkerhetsmessig forsvarlig måte, og at vilkårene som er satt for virksomheten i eller i medhold av lov er oppfylt. Dette innebærer at OTD må kontrollere at KTP, Verkstedenheten samt Oslo Vognselskap AS leverer infrastruktur og rullende materiell i tråd med jernbaneloven med tilhørende forskrifter.



(Eierskap / Pengestrømmer)

Figur nr. 28: Oppbyggingen av kollektivtrafikkvirksomheter eid av Oslo kommune og/eller Akershus fylkeskommune (kilde: Ruter AS årsrapport 2010)



Figur nr. 29: Organisasjonskart for Oslo T-banedrift. (OTD)

OTD har organisert tverrfaglige møter etter at branntilløpene skjedde. I tillegg til sikkerhetsstyringsmøter (driftsoppfølgingsmøter), har det i samarbeid med Siemens blitt jobbet for å finne tiltak for å redusere branntilløp.

## 2.17 Sikkerhetsanalyser og godkjenninger

### 2.17.1 Sikkerhetsanalyser

I MX-3000 prosjektet er det utarbeidet analyser for sikkerhetskritiske funksjoner av Siemens. Disse risikoanalysene ble gjennomgått av Scandpower som en uavhengig aktør uten at de hadde kommentarer til de gjennomførte analysene. I analysen omtales det blant annet hva som kan forårsake overslag og lysbuer, og særlig pekes det på regelmessig inspeksjon og rengjøring som tiltak mot forurensning. Det blir slått fast at isolasjonen er i samsvar med EN50124 – grad PD4, som er egnet for å tåle vann, is, snø og tåke. Likeså påpekes annen forurensning, og dermed også inspeksjon og rengjøring som en del av



løpende vedlikehold. For å unngå lysbuer skal ikke føreren akselerere over strømgap, og strømvtageren skal ikke senkes under kjøring. Det blir videre slått fast at strømvtageren er egnet for tiltenkt bruk, og ikke vil bli overopphetet i drift. Videre blir det slått fast at det er viktig at overstrømsvernet i likeretterstasjonene må være egnet til å koble ut strømmen på alle steder på linjen hvor det foregår trafikk. Risikoanalysene slår fast at det ikke er avdekket risiko som fraråder bruk av den valgte typen strømvtagere.

I forbindelse med endringsmeldingen til Statens jernbanetilsyn angående strømvtageren har OTD utarbeidet en risikovurdering som er oversendt SJT hvor det forventes at endringene vil redusere risiko knyttet til lysbuebranner.

Fare	Risikoendring
<i>Brann: Lysbue oppstår fordi et elektrisk ledende objekt (for eksempel en brusboks) lager overslag fra strømførende deler av strømskoen.</i>	<i>Strømførende deler er mer beskyttet både fra overside og underside, og sannsynligheten for å tenne lysbue med påfølgende brann er redusert.</i>
<i>Brann: Krypstrøm</i>	<i>Lengre strømvei for kryptstrøm gir redusert sannsynlighet for utvikling av overslag og brann.</i>
<i>Brann: Dårlig jording</i>	<i>Ny jordingskabel gir noe større sannsynlighet for at likeretter skal detektere overslag, og at strømmen dermed legges ut før brannen utvikles. Større potensialforskjell kan føre til flere overslag, men det antas at denne negative effekten veies opp av fordelene med at overslagene lettere kan detekteres.</i>
<i>Strømgjennomgang ved fall mellom vogn og plattform</i>	<i>Dersom passasjerer faller mellom vogn og plattform, er det nå noe mindre sannsynlighet for at de vil komme i kontakt med strømførende deler av strømvtageren.</i>

Figur nr. 30: Risikovurdering av endret strømvtager. (kilde: brev til SJT datert 9.4.2010)

### 2.17.2 Statens jernbanetilsyn (SJT)

Statens jernbanetilsyn har hovedansvaret for tilsyn med norsk jernbane, herunder tunnelbane, sporvei og forstadsbane. Statens jernbanetilsyns oppgaver omfatter ikke myndighetsområder som hører inn under andre offentlige kontroll- og tilsynsorganer, som for eksempel Politiet, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap og Arbeidstilsynet.

SJT har godkjent MX-3000 på et overordnet systemnivå, og risikovurderingen av strømvtageren var en del av dokumentasjonen i denne prosessen. Det er OTD som har mest kompetanse på T-banevogner, og SJT vurderte om metodene og løsningene som ble brukt i MX-3000 prosjektet var i henhold til jernbaneloven med tilhørende forskrifter.

I februar 2010 ba SJT i et brev om en redegjørelse fra OTD med bakgrunn i flere hendelser med overslag i strømsko på MX-3000. OTD besvarte brevet til SJT i mars 2010, og dette ble videre fulgt med informasjon om prosessen med å finne en ny løsning, samt melding om endring av strømvtageren.

I begynnelsen av april 2010 hadde OTD klar en endret strømavtager, og søkte om tillatelse til prøvekjøring, noe de fikk av SJT kort tid etter søknaden. Etter endt prøvekjøring ble det i mai søkt om tillatelse til å ta i bruk den endrede strømavtageren på alle MX-3000 tog, noe som ble godkjent av SJT i slutten av juni.

Siste tilsyn SJT hadde med OTD var i september 2009, og det var da fokus på sikkerhetsstyringen i OTD. Det ble funnet 18 avvik i forbindelse med revisjonen, men strømavtager var ikke noe tema i rapporten. I løpet av vinteren 2009/2010 var det rapportert flere hendelser rundt overslag/ lysbue i strømsko på MX-3000. SJT hadde møte med ledelsen i OTD den 1.6.2010 som en del av den regelmessige oppfølgingen. Her redegjorde OTD for hvilke tiltaksplaner de hadde mot overslag i strømsko/ lysbue. SJT viste til at de hadde vært en brå nedgang i antall branner/ branntilløp i mars 2010, noe SJT antok var knyttet til vinterproblematikk. SJT stilte spørsmål om OTD hadde tiltak som rettet seg mot neste års vinter. OTD opplyste at brann/ røykutvikling er høyere i vinterhalvåret også for MX-3000, og opplyste at blant annet renholdsrutiner er skjerpet for å forebygge kryptstrømmer.

### 2.17.3 Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB)

DSB er tilsynsmyndighet for el-tilsynsloven, mens SJT er tilsynsmyndighet for virksomheter som er underlagt jernbanelovgivningen. I denne undersøkelsen betyr det at det er SJT som er tilsynsmyndighet for MX-3000 vognene og infrastrukturen, mens DSB er tilsynsmyndighet for strømleveringen og styring av vern i likeretterstasjonene.

I instruksen til SJT står det under avsnittet om avgrensning at SJT sine oppgaver ikke omfatter myndighetsområder som hører inn under andre offentlige kontroll- og tilsynsoppgaver. Videre står det at SJT skal i nødvendig utstrekning samarbeide med andre myndighetsorganer der dette kan gi en gevinst.

På DSB sine hjemmesider under kategorien jernbane og sporveier blir det spesifikt nevnt at det skal fokuseres på å hjelpe Statens jernbanetilsyn med elsikkerhet.

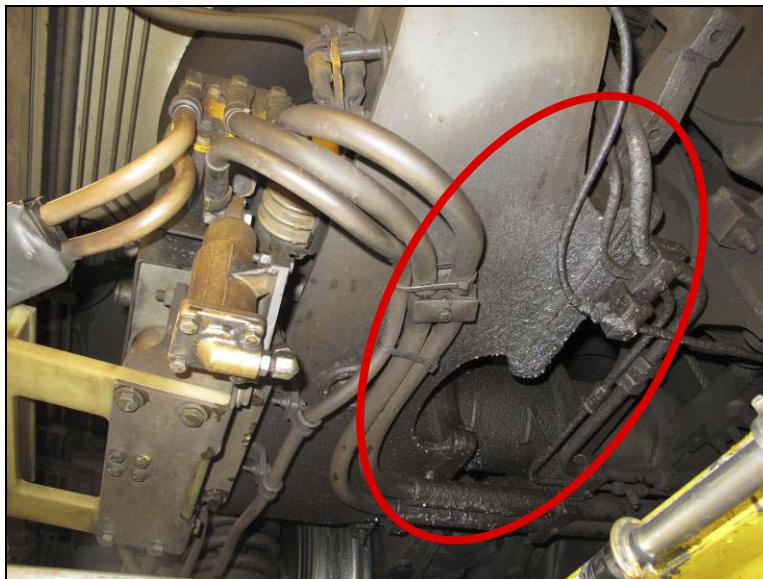
Det finnes ingen samarbeidsavtale/avklaring mellom DSB og SJT som beskriver grensesnittet om hvor den ene tar over for den andre.

Havarikommisjonen er kjent med at DSB i november 2010 har gjort et tilsyn med KTP, og har i denne rapporten fremmet vedtak. Disse omhandler bl.a likeretterstasjoner, vern og strømavtagere. Disse vedtak er under oppfølging av DSB.

## 2.18 Andre funn

I løpet av undersøkelsen ble det oppdaget at det var søl av fett under noen av vognene. Dette var i området bak noen av strømvtagerne.

Det viste seg at dette fettstammet fra flenssmøringen foran og bak på vognene.



Figur 31: Søl etter flenssmøring under vogn 3117. Strømvtageren sees til venstre.

## 3. ANALYSE

### 3.1 Tekniske og operative forhold

Undersøkelsen av strømvtagere ved Forsvarets laboratorietjeneste viser at overflaten av isolatorene er dekket av små metallpartikler i tillegg til mineralske partikler. De metalliske partiklene består i hovedsak av jern og aluminium i tillegg til kalium, kalsium og natrium. Videre framkom et nettverk av brente områder som strålte ut fra innfestningen til slepeskoen. Også nede i disse brente områdene var det metalliske partikler. De brente områdene synes å framkomme ved at små lysbuer har oppstått og medført lokal smelting av isolatorplaten. Varmen har vært betydelig siden glass er smeltet. Det vil dermed være tale om temperaturer opp mot 2000<sup>0</sup> C.

Havarikommisjonen ser at det ligger et betydelig forbedringspotensiale i å detektere og å stanse matingen av strøm så tidlig som mulig. En brann som går over i vognen vil kunne oppstå hvis man får et større overslag mellom positiv og negativ pol med en påfølgende lysbue som når helt over fra slepesko til vogn. Lysbuen vil fortsette å brenne til spenningen kobles fra. Dette vil i de tilfeller strømmen ikke kobler ut automatisk, først skje når trafikkledersentralen blir gjort oppmerksom på problemet og kobler fra kjørestrømmen, eller at vognfører har mulighet til å legge ut strømvtagerne.

Slepeskoen hadde også blitt varmpåvirket slik at stålmaterialer hadde blitt avvirket, samt at strukturen hadde endret seg på grunn av stor varmpåvirkning.

På denne bakgrunnen finner havarikommisjonen det mest sannsynlig at jernpartiklene stammer fra slepeskoen i tillegg til strømskinnen. Avvirkningen synes å være akselerert

av de mange lysbuene og dermed den store varmen som oppstår ved framføring av T-banetoget. Havarikommisjonen anser at problemet ville blitt redusert dersom de lokale lysbuene mellom strømskinne og slepesko hadde vært færre.

Også den rengjorte isolatorplaten hadde mange små metallpartikler i overflaten og nede i de brente områdene. Dette viser at overflatestrukturen er så grov at et enkelt renhold ikke vil være tilstrekkelig for å fjerne de metalliske partiklene. Enkelt renhold vil derfor ikke være noen garanti for å unngå overslag.

Resultatet av vannanalysen viser at eventuell fukt vil ha en god ledningsevne og dermed bidra til å påskynde overslag. Analysen baserte seg på smeltet snø. Prøven inneholdt både klor, kalsium og natrium i tillegg til noe kalium. Dette samsvarer med EDS prøvene fra den ikke rengjorte isolatorplaten. Kalium inngår som bestanddel i rengjøringsmiddel og stammer med stor sannsynlighet fra spill av vaskevann. Klor, natrium og kalsium stammer mest sannsynlig fra passasjerer som har dratt det med seg fra saltede vinterveier. Den målte ledningsevnen er 6-8 ganger større enn ferskvann, men samtidig betydelig lavere enn sjøvann. Hadde denne prøven vært utført med mindre innblanding av ren snø, og mer av ”nedfall” fra passasjerers sko, ville resultatet gitt enda høyere ledningsevne.

Ved innvendig gulvvask av vognene ble vannet og vaskemiddel samlet opp i bøtter, men det kan ikke utelukkes at noe av dette havnet utenfor og ned på strømvogtakerne. Disse er plassert mellom hjulene på boggiene rett under dørene på vognene.

Havarikommisjonen er kjent med at de innvendige vaskerutinene er endret som følge av disse brannene. Havarikommisjonen ser at dette er et positivt bidrag, men det reduserer ikke faren for overslag vesentlig.

SINTEF Energy Research har i ettertid på oppdrag fra Oslo Vognselskap AS (OVS) utarbeidet en mer detaljert rapport med forklaring på mulig årsak som er vedlagt som vedlegg G.

### 3.1.1 Branntilløp

I forhold til strømvogtakerne på de “gamle røde” togsettene hvor hele strømvogtakeren hadde samme spenningspotensiale, har strømvogtakerne på MX-3000 både pluss- og minus potensiale i samme enhet. Det er derfor kort avstand for utvikling av kryptstrømmer og eventuelle lysbuer. Havarikommisjonen mener at dette er uheldig, med tanke på partikler og forurensning som oppstår på grunn av gnistdannelse.

De fleste branntilløpene inntraff under streng kulde, samt under perioder med snø. Snøberedskapsplan har som mål at strømsko i nedre posisjon ikke skal gå i snø. Målet vil være førende for beredskap og når rydding må iverksettes. Hvis snødybde kommer opp til 140 mm over skinnetopp vil fastpunkter på tog gå i snø og ønsket fremkommelighet være i fare. Havarikommisjonen registrerte at det ved flere tilfeller viste seg at strømvogtakerne hadde kjørt i snøen under strømskinnene. Det er derfor viktig at det blir brøytet under strømskinnen så dette unngås.

Før modifiseringen av strømvogtakeren gikk kortslutningsveien gjennom isolerte komponenter og foringer, men dette har nå blitt endret etter at kortslutningslisse ble montert. Dette vil nå føre til at det ved overslag fra pluss til minuspol så vil strømmen

ikke slå over gjennom isolerte komponenter, men går direkte mot vognens jordpotensiale og ”kortslutningsveien” blir gunstigere.

I løpet av undersøkelsen ble det oppdaget søl fra flensesmøring under vogner. Fettet befant seg i området like bak strømvtagere. Flensesmøringen sprutes på hjulflens ved hjelp av dyser som rettes mot hjulene. Hvis ikke disse er korrekt innstilt eller har kommet ut av stilling, kan smørefettet komme på steder det ikke skal være. Havarikommisjonen mener at når fettet fester seg under vognen, like ved strømvtageren, så er dette uheldig. Gnister og branntilløp fra strømvtagere kan medvirke til å antenne fett, og bidra til å eskalere branner. Havarikommisjonen presiserer at det er viktig at det utføres tiltak som sikrer at det ikke oppstår branntilløp i tunneler, da dette kan få alvorlige konsekvenser for de reisende.

Havarikommisjonen har hatt bistand fra Nemco og FLO med undersøkelsen av opphengsisolatorene. Disse undersøkelsene ga ingen klare svar på hva som hadde forårsaket strømoverslagene, Feilene inntraff på de tidligst leverte togsettene.

FLOs rapport konkluderte med:

*Basert på de utførte undersøkelsene kan det ikke gis noen entydig beskrivelse av hvordan kortslutningene av isolatorene oppstår. Det er ikke observert antydninger til smelting av metallkjernene i brukt isolator uten observerte sprekker og det er ikke fremprovosert sprekkdannelser ved de termisk/mekaniske testene ved Nemko.*

*Det er observert en sprekkindikasjon som tyder på at denne har oppstått som følge av trykk fra innsiden av isolatoren og vi vil med bakgrunn i dette foreslå at det utføres videre undersøkelser hvorvidt sprekkdannelser kan oppstå som følge av vanninntrenging eller som følge av ulik termisk utvidelse mellom det metalliske kjernematerialet og det isolerende epoxy materialet.*

Oslo T-banedrift AS har endret vedlikeholdsprogrammet på denne komponenten og følger selv opp dette videre. Feil på disse er sannsynligvis ikke like sikkerhetskritiske som branntilløpene i strømvtagerne, da feil på disse har koblet ut strømmen og ikke forårsaket branntilløp, men driftsstans. Havarikommisjonen har ikke gått dypere inn i undersøkelsen av denne komponenten.

## **3.2 Bakenforliggende forhold**

### **3.2.1 Forhold relatert til bestilling av MX-3000**

Bestillingen og spesifikasjonen i anbudsdokumentet var utformet som en funksjonsbeskrivelse med krav til virkemåte, samt at det var leverandørens ansvar å få toget godkjent av myndighetene. Spesifikasjonen inneholdt ikke en detaljert beskrivelse av hvordan strømforsyningen til vognen teknisk sett skulle vært bygget. Dette ble overlatt til leverandøren å lage i henhold til den eksisterende infrastrukturen for strøm via tredjeskinne. Etter at Siemens ble valgt som leverandør utarbeidet de dokumentasjon for beskrivelse og risikoanalyse av den valgte løsningen av strømvtagere. Risikoanalysen ble igjen vurdert av firma Scandpower som ikke hadde noen bemerkninger til analysen.

I bestillingen av MX-3000 var det et kriterie at 0 serien, prøvetogene, skulle kjøres i minst 60 dager i vintersesongen for å testes i norske forhold. Disse 60 dagene skulle

gjennomføres i perioden desember til februar. Det ble ikke rapportert om problemer med strømavtakerene i testperioden.

Havarikommisjonen mener at bestillingen, risikoanalysene og testingen av strømavtageren til MX-3000 er utført på en god måte, og problemene med strømavtageren har oppstått etter lengre drift enn testperioden på 60 dager klarte å avdekke.

### 3.2.2 Forhold relatert til sikkerhetsstyring og ledelse

Organiseringen av kollektivtransporten i Oslo og Akershus er relativt komplisert. Dette er også omtalt i rapport om alvorlig hendelse på Slemdal som skjedde den 19. september 2010, hvor havarikommisjonen sier følgende:

“Havarikommisjonen mener at den kompliserte organiseringen hvor eierforhold, pengeflyt og driftstillatelse ikke har samme plass i hierarkiet kan skape usikkerhet om hvem som har ansvaret.”

Havarikommisjonen har også i rapport JB 2010/07 (Sinsen) avdekket at samarbeidet og samhandlingen mellom alle involverte parter ikke fungerer optimalt. I denne rapporten pekes det på at de interne rutineene bør forbedres slik at alle operative avdelinger og involverte parter får tilstrekkelig informasjon vedrørende alle forhold av betydning for OTD sin virksomhet.

Når det gjelder strømavtakerene til MX-3000 er dette systemet avhengig av at vernene i likeretterstasjonen slår ut ved overbelastninger. Det er KTP som eier infrastrukturen til T-banen, og som er ansvarlig for strømtilførselen til vognene. Det er derfor viktig at man har god intern dialog i grensesnittet infrastruktur/ vogn rundt de tiltak som skal forhindre at overslag/ lysbue i strømavtager kan utvikle seg til noe mer alvorlig.

Havarikommisjonen har i denne undersøkelsen hatt noen utfordringer med å finne frem til de riktige ansvarlige for innstillinger av vern i likeretter stasjonene. OTD har i ettertid opplyst at Banesjefen i infrastrukturenheten i KTP, ved sakkyndig driftsleder el-anlegg, er ansvarlig for innstilling av vernene.

Havarikommisjonen er fremdeles av den oppfatning at OTD, som har driftstillatelsen for infrastrukturen og fremføring av MX-3000, har utfordringer rundt intern kommunikasjon i den kompliserte organiseringen av T-banen i Oslo og Akershus.

### 3.2.3 Forhold relatert til driftstillatelse og myndighetsgodkjenning

Det er Statens jernbanetilsyn som har godkjent MX-3000, etter regelverket som omfattes i jernbanelovgivningen. Det er et omfattende regime for godkjenning av nytt materiell, og SJT har påsett at dette ble fulgt opp i bestillingen av MX-3000. SJTs oppgave er å påse at anskaffelsen av nytt materiell følger en bestemt metode som er beskrevet i jernbanelovgivningen. Det er ikke meningen at SJT skal sette seg inn i alle detaljer, da det er den overordnede prosessen SJT overvåker. Det ble ikke oppdaget noen problemer med strømavtagerne i risikoanalysene, eller i testperioden som ga grunnlag for at disse ikke skulle være egnet. Problemene med strømavtagerne oppstod etter en stund, og når temperaturen var under -20 °C og mye snø. SJT sendte brev til OTD dagen etter at havarikommisjonen utga den foreløpige rapporten om branntilløp i strømavtagerne den 23.2.2010. SJT har fulgt opp saken rundt problemene med strømavtagerne etter dette.

DSB var ikke involvert i godkjenningsprosessen rundt strømavtakerene, ettersom dette er en komponent på vogna. Havarikommisjonen mener at DSB burde vært involvert, ettersom det er et grensesnitt til DSBs fagmyndighet når det gjelder elsikkerhet.

#### 3.2.4 Forhold relatert til opplæring og kjørestil

I rapport om “mykkjøringsprosjektet” er det beskrevet at fører skal redusere pådrag før strømgap. I brukerhåndbok for MX-3000 står det også at fører bør unngå å akselerere toget over strømgap for å minimere lysbuedannelse på strømavtagerne.

Havarikommisjonen mener at det er bra tiltak, men at det ikke kan forventes at førene til enhver tid skal klare å holde fokus på, og beherske dette, da togene stadig kjører i strømgap. Dette er spesielt utfordrende ved kjøring i tunneler, i mørke og vanskelige værforhold.

## **4. KONKLUSJON**

Undersøkelsen fram til den foreløpige rapporten avdekket følgende tre områder som var gjenstand for videre undersøkelser: Tekniske undersøkelser av strømavtageres plassering og konstruksjon, vedlikeholdsoppfølging og strømforsyningssystemet for 750 Volt DC. Dette har blitt belyst i denne temarapporten.

Havarikommisjonen vurderer at selv om det har blitt færre branntilløp etter at strømavtageren har blitt modifisert, virker det som om denne løsningen ikke er fullgod. Selv om ettersyn og vedlikehold har blitt forsterket, oppstår det fortsatt gryende tilløp til lysbuedannelser i isolasjonsplatene.

Når det gjelder strømskinnene og samspillet til strømavtagerne avdekket videofilmingen under kjøring av tog at det er forbedringspotensialer knyttet til ettersyn og vedlikehold på dette området.

## **5. GJENNOMFØRTE TILTAK**

Etter de tre første branntilløpene ble det umiddelbar gjennomført endringer av rutine ved innvendig vasking av vognene. Vaskevannet blir nå samlet opp slik at dette ikke påføres strømavtagerne.

Det ble også satt opp presenninger på gjerdet mellom ring 3 og oppstillingsplassene nærmest veibanen ved Ryen verksted. Dette ble gjort for at saltpartikler som ble virvlet opp fra veibanen på E 6 ikke skulle påføres strømavtagerne.

Det er gjennomført modifiseringer på strømavtagerne til MX-3000. Det har foregått en kontinuerlig utskifting til ny modifisert utgave. Disse var skiftet på alle togsett innen utgangen av oktober 2010. Totalt 83 togsett med åtte strømavtagere på hvert togsett. Denne løsningen har vist seg å være bedre med hensyn til sammenstøt med fremmedelementer som ligger i området ved strømskinnene.

Sliping av skadde isolasjonsplater opphørte. Plater som har synlige skader blir skiftet ut med nye.

Det ble også montert en jordingsforbindelse på baksiden av strømvtageren (se figur 12). Dette fører til at strømmen ved overslag fra pluss til minuspol ikke vil slå over gjennom isolerte komponenter, men ledes direkte mot vognens jordpotensiale. Det dannes derfor en direkte ”kortslutningsvei”.

Kontroll og vedlikeholdsrutiner har blitt endret. Det blir utført hyppigere kontroller og vedlikehold av strømvtagere og opphengsisolatorer.

2 vogner er siden mars 2011 i prøvedrift med siliconbelagte strømvtagerplater.

Det skal monteres nye strømsko av kobber i en prøveperiode. Dette har vært i bruk ved T-banen i Helsinki og har vist seg å være vellykket. Slitasjen på disse er mindre enn på stålsko.

OVS har gitt SINTEF oppdrag om å utarbeide en rapport på bakgrunn av tidligere rapporter og funn. Havarikommisjonen viser til denne rapporten som ligger som vedlegg G.

OVS har utarbeidet en rapport med et sammendrag av problemene med strømvtagere, og historikken på hva som er gjort. Denne ligger som vedlegg H.

Havarikommisjonen registrerer at det har blitt gjennomført positive tiltak og utbedringer i løpet av undersøkelsen.

## 6. SIKKERHETSTILRÅDINGER

Havarikommisjonen fremmet følgende umiddelbare sikkerhetstilråding i den foreløpige rapporten.

*Det har vært gjentatte tilfeller av overslag i strømvtagersystemet som har ført til branntilløp og røykutviklinger. Dagens tekniske løsning knyttet til strømvtagere og strømgap i strømskinnene muliggjør overslag og lysbue med påfølgende mulighet for brann. Siden strømmen ikke automatisk kobles ut kan branntilløp få utvikle seg. Risikopotensialet knyttet til dette, og spesielt inne i en tunnel er stort.*

*Havarikommisjonen tilrår Statens jernbanetilsyn å pålegge Oslo T-banedrift AS å vurdere å innføre løsninger som kan forhindre at strømvtagere fører til at branner oppstår.*

I tillegg fremmer Statens havarikommisjon for transport følgende sikkerhetstilråding.<sup>3</sup>

### **Sikkerhetstilråding JB nr. 2011/15T**

Gjentatte tilfeller av branntilløp i den opprinnelige type strømvtagere førte til utvikling av en forbedret strømvtagere. Havarikommisjonen ser at denne løsning fortsatt ikke er optimal.

---

<sup>3</sup> Undersøkelserapport oversendes Samferdselsdepartementet, som treffer nødvendige tiltak for å sikre at det tas behørig hensyn til sikkerhetstilrådingene, Jf. forskrift 31. mars 2006 nr. 378 om offentlige undersøkelser av jernbaneulykker og alvorlige jernbanehendelser m.m. (jernbaneundersøkelserforskriften) § 16.



Havarikommisjonen tilrår Statens jernbanetilsyn å oppfordre Oslo T-banedrift AS til å vurdere løsninger for å unngå krepstrømmer og overslag som kan føre til branntilløp, spesielt med fokus på strømvtagere på MX-3000 vognene.

Statens havarikommisjon for transport

Lillestrøm, 7. november 2011

## **REFERANSER**

Styringsystem og interaktiv dokumentasjon for Oslo T-banesystem

## **VEDLEGG**

Vedlegg A: Video fra testkjøring med strømsko mot tredjeskinne (Highlights)  
(Tilgjengelig på <http://www.aibn.no/Jernbane/Rapporter/2011-09>)

Vedlegg B: NIVA rapport

Vedlegg C: FLO rapport 1. Undersøkelse av overslag i strømsko

Vedlegg D: FLO rapport 2. Undersøkelse av isolasjonsmateriale i strømsko etter sliping

Vedlegg E: Nemko rapport. Belastning og test av opphengsisolator

Vedlegg F: FLO rapport 3. Røntgenundersøkelse av opphengsisolator

Vedlegg G: SINTEF rapport. Årsaksforklaring med lysbuer og evaluering.

Vedlegg H: OVS rapport. Sammendrag av problemer med strømavtagere.



Norsk institutt for vannforskning

Statens Havarikommisjon for Transport  
Att: Kåre Halvorsen  
Postboks 213  
2001 Lillestrøm

## Hovedkontor

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Telefon: 22 18 51 00  
Telefax: 22 18 52 00  
Bankgiro: 5010 05 91828  
SWIFT: DNBANOKK  
Foretaksnr.: 855869942  
www.niva.no  
niva@niva.no

*Deres referanse*  
Kåre Halvorsen

*Deres brev av*

*Vår referanse*

*Dato*

09.02.2010

*J.nr.*

*S.nr. O 10008 04*

*Rekv.nr.2010-156*

## Vurdering av vannprøve

Vedlagt følger en analyserapport som gjengir resultatene for prøver mottatt ved NIVAs laboratorier. Dato for registrering av prøvene og laboratoriets rekvisisjonsnummer fremgår av rapporten. Rekvisisjonsnummeret benyttes ved henvendelse til laboratoriet.

En oversikt over analyseusikkerheten for de aktuelle analyser kan fås ved henvendelse til laboratoriet.

Med vennlig hilsen

**NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING**

Eirin Pettersen  
Master of Science  
Direkte linje +47 982 94 096  
E-Mail eirin.pettersen@niva.no

Norsk  
Institutt  
for  
Vannforskning

Gaustadalléen 21  
0349 Oslo  
Tel: 22 18 51 00  
Fax: 22 18 52 00

# ANALYSE RAPPORT



Navn **Statens Havarikommisjon for Transport**  
Adresse **Postboks 213  
2001 Lillestrøm**

**Deres referanse:**

Kåre Halvorsen

**Vår referanse:**

Rekv.nr. 2010-156

O.nr. O 10008 04

**Dato**

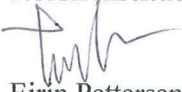
09.02.2010

Prøvene ble levert ved NIVAs laboratorium av oppdragsgiver, og merket slik som gjengitt i tabellen nedenfor. Prøvene ble analysert med følgende resultater (analyseusikkerhet kan fås ved henvendelse til laboratoriet):

Prøvenr	Prøve merket	Prøvetakings- dato	Mottatt NIVA	Analyseperiode
1	Vann(snø) fra strømvatn 3123		2010.02.01	2010.02.02-2010.02.08

Analysevariabel	Enhet	Prøvenr		1
		Metode		
Ammonium	µg N/l	C 4-3		4800
Nitrat	µg N/l	C 4-3		730
Klorid	mg/l	C 4-3		24,8
Sulfat	mg/l	C 4-3		13,6
Fluorid	µg/l	C 4-3		33
Kalsium	mg/l	C 4-3		1,96
Kalium	mg/l	C 4-3		0,57
Magnesium	mg/l	C 4-3		0,60
Natrium	mg/l	C 4-3		17,3
Ledningsevne	mS/m	A 2-1		16,2
Surhetsgrad	pH	A 1-1		6,83

Norsk institutt for vannforskning



Eirin Pettersen  
Master of Science



FLO/TV/LHK

# Forsvarets laboratorietjeneste

## Analytisk laboratorium

### Kjemi og materialteknologi

Oppdragsgiver <b>SHT v/ Kåre Halvorsen</b>		<b>Teknisk Rapport</b>	
Gjenpart		Oppdragsgivers referanse Dok.nr. A6Z00000663530	
Tittel <b>Undersøkelse av overslag i strømvtagere til MX 3000</b>			
Rapportnr 100208.03	Dato for mottak av oppdrag 2010-01-29	Dato for utgivelse 2010-02-08	
Jobbnr / Prøvenr M-10-023	Antall sider 8	Antall vedlegg -	
Utarbeidet av Øyvind Frigaard 	Verifisert av	Sjef Analytisk laboratorium Tor Arne Gustavsen 	
<b>Sammendrag</b> Forsvarets laboratorietjeneste, kjemi og materialteknologi, mottok komponenter til strøm avtager på MX 3000 i forbindelse med mulig overslag og brann. Det ble utført visuelle undersøkelser, undersøkelser med EDS i SEM og metallografi. <b>Konklusjon</b> Basert på de utførte undersøkelsene konkluderes følgende: Isolasjonsmaterialet til den mottatte strømvtageren til MX 3000 viser tydelig tegn på overslag, smelting av glassfibertrådene i isolasjonsmaterialet er tydelig tegn på betydelig lokal oppvarming. Overslaget har trolig oppstått som følge av avsetninger bestående av jernholdige partikler, veisalt og såpe på isolasjonsmaterialet. Avsetningene har ført til at overflaten til isolasjonsmaterialet har blitt strømledende med overslag som følge. Jernpartiklene stammer trolig fra slepeskoen som består av et kulegrafittjern. Strukturendringer i slepeskoen viser også at denne har vært utsatt for høye temperaturer.			

Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Analytisk laboratorium.

Laboratoriet er akkreditert i henhold til NS-EN ISO/IEC 17025.

Det er kun resultater merket med A som er omfattet av akkrediteringen.

**Postadresse :**

FLO/TV/LHK Analytisk laboratorium  
Postboks 10  
N-2027 KJELLER

**Vareadresse**

FLO/TV/LHK Analytisk laboratorium  
Fetveien 80-84  
N-2027 KJELLER

**Telefon :**

+47 63 80 87 41  
Mil: 505 8741

**Telefax :**

+ 47 63 80 87 58  
Mil: 505 8758

## 2 Innledning

Forsvarets laboratorietjeneste, kjemi og materialteknologi, mottok komponenter til strømavtager på MX 3000 i forbindelse med mulig overslag og brann, Figur 1.

Det ble utført visuelle undersøkelser, undersøkelser med EDS i SEM og metallografi.



Figur 1 Oversiktsbilde av komponenter mottatt ved laboratoriet.

### 3 Resultater

Visuell undersøkelse av isolasjonsmaterialet viste tydelige brennmerker, Figur 2. Videre undersøkelser i stereo lysmikroskop avdekket smelteperler i svimerkene, Figur 3a-d. Som det fremgår av Figur 2 var isolasjonsmaterialet dekket av et tynt lag med støv. En karbonteip ble trykket mot overflaten til isolasjonsmaterialet og støvet avsatt på karbonteipen ble undersøkt nærmere i SEM med EDS. Som det fremgår av Figur 4 inneholder støvet betydelige mengder jern i tillegg til mineralske partikler og salt.

Smelteperler fra svimerkene ble tatt ut for videre undersøkelse i SEM med EDS, se Figur 5 og Figur 6, bildene viser at isolasjonsmaterialet består av glassfiber. Temperaturen i det aktuelle området har vært så høy at glassfiberne har begynt å smelte. Det kan også observeres støv mellom fibrene som inneholder kalsium, jern og spor av kalium. Sannsynlige kalsium og kalium kilder er hhv. veisalt og såpe.

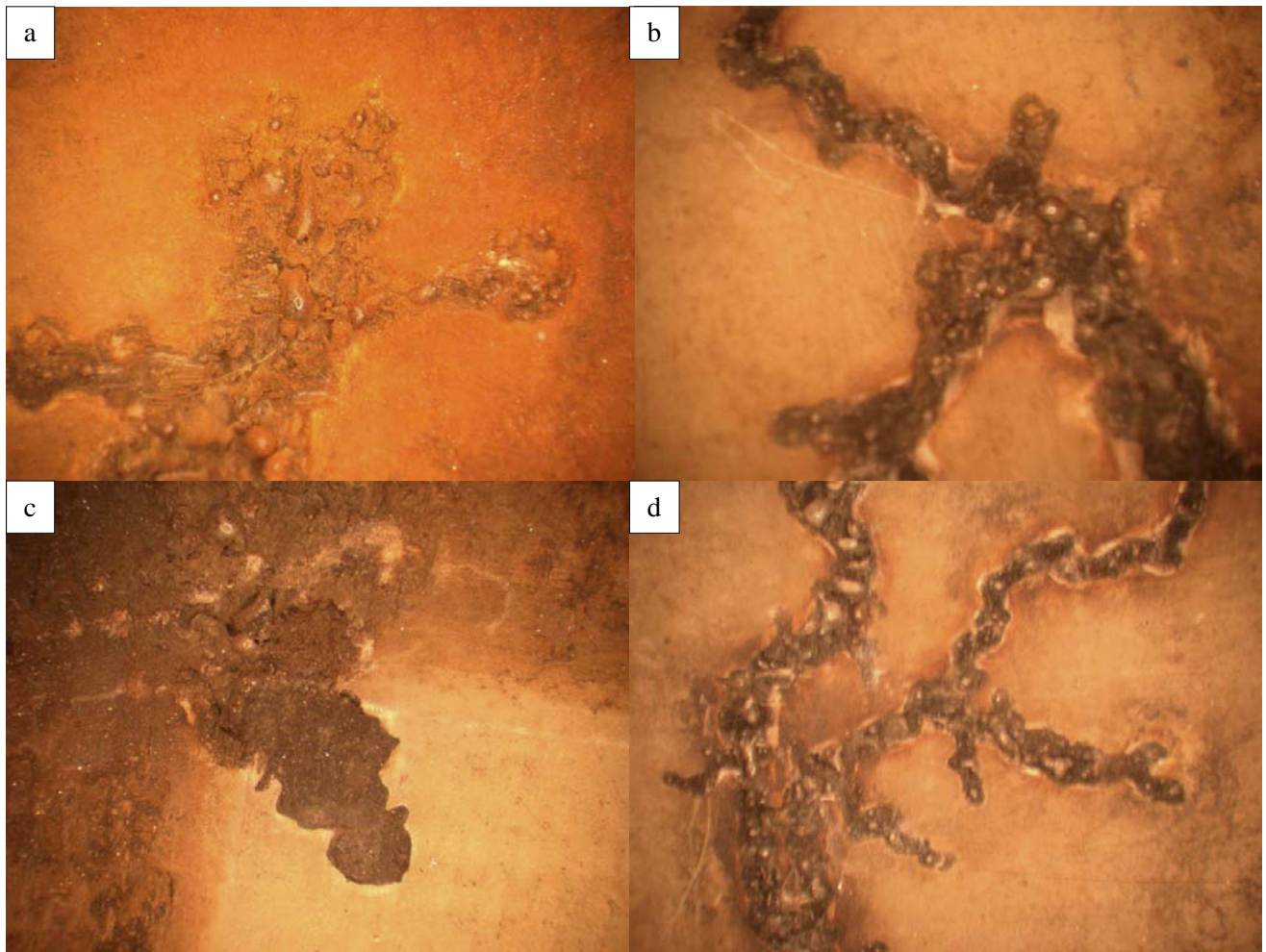
En sannsynlig kilde til det observerte jernet var slepeskoen og en bit av slepeskoen ble tatt ut for metallografiske undersøkelser, se Figur 7a. Mikrostrukturbildene i Figur 7b vise strukturen i grunnmaterialet til slepeskoen og påviser kulegrafitt/seigjern. Ut mot overflaten kunne det observeres herdestruktur (martensitt), Figur 7c, som viser at slepeskoen har vært utsatt for temperaturer i området 750-1100°C. Dette ble bekreftet ved hjelp av hardhetsmålinger som viste en hardhet på 300HV<sub>1,0</sub> i grunnmaterialet og en hardhet opp mot 540 HV<sub>1,0</sub> ut mot overflaten.

EDS spekteret i Figur 8 fra grunnmaterialet til slepeskoen viser oppløsing med silisium og kobber som er forenlig med et kulegrafittjern.

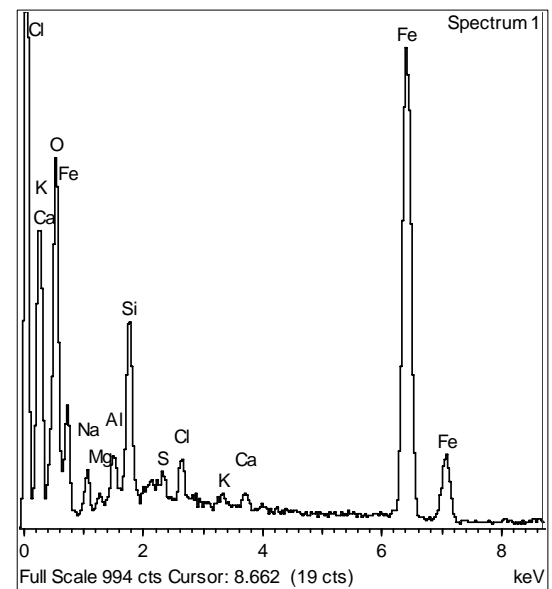
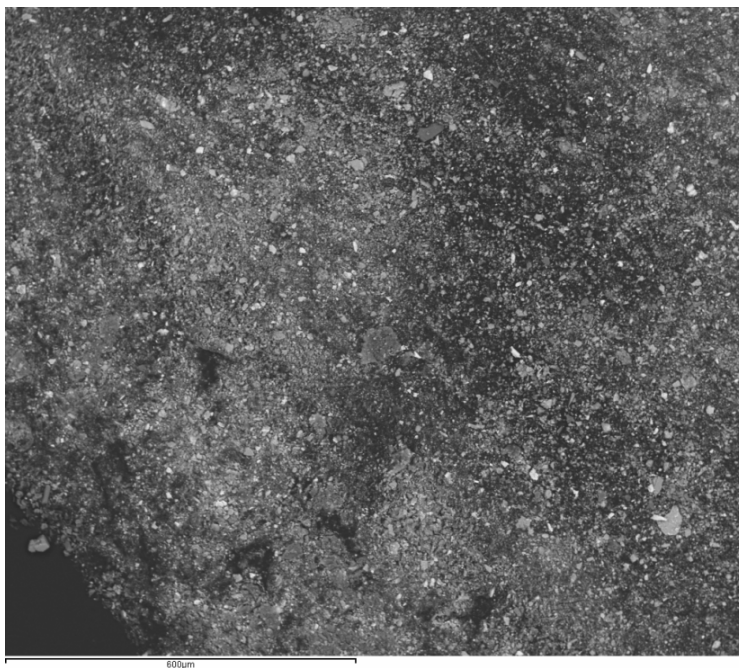


Figur 2 Bilde av isolasjonsmaterialet med spor av mulig overslag.

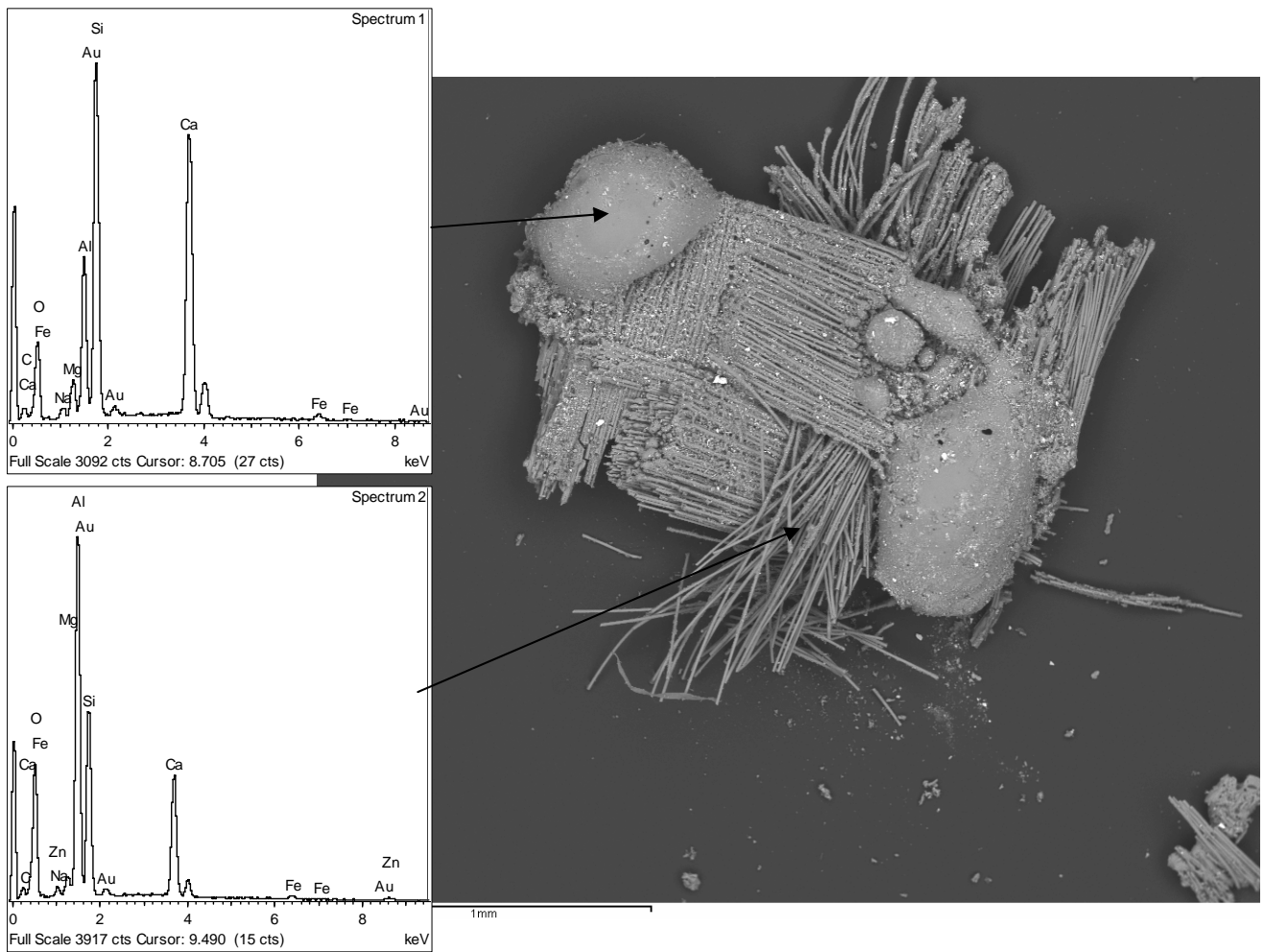




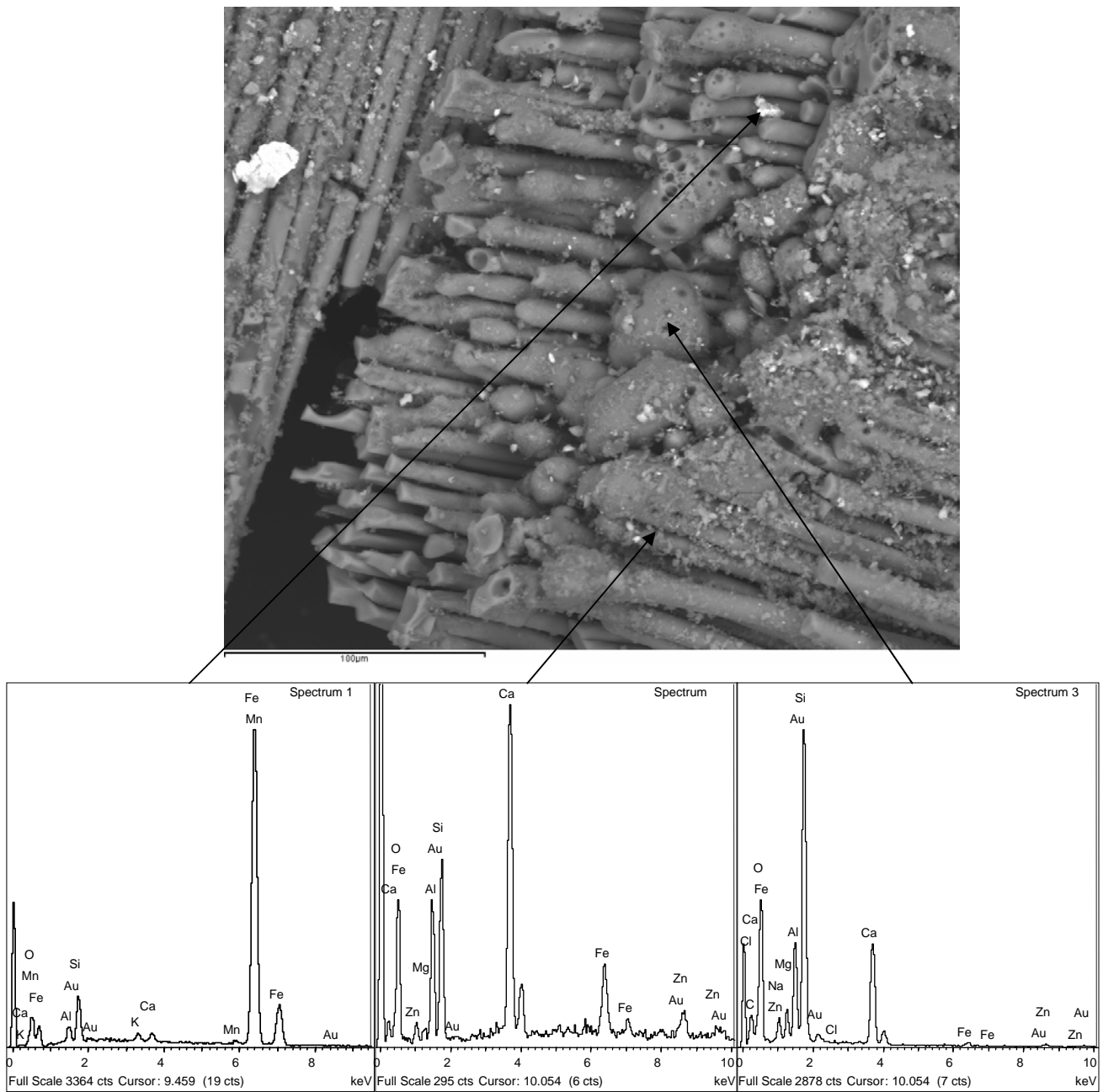
Figur 3a-d Bilder i stereo lysmikroskop av svimerker med smelteperler etter mulig overslag.



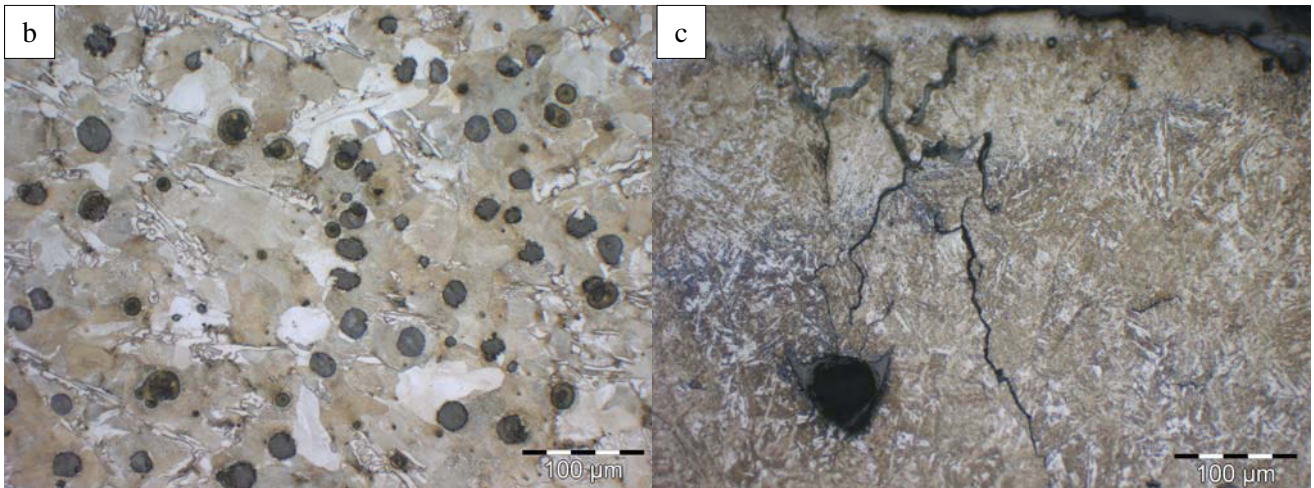
Figur 4 Bilde i SEM av partikler avsatt på karbonteip fra belegg på overflaten av isolasjonsmaterialet. EDS spekter viser at avsetningene blant annet inneholder jern, mineralske partikler, kalsium, kalium og klor.



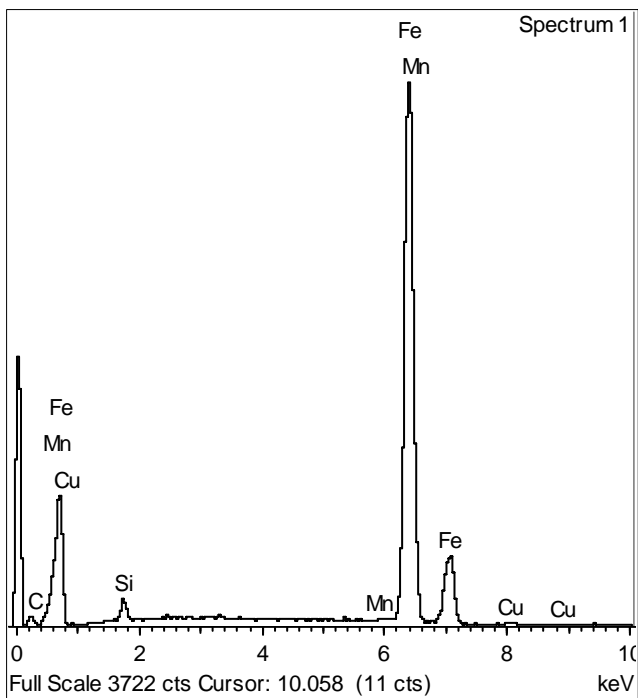
Figur 5 Smelteperle tatt ut fra område med svimerke. EDS spektrene viser at isolasjonsmaterialet består av glassfiber. Det kan i tillegg observeres kalsium og spor av jern.



Figur 6 Bilde i SEM (BEI) ved høyere forstørrelse av isolasjonsmaterialet i område med svimerke. Det kan observeres smelting av glassfibre og betydelig mengder med partikler som i hovedsak inneholder kalsium og jern.



Figur 7a: Bilde av slepesko (prøveuttaket for metallografi er angitt med rødt rektangel i bildet). b: Bilde av mikrostruktur i grunnmaterialet tilsvarer kulegrafittjern, c: Viser strukturendring (herdestruktur) med sprekkdannelse ut mot overflaten.



Figur 8 EDS spekter fra grunnmaterialet til slepesko, oppløring med silisium og noe kobber er forenlig med den observerte strukturen i Figur 7b.

## 4 Konklusjon

Basert på de utførte undersøkelsene konkluderes følgende:

Isolasjonsmaterialet til den mottatte strømvtageren til MX 3000 vise tydelig tegn på overslag, smelting av glassfibertrådene i isolasjonsmaterialet er tydelig tegn på betydelig lokal oppvarming.

Overslaget har trolig oppstått som følge av avsetninger bestående av jernholdige partikler, veisalt og såpe på isolasjonsmaterialet. Avsetningene har ført til at overflaten til isolasjonsmaterialet har blitt strømledende med overslag som følge.

Jernpartiklene stammer trolig fra slepeskoen som består av et kulegrafittjern. Strukturendringer i slepeskoen viser også at denne har vært utsatt for høye temperaturer.


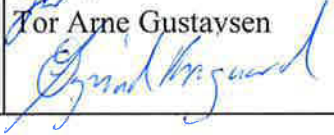


FLO / TV / LHK

# Forsvarets laboratorietjeneste

## Analytisk laboratorium

### Kjemi og materialteknologi

Oppdragsgiver <b>SHT v/ Kåre Halvorsen</b>		<b>Teknisk Rapport</b>	
Gjenpart			
Tittel <b>Undersøkelse av isolasjonsmaterialet til i strømavtager til MX 3000 etter sliping</b>			
Rapportnr 100412.01	Dato for mottak av oppdrag 2010-03-19	Dato for utgivelse 2010-04-12	
Jobbnr / Prøvenr M-10-097	Antall sider 5	Antall vedlegg -	
Utarbeidet av Øyvind Frigaard 		Sjef Analytisk laboratorium Tor Arne Gustavsen 	
<b>Innledning</b> <p>Forsvarets laboratorietjeneste, kjemi og materialteknologi, mottok isolasjonsmaterialet til strømavtager til MX 3000. Oppdragsgiver ønsket undersøkt overflatebeskaffenheten til isolasjonsmaterialet etter at denne var slipt for å fjerne støv og avsetninger.</p> <p>En bit av isolasjonsplaten ble kappet ut, Figur 1, for videre undersøkelser i SEM utstyrt med EDS.</p>			
<b>Resultater</b> <p>Et bilde av isolasjonsmaterialet i et ubehandlet område er vist i Figur 2. Som det fremgår av bildet trenger bunter av glassfibre opp av overflaten i enkelte områder, overflaten fremstår for øvrig som relativt plan.</p> <p>Et bilde av isolasjonsmaterialet i et slipt område er vist i Figur 3. Det fremgår av bildet at overflaten er meget ru, og består av avrevne glassfibre. Videre undersøkelser påviser partikler i overflaten, disse var både metalliske og mineralske, Figur 4. Det kunne også observeres en tendens til at partikler samlet seg på avrevne fibre som vist i Figur 5. De observerte partiklene er mest sannsynlig påført under slipeprosessen.</p>			
<b>Konklusjon</b> <p>Det virker med bakgrunn i overnevnte observasjoner rimelig å anta at den slipte overflaten har større affinitet til partikler sammenlignet med den ubehandlede overflaten.</p>			

Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Analytisk laboratorium.

Laboratoriet er akkreditert i henhold til NS-EN ISO/IEC 17025.

Det er kun resultater merket med A som er omfattet av akkrediteringen.

**Postadresse :**

FLO/TV/LHK Analytisk laboratorium  
Postboks 10  
N-2027 KJELLER

**Vareadresse**

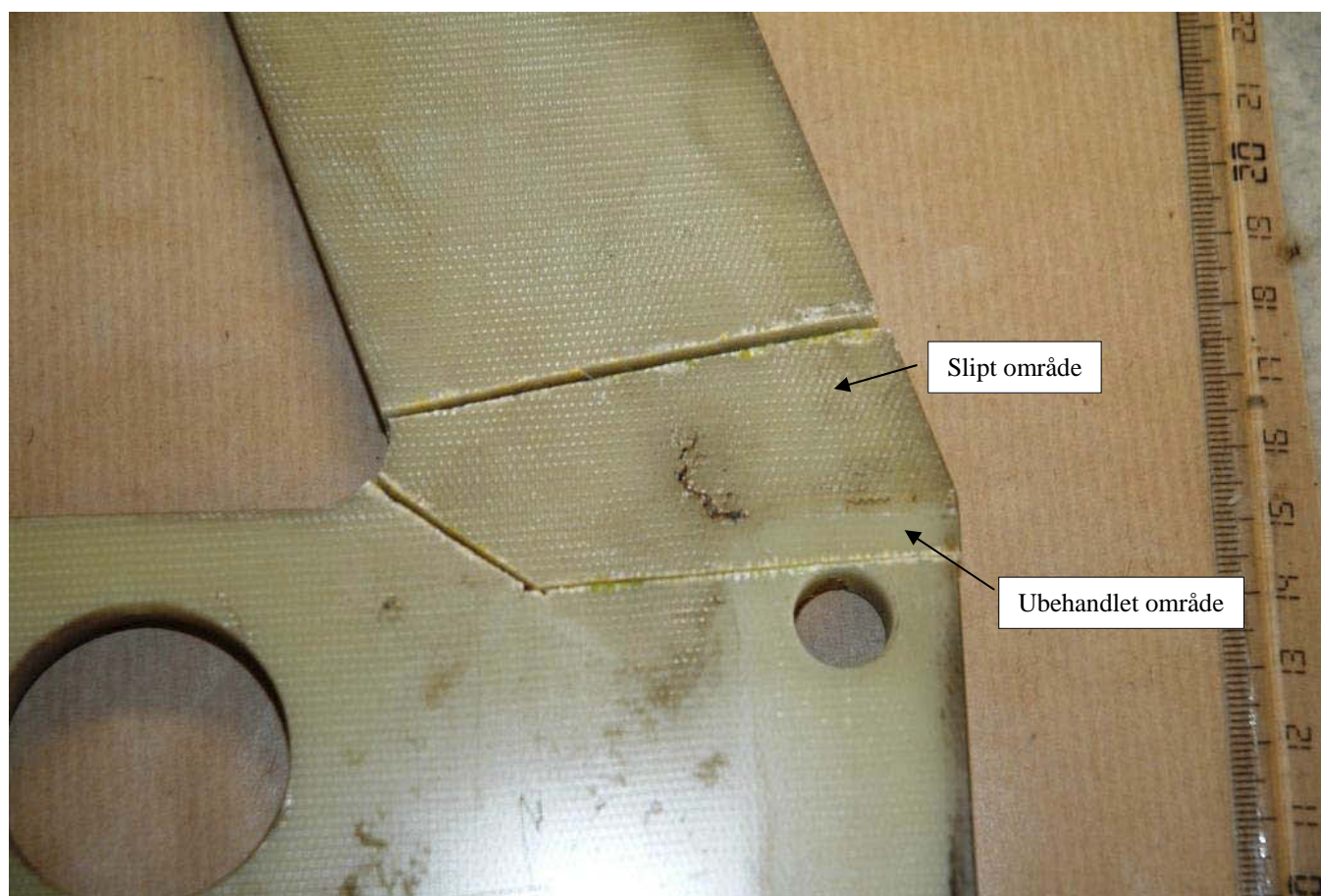
FLO/TV/LHK Analytisk laboratorium  
Fetveien 80-84  
N-2027 KJELLER

**Telefon :**

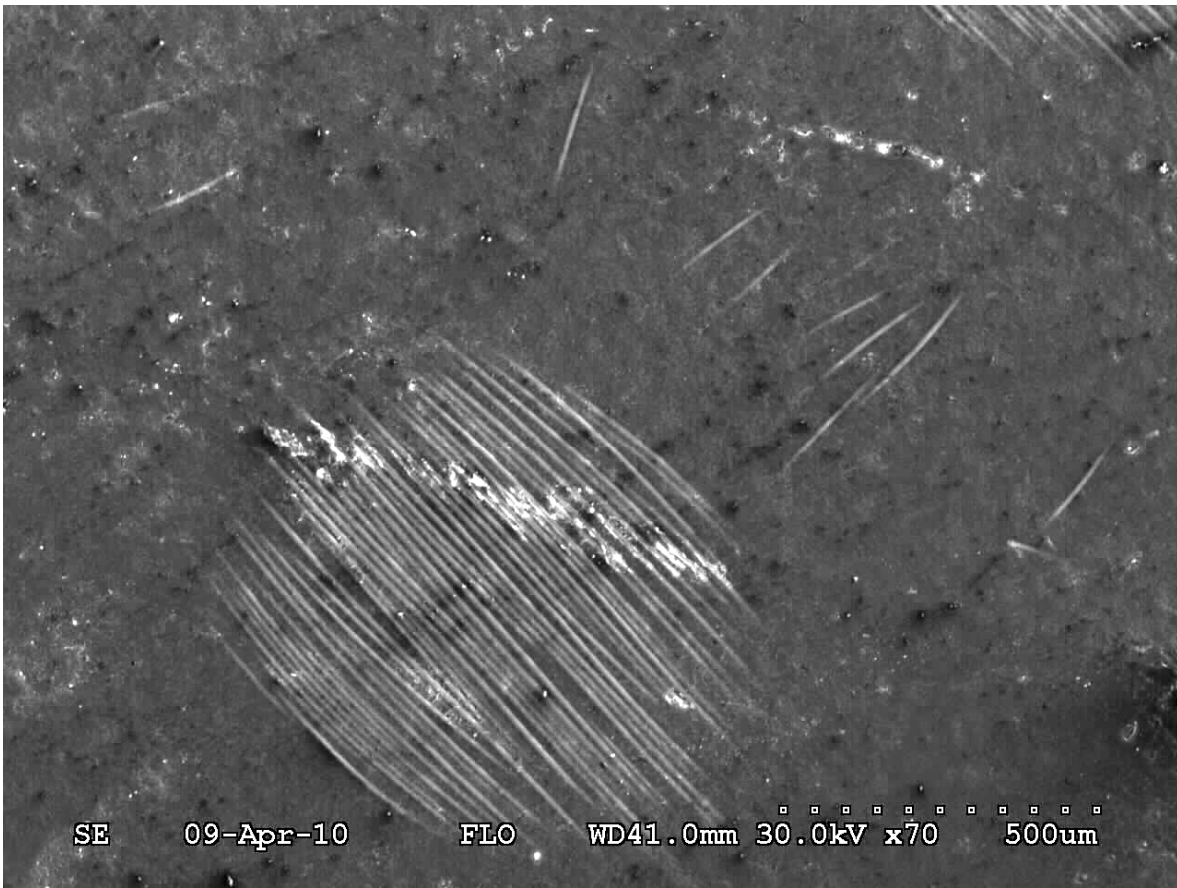
+47 63 80 87 41  
Mil: 505 8741

**Telefax :**

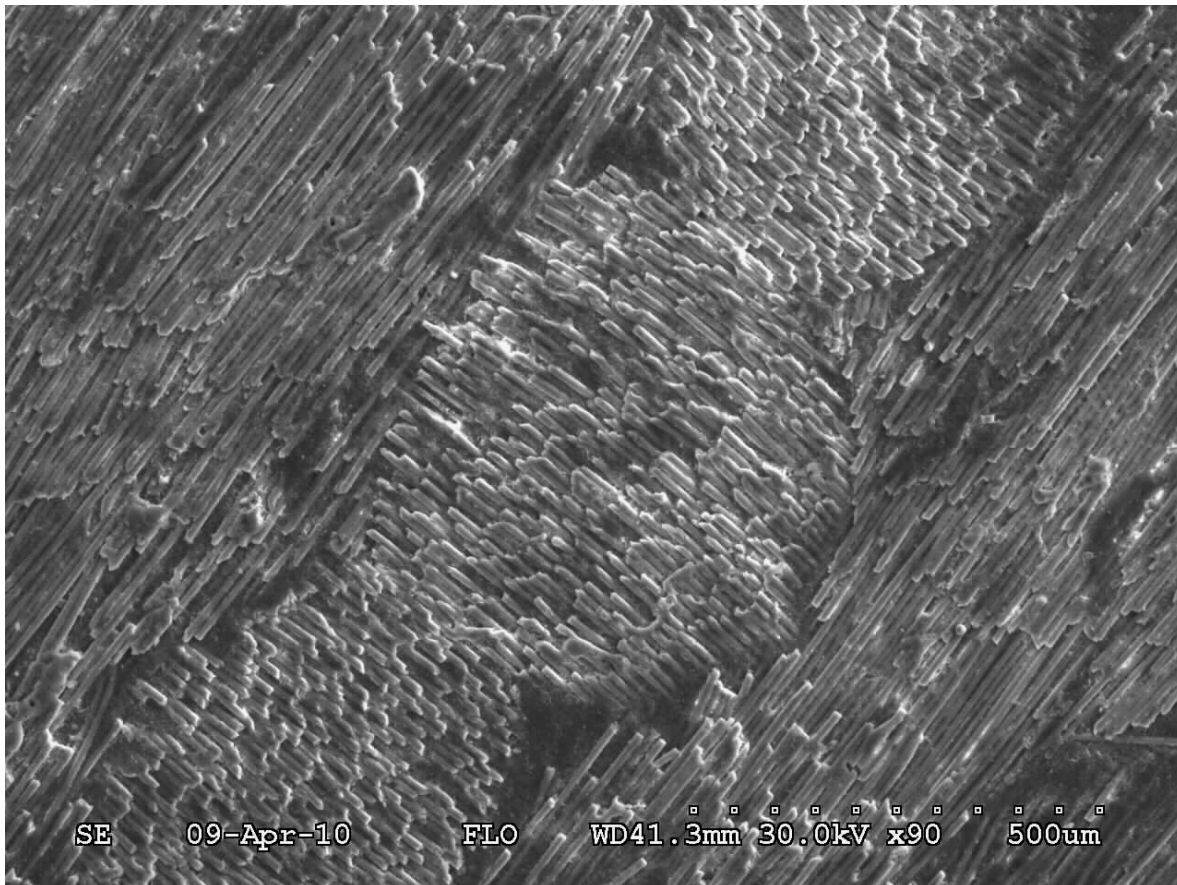
+ 47 63 80 87 58  
Mil: 505 8758



Figur 1 Oversiktsbilde av prøveuttaket på isolasjonsplaten.

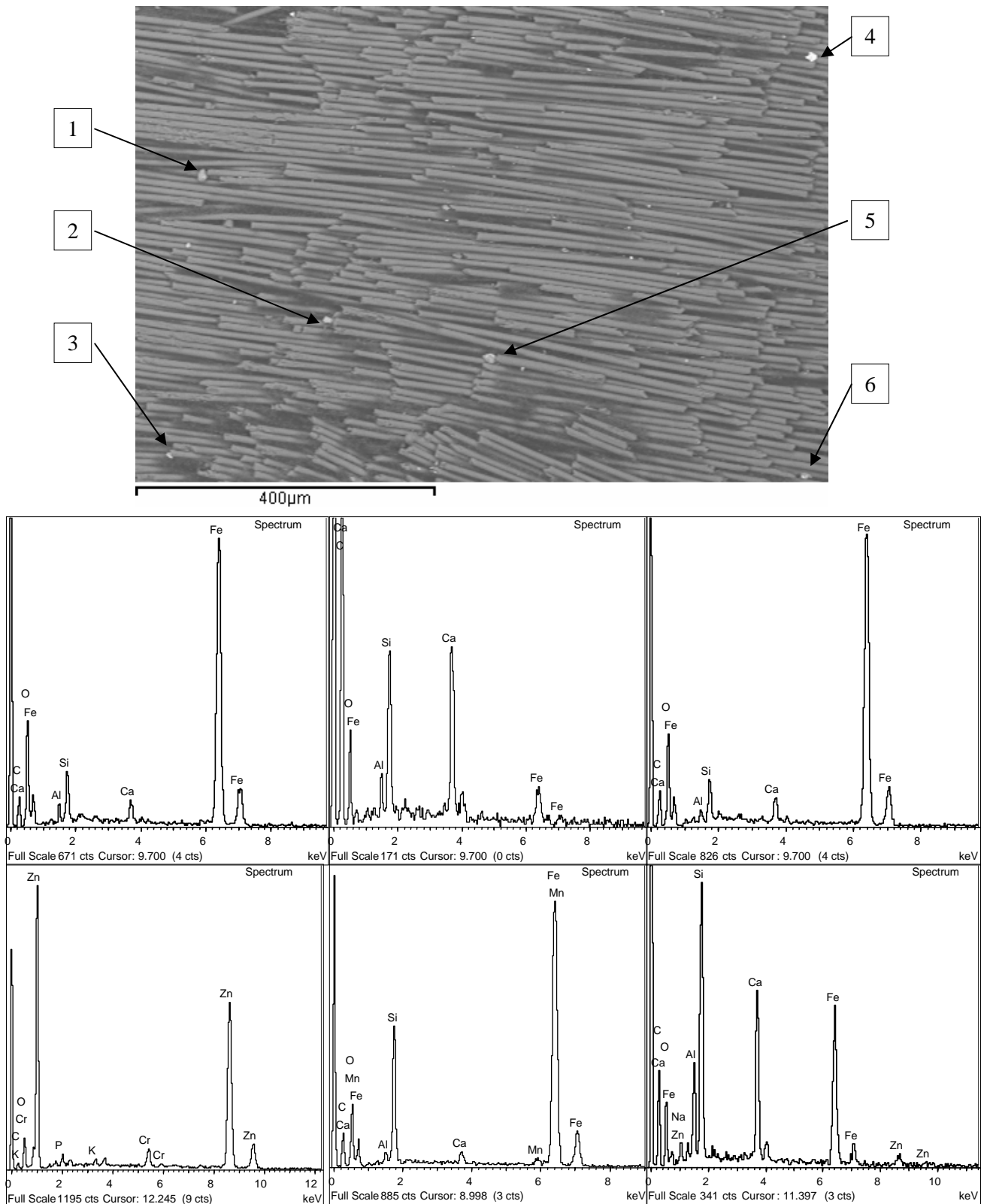


Figur 2 Bilde i SEM av overflaten i ubehandlet område, se Figur 1.

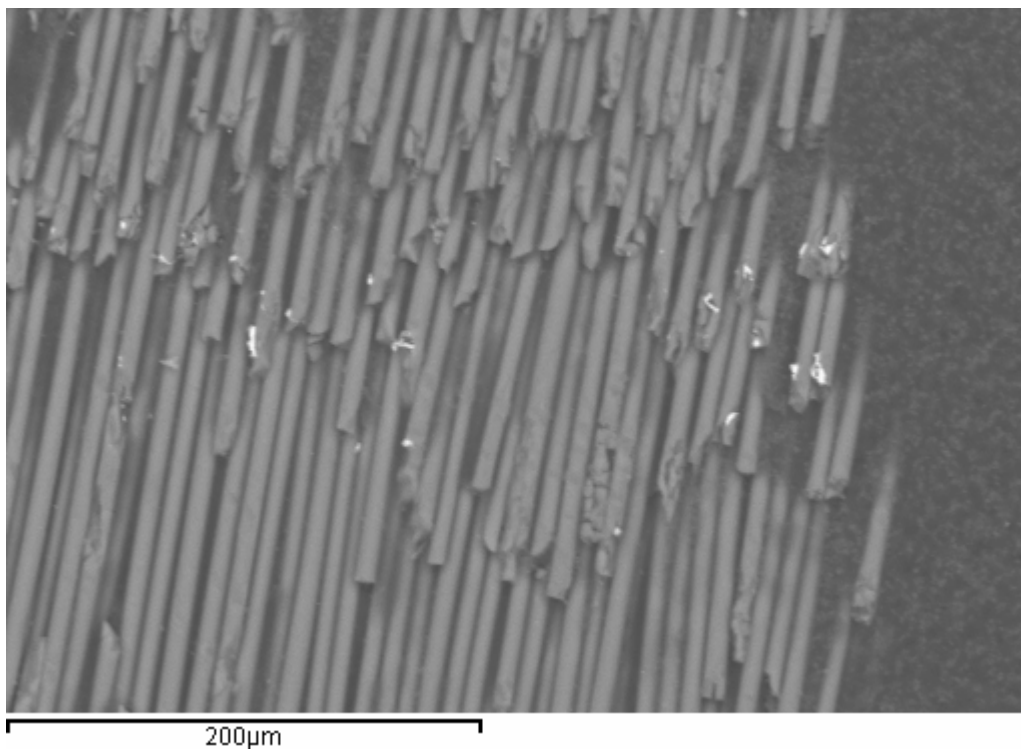


Figur 3 Bilde i SEM av overflaten i slipt område, se Figur 1.





Figur 4 Bilde av partikler på overflaten etter sliping. Spectrum1 viser en partikkel av jern. Spectrum 2 viser en mineralisk partikkel (Si, Ca, O). Spectrum 3 viser en partikkel av jern. Spectrum 4 viser en partikkel av sink. Spectrum 5 viser en partikkel med jern og mineralisk partikkel (Si, O). Spectrum 6 viser en partikkel med jern og mineralisk partikkel (Si, Ca, O).



Figur 5 Bilde av partikler på ender av avrevne glassfibre.

 	<p>Test Report issued under the responsibility of:</p>  <p>www.nemko.com</p>
<p align="center"><b>Melding om testresultat.</b></p>	
<p><b>Report Reference No</b> ..... : <b>175040</b></p> <p>Main Report Reference No ..... : Melding om testresultat</p> <p>Tested by (printed name and signature) ..... : Tom Ingebrigtsvold <i>Tom Ingebrigtsvold</i></p> <p>Approved by (printed name and signature) ..... : Tore Ledaal <i>Tore Ledaal</i></p> <p>Date of issue .....</p>	
<p><b>Testing Laboratory Name</b> ..... : <b>Nemko A/S</b> Phone: (+47) 22 96 03 30</p> <p>Address ..... : <b>P.O. Box 73 Blindern, N-0314 Oslo, Norway</b></p> <p>Testing location ..... : CBTL <input checked="" type="checkbox"/> CCATL <input type="checkbox"/> SMT <input type="checkbox"/> TMP <input type="checkbox"/></p> <p>Address .....</p>	
<p><b>Applicant's Name</b> ..... : Statens Havarikommisjon for transport.</p> <p>Address ..... : Sophie Radichs vei 17, 2003 LILLESTRØM</p>	
<p><b>Test specification</b></p> <p>Standard .....</p> <p>Test procedure .....</p> <p>Non-standard test method ..... : Tester listet på side 2.</p>	
<p>Copyright © 2002 IEC System for Conformity Testing and Certification of Electrical Equipment (IECEE), Geneva, Switzerland. All rights reserved.</p> <p>This publication may be reproduced in whole or in part for non-commercial purposes as long as the IECEE is acknowledged as copyright owner and source of the material. IECEE takes no responsibility for and will not assume liability for damages resulting from the reader's interpretation of the reproduced material due to its placement and context.</p>	
<p><b>Test item description</b> ..... : Isolator.</p> <p>Trademark ..... : ST</p> <p>Manufacturer ..... : STEMMANN-TECHNIK</p> <p>Model and/or type reference ..... : 54b</p> <p>Serial number ..... : Art. Nr.: 0014276</p> <p>Rating(s) ..... : 1,5kV</p>	

Rev. 2007-06



[www.nemko.com](http://www.nemko.com)

Report No. 175040

#### TEST AV ISOLATOR.

##### Test1:

Isolatoren ble først kjølt ned til  $-25^{\circ}\text{C}$  og deretter tatt ut i romtemperatur og belastet med en vekt på 20Kg. Dette ble gjentatt 5 ganger med  $-25^{\circ}\text{C}$  i 12 timer og romtemperatur (ca  $23^{\circ}\text{C}$ ) i 12 timer med belastning. Det ble ikke observert synlige sprekker i isolatoren etter denne stress testen. Se bilder på side 3.

##### Test2:

Det er tatt Krypstrøms prøve på 650V. Isolatoren besto testen.

##### Test3:

Det er også tatt spenningsprøve i fugtighets-kammer med en spenning på 2500V. Spenningsprøve i tørrkammer 47kV. Det var ikke noe overslag i isolatoren under testene.





FLO / V / LHK

**Forsvarets laboratorietjeneste**  
**Analytisk laboratorium**  
**Kjemi og materialteknologi**

Oppdragsgiver <b>Statens Havarikommisjon for Transport v/ Henning Johansen</b> <b>Pb. 213</b> <b>2001 Lillestrøm</b>		<b>Teknisk Rapport</b> Oppdragsgivers referanse Nemko rapport nr.: 175040	
Gjenpart			
Tittel <b>Røntgenundersøkelse av isolatorer</b>			
Rapportnr 110610.02	Dato for mottak av oppdrag 2011-03-07	Dato for utgivelse 2011-06-14	
Jobbnr / Prøvenr M-11-058	Antall sider 6	Antall vedlegg -	
Utarbeidet av Øyvind Frigaard 		Sjef Analytisk laboratorium Tor Arne Gustavsven 	

Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Analytisk laboratorium.

**Postadresse :**  
FLO/TV/LHK Analytisk laboratorium  
Postboks 10  
N-2027 KJELLER

**Vareadresse**  
FLO/TV/LHK Analytisk laboratorium  
Fetveien 80-84  
N-2027 KJELLER

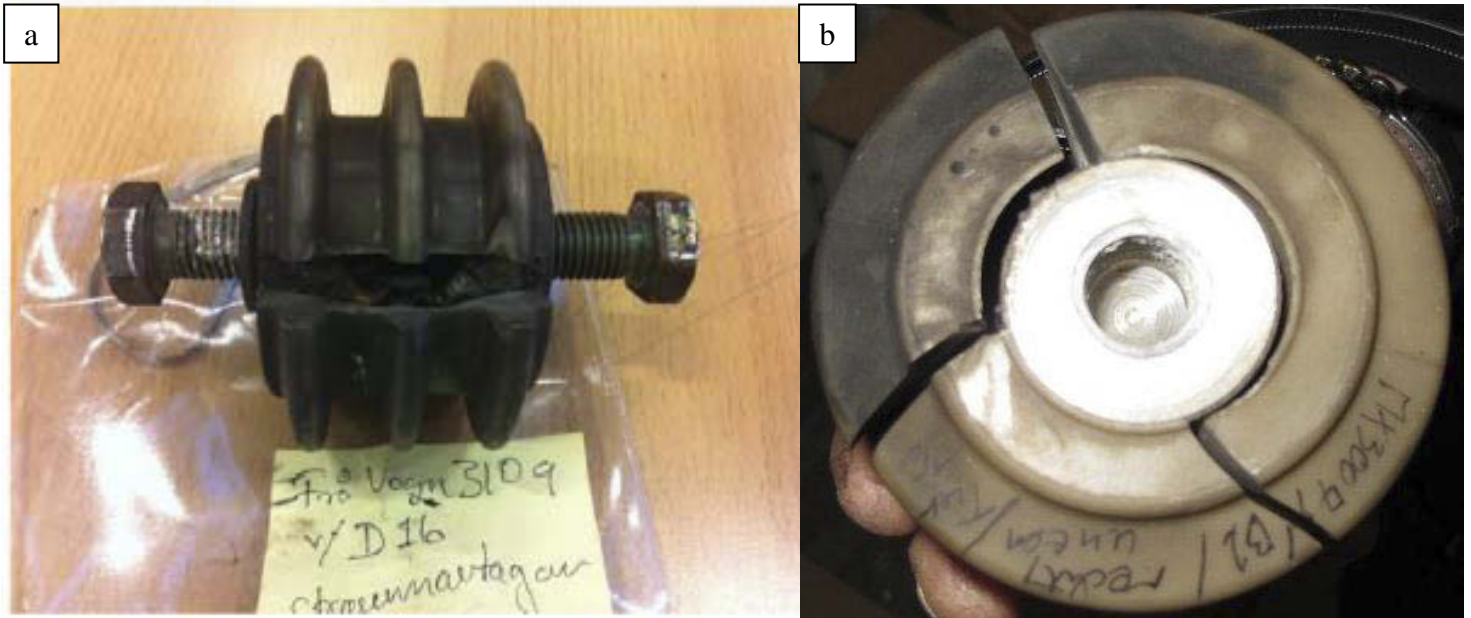
**Telefon :**  
+47 63 80 87 41  
Mil: 505 8741

**Telefax :**  
+ 47 63 80 87 58  
Mil: 505 8758

## 1 Innledning

Forsvarets laboratorietjeneste, kjemi og materialteknologi, ble forespurt om å bistå i forbindelse med undersøkelser av mulige årsaker til kortslutninger av isolatorer, se Figur 1.

For å få et bilde av isolatorenes oppbygning og for å avdekke mulige sprekkinitieringer, ble det utført røntgen undersøkelser ved Luftforsvarets Hovedverksted på Kjeller i regi av Bent Slotnes.



Figur 1 Bilder mottatt fra oppdragsgiver av, a: Kortsluttet isolator. b: Sprukket isolator.

## 2 Resultater

Det ble utført røntgenundersøkelse av ny isolator, brukt isolator, isolator med antydning til sprekkdannelse og en isolator utsatt for kontrollert mekanisk og termisk påkjenning ved Nemko (-25°C og 20-25 kg belastning).

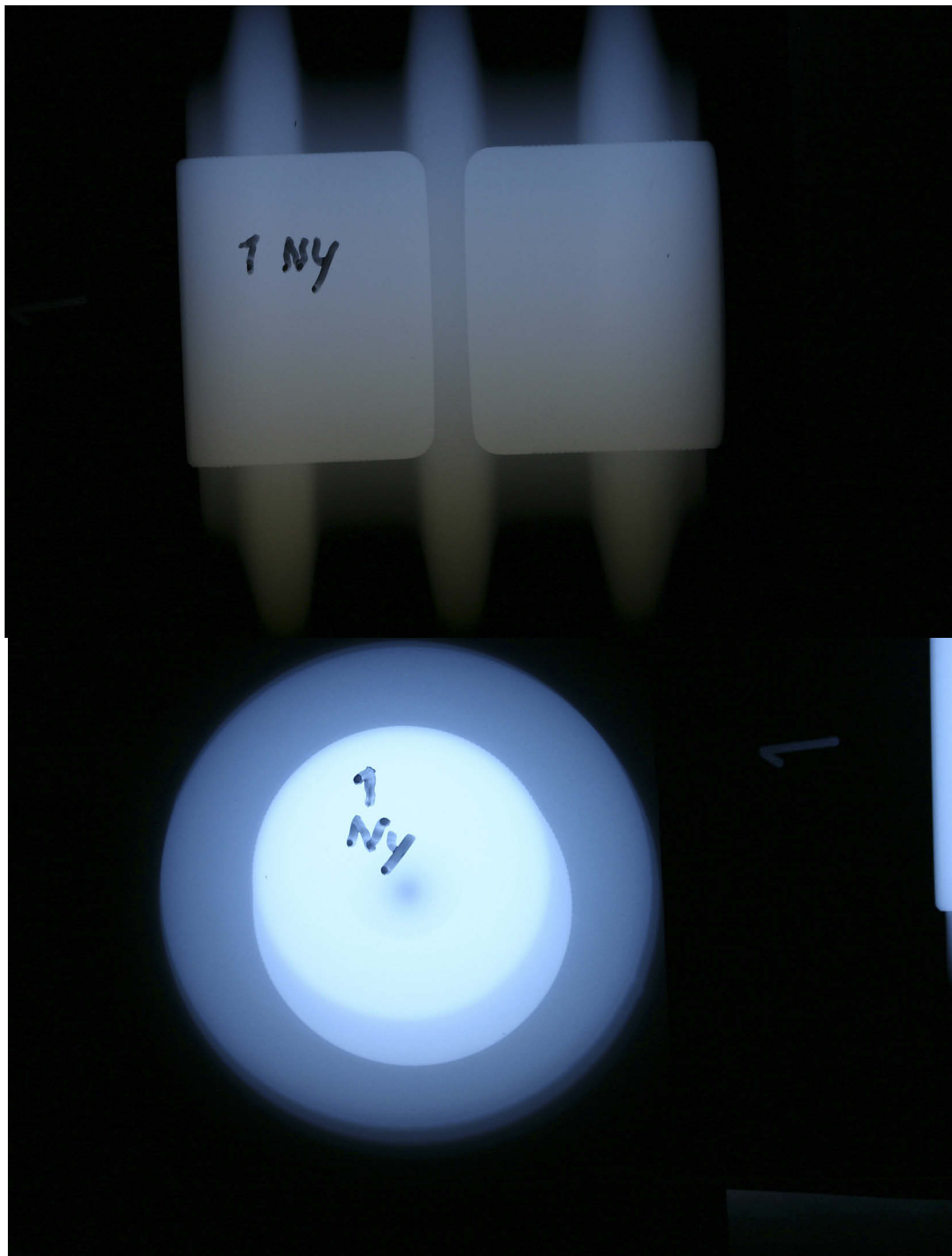
Røntgenbilder representative for de nevnte isolatorene er vist fortløpende fra Figur 2 til Figur 5.

Som det fremgår av bildene kan det ikke observeres noen forskjeller mellom brukt isolator og ny isolator, eller isolator utsatt for testing ved Nemko. For isolatoren med antydning til sprekk, er sprekk vist i nederste bilde i Figur 4, det fremkommer av bildet at sprekken virker å ha oppstått som følge av utvidelse/trykk fra innsiden.

## 3 Konklusjon

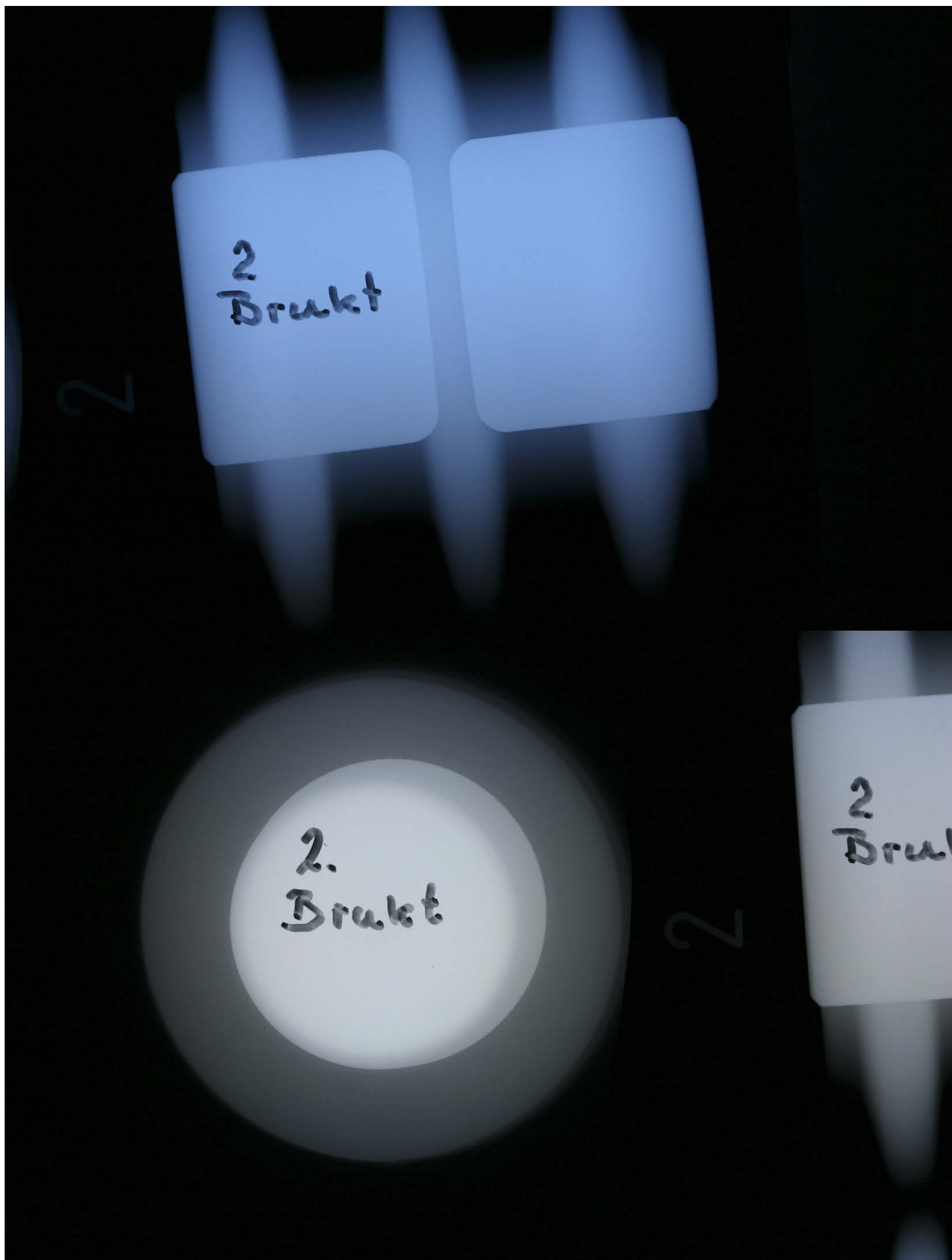
Basert på de utførte undersøkelsene kan det ikke gis noen entydig beskrivelse av hvordan kortslutningene av isolatorene oppstår. Det er ikke observert antydninger til smelting av metallkjernene i brukt isolator uten observerte sprekker og det er ikke fremprovosert sprekkdannelse ved de termisk/mechaniske testene ved Nemko.

Det er observert en sprekkindikasjon som tyder på at denne har oppstått som følge av trykk fra innsiden av isolatoren og vi vil med bakgrunn i dette foreslå at det utføres videre undersøkelser hvorvidt sprekkdannelse kan oppstå som følge av vanninntrenging eller som følge av ulik termisk utvidelse mellom det metalliske kjernematerialet og det isolerende epoxy materialet.

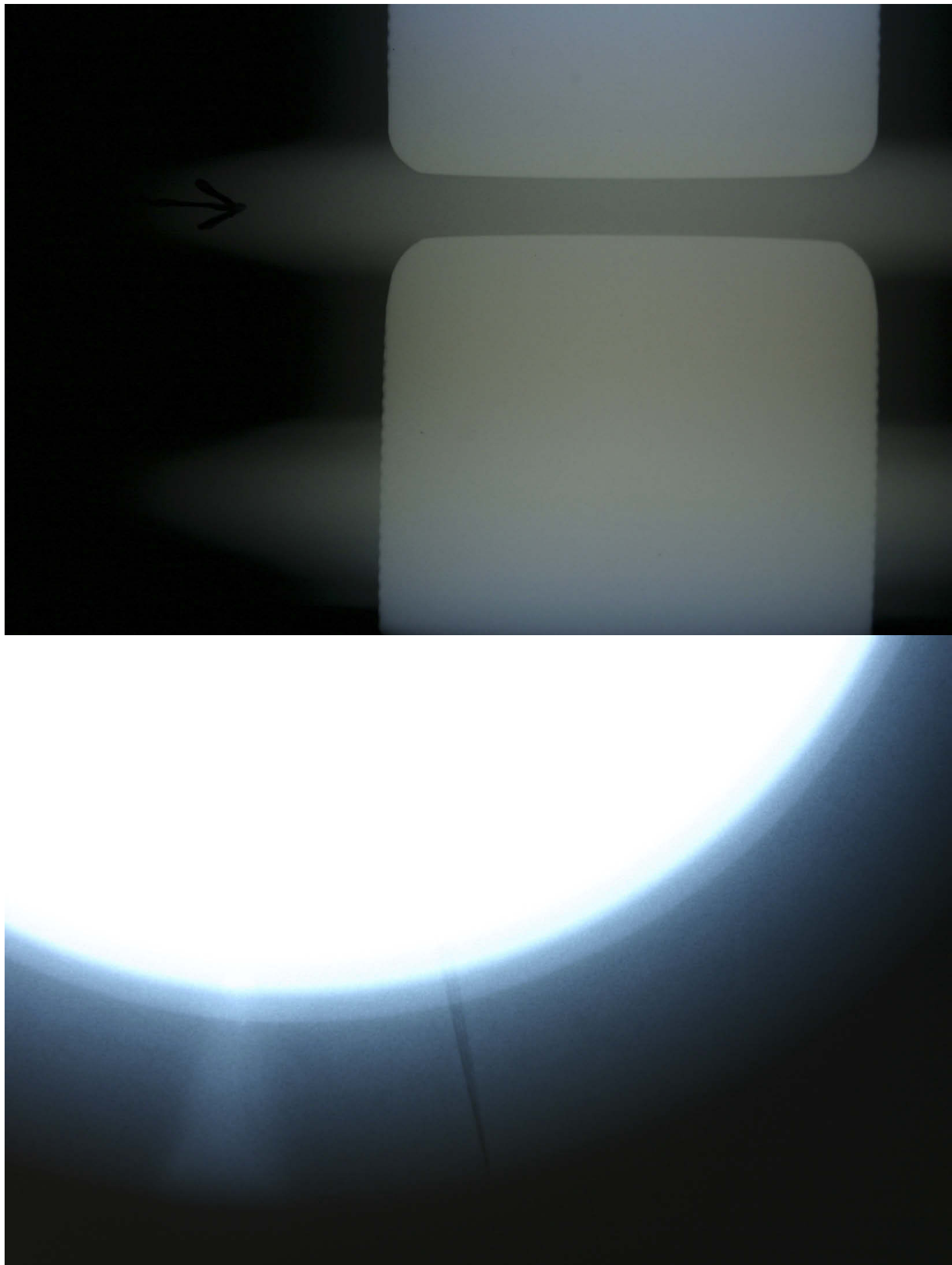


Figur 2 Røntgenbilder av ny isolator.

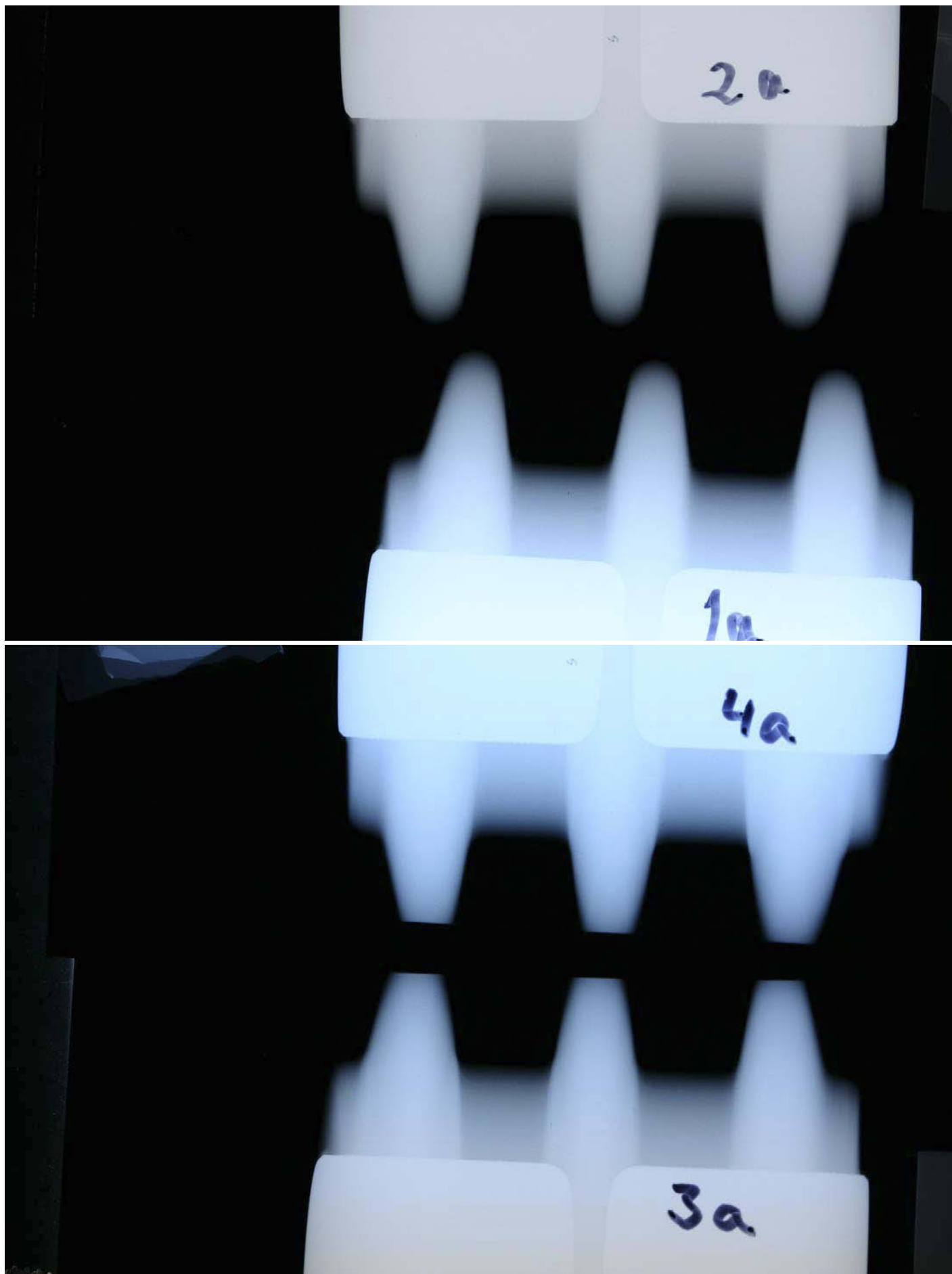




Figur 3 Røntgenbilder av brukt isolator.



Figur 4 Røntgenbilder av isolator med sprekkantydning.



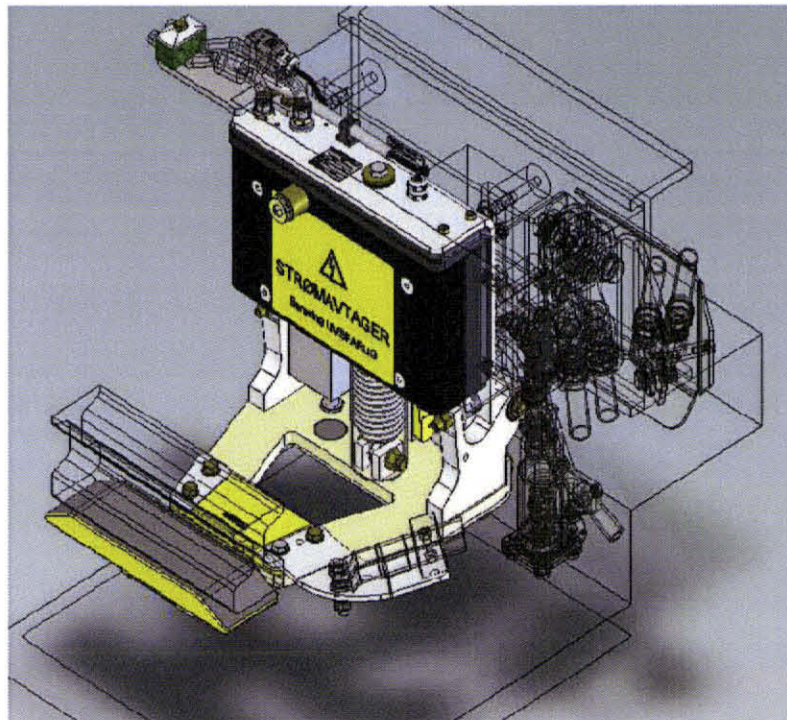
Figur 5 Røntgenbilder av isolator testet ved Nemko.

# Report

## MX-3000 Underground Carriages in Oslo with Severe Insulator Damages on Current Collector Units

**Author**

Arne Petter Brede



**SINTEF Energi AS**  
SINTEF Energy Research  
Address:  
Postboks 4761 Sluppen  
NO-7465 Trondheim  
NORWAY  
Telephone: +47 73597200  
Telefax: +47 73597250  
energy.research@sintef.no  
www.sintef.no/energi  
Enterprise /VAT No:  
NO 939 350 675 MVA

# Report

## MX-3000 Underground Carriages in Oslo with Severe Insulator Damages on Current Collector Units

**KEYWORDS:**  
Underground  
Contamination  
Dry band  
Tracking  
DC-current  
Electrolyte

**VERSION**  
2

**DATE**  
2011-03-31

**AUTHOR**  
Arne Petter Brede

**CLIENT(S)**  
Oslo Vognselskap AS, postboks 1879 Vika, 0124 Oslo

**CLIENT'S REF.**  
Tor Håsselknippe

**PROJECT NO.**  
Project 14X623

**NUMBER OF PAGES/APPENDICES:**  
16

### ABSTRACT

Reviews made in order to explain the rapid rate of degradation on a revised insulator design compared to the original design.

-----

According to received reports and visual inspections contaminants and humidity cause severe tracking on insulator surfaces of both designs. The insulation distance of the revised design decreased considerably due to unintended voltage potential transfer caused by accumulation of electrical conducting electrolytes. The shorter distance causes essential dry band formation and higher discharge activities on the surface. SINTEF recommends insulators with circular design with improved self-cleaning properties.

---

**PREPARED BY**  
Arne Petter Brede

**SIGNATURE**  
*AP Brede*

**CHECKED BY**  
Erling Ildstad

**SIGNATURE**  
*Erling Ildstad*

**APPROVED BY**  
Petter E. Røkke

**SIGNATURE**  
*Petter E Røkke*

**REPORT NO.**  
TR F7082

**ISBN**  
ISBN

**CLASSIFICATION**  
Confidential

**CLASSIFICATION THIS PAGE**  
Confidential

## Document history

---

VERSION	DATE	VERSION DESCRIPTION
1.	2011-03-24	Original version
2	2011-03-30	Comments from client included
3	2011-03-31	Comments from client included

# Table of contents

<b>1</b>	<b>Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Basic physics of contamination and tracking on electrical insulation</b> .....	<b>5</b>
2.1	Contamination.....	5
2.2	Dry band formation.....	6
2.3	Tracking.....	7
2.4	Basic differences between AC and DC conditions .....	8
<b>3</b>	<b>Voltage distributions along insulators on the current collectors used in Oslo</b> .....	<b>8</b>
3.1	Contaminations deposited on current collectors.....	8
3.2	Special voltage stresses on the current collector insulation system.....	9
3.3	Original flat plank insulator.....	10
3.4	Revised flat plank insulator.....	12
<b>4</b>	<b>Discussion of design challenges</b> .....	<b>13</b>
<b>5</b>	<b>Conclusions</b> .....	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>References</b> .....	<b>15</b>

## MX-3000 Underground Carriages in Oslo with Severe Insulator Damages on Current Collector Units

Reviews made in order to explain the rapid rate of degradation on a revised insulator design compared to the original design.

---

According to received reports and visual inspections contaminants and humidity cause severe tracking on insulator surfaces of both designs. The insulation distance of the revised design decreased considerably due to unintended voltage potential transfer caused by accumulation of electrical conducting electrolytes. The shorter distance causes essential dry band formation and higher discharge activities on the surface. SINTEF recommends insulators with circular design with improved self-cleaning properties.

---

### 1 Introduction

During winter 2006 Oslo Vognselskap (OVS) started commissioning of the new MX-3000 underground carriages. About 65 sets of carriages were in operation during the winter of 2009/2010 and several cases of electric flashovers between the current collector (CC) shoe and carriages were detected. Some of the flashovers caused severe fires. Extensive electrical tracking on the upper surface at the *first version* (SG 102 flat plank insulator) of the CC insulator plate were observed. According to information from OVS it was not possible to clearly identify the root cause of all flashovers. However, metallic objects in the track were involved in several of the flashovers, creating arcs with current values above 3000 A.

The principal supplier Siemens and its subcontractor Stemmann-Technik developed a *second version* of the flat plank insulator in order to significantly improve the withstand characteristic against unintended short circuits from foreign metallic objects. Insulation barriers were mounted on the flat plank insulator in order to increase the length of any arc that may occur due to foreign objects. The revised insulators were mounted on totally 664 CC units during July-October 2010. In December 2010 several incidents of severe electrical tracking on the revised insulators were reported; i.e. after approximately 4-6 months of operation. In the middle of February 2011 about 50 cases of electrical tracking were reported on the revised insulator. The majority of trackings occurred on the upper surface of the insulators. It should be noted that no flashover caused by mechanical short circuits across the 750 V DC insulator surface on the second insulator version has been detected.

It should be noted that several operational problems occurred with the first insulator version of which unintended short circuit across the insulation surface was among the most severe problems. Protection against unintended short circuits and devastating arcs were the main object with the revised insulator. However, the problems with tracking and decomposition on the insulator surface were not solved.

On regularly basis the carriages are cleaned by a washing machine with water and appropriate detergent. About once a month the flat plank insulators are inspected and cleaned separately. If evident trackings are observed the insulator surface will be grinded off and sealed with varnish. After approximately February 2011 no varnish is applied after grinding.

OVS has asked SINTEF Energy Research (SINTEF), Trondheim, Norway, to propose explanations for the possible cause of the rapid tracking degradation of the modified insulator compared to the original as well as evaluate new technical proposals from Siemens/Stemmann in order to eliminated or significantly reduce the prevailing tracking problems.



## 2 Basic physics of contamination and tracking on electrical insulation

This report will not go into details regarding contamination or pollution of electrical insulators. Only some basic physics will be discussed in order to explain the tracking erosions that have been observed on both versions of the CC insulators. Further details can be found in the international scientific literature of which [1] may act as an introduction to the topic.

### 2.1 Contamination

An insulator, which is heavily polluted by electrolytic conductive deposits, may have a flashover immediately after energisation although the surface appears to be perfectly clean even on close inspection. However, an insulator that is black with industrial soot, or which has some of the surface caked with cement, may have an electrical performance indistinguishable from that of a freshly installed counterpart. The reasons for these contradictory observations are that values of *surface electrical conductivity*, which are sufficient to cause flashover, are quite trifling in absolute terms. Critical conductivities are readily achieved by presence of soluble electrolytes such as common salt or industrial acids, at densities of some 0,1 mg/cm<sup>2</sup>, provided water is available to dissolve them.

The reduction of breakdown strength for insulators covered by a highly conductive layer strongly depends on the voltage type applied, [2]. The AC breakdown strength is reduced to about 20 % and the DC breakdown strength to about 15 % compared to uncontaminated insulators.

The deposits, which are of greatest significance in the performance of insulators, are therefore highly soluble electrolytes originating from sea, road-salt, salt-flats and desert dusts as well as industries such as petrochemical and other acid generators. Both the soluble ionic and inert contaminant layers require water before they can cause increased conductivity; e.g. fog, dew and drizzle are thus also highly significant deposits.

Contaminations which remain electrically conductive even *in the absence of water* include carbon, some metallic oxides and metal in the form of dusts or powder. Flashovers directly caused by these pollutants are rare. However, in the case of railway insulators, considerable contamination may be caused by oxides of iron from the wheel-brakes or by copper ablated from conductors or pantographs. Such contaminants may be reactive with polymeric insulators and with insulator greases causing severe damages in association with other pollutants. Regarding relevant contaminations in the OVS case they are

- Ferrous particles/dust caused by the current shoe dragging along the energized rail
- Ferrous particles ablating from current shoe during arcing caused by entering the current gap
- Ferrous particles/dust from wheels rolling along the rails

It should be noted that a special case is that of very fine silica dust used in the manufacture of some *protective silicone pastes* which are applied to insulators. Destruction of the silicone, by discharge and weathering, allows the silica to absorb water in such quantities as to cause local damage by Joule heating.

## 2.2 Dry band formation

Figure 1 shows details in order to explain the phenomena occurring on an energized insulator surface when heating and drying occur caused by the leakage current in the electrical conducting pollution layer.

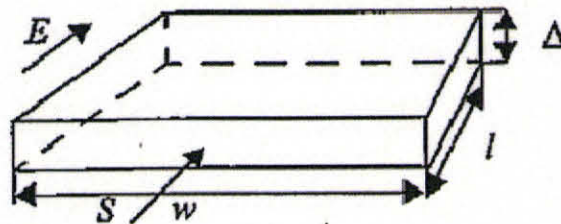


Figure 1 A small slice of a pollution layer on an insulator surface, [2].

According to Figure 1 following assumptions are made:

- $\Delta$ : Constant thickness of the pollution layer slice [m]
- $l$ : Length of the slice [m]
- $w$ : With of the slice [m]
- $S$ : Current density [ $A/mm^2$ ]
- $E$ : Electric field [V/m]
- $U$ : Voltage across the slice in the  $l$ -direction [V]

It can be found, [2], that the *loss (i.e. generated heat energy) per unit surface area,  $p$ , equals*

$$p = E \cdot S \cdot \Delta \quad (1)$$

If the specific resistivity  $\rho$  [ $\Omega m$ ] is introduced the loss per unit area can be written as

$$p = S^2 \cdot \rho \cdot \Delta \quad (2)$$

From equation 2 it is seen that an even coating with electrical conducting pollution has the highest loss and highest drying effect where the current density is highest. For a post insulator this will be at the stem where the diameter is smallest.

In practice the loss, or generated heat  $p$ , will vary over the surface due to

- the current density varies because the with of the unfolded insulator surface varies as at the layer thickness varies
- specific resistivity varies due to variable humidity of the coating

Where  $p$  is highest, e.g. where the current density is highest, a local drying of the conducting coating takes place, whereby  $\rho$  increases. That particular part of the conducting surface which lies parallel with the dried area will experience an increased current density and thereby an increased local heating ( $p$ ) such that this part of the surface will dry up as well. This development tends to be unstable by the formation of dry bands extending around the insulator. The dry bands will not have sufficient dielectric strength to withstand the

operating voltage and arcs form across the bands. The current in the local surface arcs is limited by the resistance in those parts of the coating which are polluted enough to conduct current.

Figure 2 shows the principal conditions at such dry bands. The current lines in the thin moisture coating concentrate at the end points of the arc where the temperature will be highest. Therefore the width of the dry band has a tendency to increase where the arc is burning. The arc, however, will have a tendency to burn where the arc resistance is smallest, i.e. where the dry band is narrowest. As long as the conditions are stable the arc will move around the insulator, and the width of the dry band increases evenly around the insulator.

Without going into further details there are two kinds of instabilities that may occur:

- The arcs become unstable and extinguish.
- The end points of the arc start moving unstably in the direction of the arc. If they do not reach a point where the arc is burning stably a complete flashover will occur.

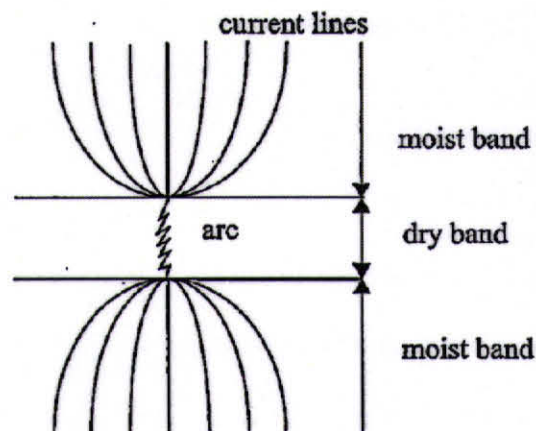


Figure 2 High current density at end points of a surface current arc, [2].

### 2.3 Tracking

Electrical tracking develops from surface discharge activity associated with the flow of leakage currents on insulator surfaces under wet and contaminated conditions. Considering a polymer insulator material arcs created from this surface discharge phenomenon, as discussed in the chapter above, burn the surface material and creates carbonized tracks in the long run.

For much of its life a *conventional circular isolator* in an electrical high voltage network will run with dry bands on its surface which is intermittently spanned by partial discharges (PD-activity). Normally, these discharges are harmless apart from possible electromagnetic interference generation and surface damages.

However, PD-activity on resin-bonded glass fibre (RBGF) surfaces may cause severe damages and reduced lifetime. Imperfections are difficult to avoid in RBGF because of the large specific area of glass surface and the challenges during manufacture to wet with matrix resin the whole of this surface. Axial porosity is often found that cause accumulation of contaminants and promotes internal discharges under high electric stress. The long and narrow pores that occur in RBGF are dangerous both when they are air-filled or water-filled. When discharges occur within such voids chemical decompositions of the *surrounding polymer* occurs, the

products of which carbon is dominant. However, it is known that decomposition products can include oxalic acid, a known promoter of mechanical failure in *glass fibres*, [1].

Several decomposition processes may take place in RBGF materials. However, this will not be discussed in further details in this report. The main purpose of this chapter is to demonstrate that the combination of humidity and pollution may cause severe damages on RBGF materials if the insulation characteristics do not resist the working environment.

## 2.4 Basic differences between AC and DC conditions

In many cases an insulator that is energized with DC acts differently compared to the AC case due to different

- electric field distribution and propagation of discharges to flashovers
- process of insulator surface erosion
- aging of the dielectric material

In the AC case the voltage distribution along an uncontaminated insulator is determined by the permittivity or capacitance of the insulator while the resistivity of the insulator material determines the voltage distribution after having applied DC voltage for a long time.

The absence of voltage zero and of polarity reversals favour the development of discharge activity when DC is applied. In the case of high surface conductivity the voltage distribution along the insulator body depends solely on the surface resistance. Large variations in the voltage distribution must be expected on contaminated isolators. Polymeric housing and glass insulators are expected to suffer particularly badly under such conditions. The insulation surface between the electrodes will be attacked by erosion as well as near the electrodes due to accumulation of electrochemical products. Electrolysis of common salt produces caustic soda that rapidly attacks many glasses as well as polymers, [1].

## 3 Voltage distributions along insulators on the current collectors used in Oslo

### 3.1 Contaminations deposited on current collectors

The Analytic Laboratory (FLOAT) at the Norwegian Armed Forces has performed analysis of contaminations found on the two CC insulator versions that have been delivered to OVS as well as microscopy examinations of the insulator surfaces. Visual and metallographic examinations were made as well as examinations made by EDS in SEM. Both versions of the CC insulator are made of RBGF materials.

From the examinations made on the original CC it was concluded that the insulator surfaces evidently have local surface breakdowns, melting of resin as well as glass fibres caused by extensive local heating, [3]. Most likely contributing factors to local flashovers and tracking of the insulator surfaces are accumulation of ferrous particles and calcium (Ca), the latter likely emerged from soap. The ferrous particles are assumed to originate from metal ablating from the current shoes that make the electric contact to the 750 V DC power rail (third rail). This is related to the observations of nodular iron found on the insulator surfaces as well as ferrous melting pearls.

Results from the examinations of the second version of CC insulator confirmed the former observations with ferrous particles, salts, minerals and fine sands, [4]. The ferrous particles were observed all over the insulator plate. The ferrous particles were assumed to origin from the current shoe. Even if insulator plates were

thoroughly cleaned before examinations *pulverized ferrous particles*, salts, minerals and fine sands were still found on the upper surfaces of the insulators. It was noted in the case of the revised insulator that approximately 90 % of the insulators the major tracking had occurred at the end close to the flexible conductors that pass from the current shoe to the body-work.

As a summary the following contaminants, which with sufficiently high concentration and humidity, will cause highly conductive electrolytes, were found on the upper surfaces of the original and revised flat plank insulators:

- Ferrous particles - Fe (nodular iron, melting pearls, dust)
- Mineral particles
- Natrium - Na
- Calcium - Ca
- Potassium - K
- Chlorine - Cl
- Aluminium - Al

A *snow* sample, which existed of a good deal of fresh snow and less snow fallen down from the passengers shoes, was taken from one CC insulator in order to examine the conductivity, pH and ionic concentration, [5]. The following values were found:

- pH=6,83
- Specific conductivity: 16,2 mS/m
- Chlorine concentration: 24,8 mg/l

The results from this particular melted snow sample show that the *water* has a rather high conductivity which will contribute to the insulator surface tracking. The conductivity is about 6-8 times the value of fresh water but considerably lower than sea water (distilled water:  $\approx 0,1$  mS/m). In practice the conductivity at the CC surface most likely would be much higher due the pollution already deposited on the insulator as soon as the snow melts. The test sample included chlorine, calcium, natrium and some potassium. Calcium constitutes a part of detergents and may well come from spilled wash water from the floor inside the carriage. Chlorine, natrium and potassium most likely come from passenger's shoes after walking on roads or areas with calcium chloride. No further examination is made in order to determine if calcium origins from detergents or calcium chloride.

### 3.2 Special voltage stresses on the current collector insulation system

The voltage stresses discussed in chapter 2.4 focuses on AC or DC separately. However, it should be noted that the voltage stresses on the CC insulators are a combination of DC and high frequency voltage transients due to the open gaps on the energized rail. The current change by time ( $di/dt$ ) at DC current interruptions and inrush currents will cause voltage transients due to inductances ( $L$ ) in the CC wiring system (i.e.  $L \cdot di/dt$ ).

Disregarding the voltage and current transients occurring when the current shoes enter or leave the rail current gaps the CC insulators are exposed to 750 V DC. For an uncontaminated insulator the voltage distribution depends on the permittivity and surface conductivity both in the AC and DC case and no insulation problems should be expected for both versions of the insulators. Due to the repetitive current interruptions and connections by the current shoes the voltage distribution along the insulators is mainly as for application of AC voltage. However, the surface voltage distributions close to the attachment of the swing arm and current shoe may be influenced by the layout of the fastening arrangements as well as the materials involved and contaminants.

The short discussion of tracking given above, the examinations made by Norwegian Forced Army and visual inspections clearly reveal that the flat CC insulator suffer from severe contamination and humidity to cause surface current flow with accompanying tracking and erosion problems. If no measure is taken regarding tracking and surface erosions complete flashovers across the insulating path will occur with subsequent short circuit as well as probability for development of hazardous fires.

Figure 3 shows details regarding the original (version 1) and revised (i.e. version 2 - current version per. March 2011) CC insulator design used at the Oslo underground. One of the main purposes of the insulation barriers that were introduced at version 2 is to avoid mechanical short circuit by foreign metallic objects across the insulation surface.

The accumulation of pollution and humidity/water along the insulation barrier in the direction of traffic close to the current shoe on version 2 cause the 100 % potential (750 V DC) to be transferred in the direction of ground potential. This barrier enhances accumulation of contaminants. Thus, the effective surface insulation distance (L2) becomes shorter than on the original version (L1). This shorter insulation distance will cause higher surface current densities and increase the decomposition rate.

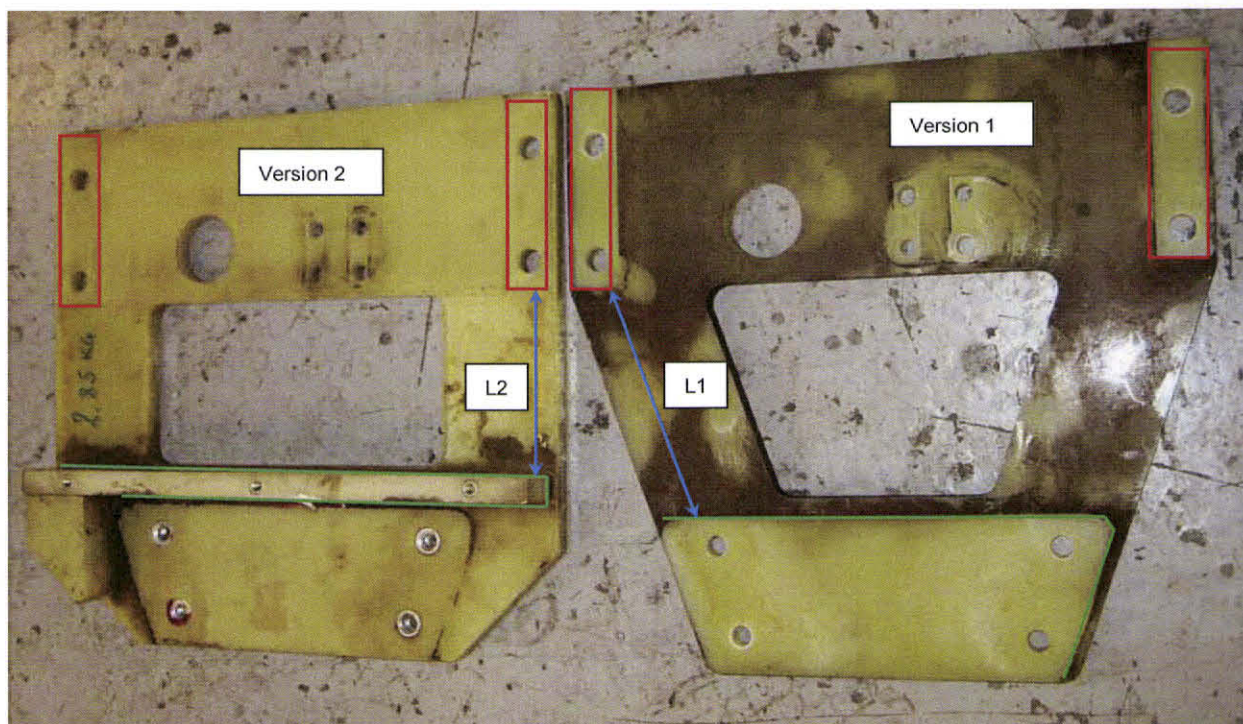


Figure 3 CC flat plank insulators that have been taken out of operation at the Oslo underground. Ground potential at the red rectangles. 100 % voltage; i.e. 750 V DC, at green lines when contaminations and humidity are present.

### 3.3 Original flat plank insulator

Figure 4 shows details from the examinations made on a contaminated original insulator plate, [3]. It should be noted that the severe tracking and erosion take place at and close to the *ground potential* while no evident tracking was observed at or close to 750 V DC potential due to insignificant potential differences.

The main reasons for the tracking progress that is observed at the flat plank CC insulator are combinations of

- horizontal areas of current conducting coating caused by electrolytes
- higher electrical field gradients close to the rectangular attachment of the swing arm compared to the area close to the current shoe
- unintended and abnormal voltage distribution along the contaminated insulator surface

When an electrolytic surface film is established a voltage drop occurs along the film itself which leads to a leakage current path. The dry band formation occurs in the areas of high current densities where the local heating is highest. The highest current density occurs where the electric field (E-field) is highest. Further details are discussed in chapter 2.2. Thus, the ohmic losses (Joule heating) in the current carrying coating as well as the voltage gradients will determine the dry band localizations and the introductory tracking areas.

In the case of the horizontal flat plank CC insulator the electric field gradients close to the current shoe is smaller than close to the rectangular attachment for the swing arm unit; i.e. areas within the red ellipses shown in Figure 4. Metallic materials with acute angles or sharp corners normally increase the electric field gradients. OVS reports that both the insulator areas outside the opening in the middle of the plank, suffer from discharge activity and tracking. According to chapter 2.2 the highest loss and highest drying effect of the coating layer occurs where the current density is highest. Due to the physical dimensions of the current shoe and the rectangular attachments for the swing arm unit the current densities will be highest close to the rectangular attachments. Thus, there is a very good correlation between the basic theory of dry band formation and the experiences made by the original CC insulator in Oslo.

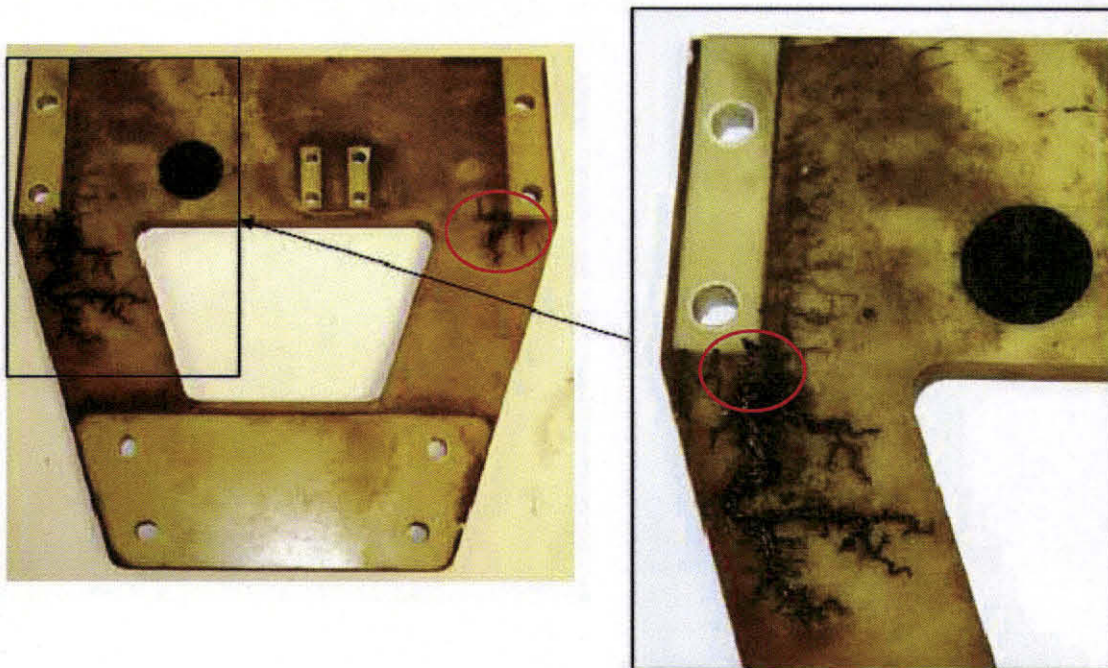


Figure 4 Surface tracking and erosions of the original flat plank CC insulator for the Oslo subway carriages, [4].

### 3.4 Revised flat plank insulator

Figure 5 shows details from the examinations made on a contaminated flat plank insulator with revised design, [4]. It should be noted that most of the severe tracking and erosion occurred at and close to the ground potential at one of the rectangular attachments for the swing arm. In addition tracking were observed close to 750 V DC potential on the left hand side of the insulator; e.g. green ellipse.

The reduced insulation distance as discussed to Figure 3 and reduced voltage potential distribution at or close to 750 V DC electrode cause a significant increase of the electric stresses on the revised insulator surface close to the ground electrode. Regarding Figure 5 it should be noted that the severe tracking appeared at the insulator surface close to the flexible power conductors. OVS reports that about 90 % of the tracking areas are located to this particular area of the flat plank insulator.

Regarding the tracking traces on the revised design their directions looks as though they are more parallel to the direction of traffic; i.e. air flow direction caused by motion, compared to the original flat plank insulator. The particular deviation between the two insulator designs might well cause the change in voltage distribution along the insulation distance as well as influences from electromagnetic fields caused by the flexible power conductors.

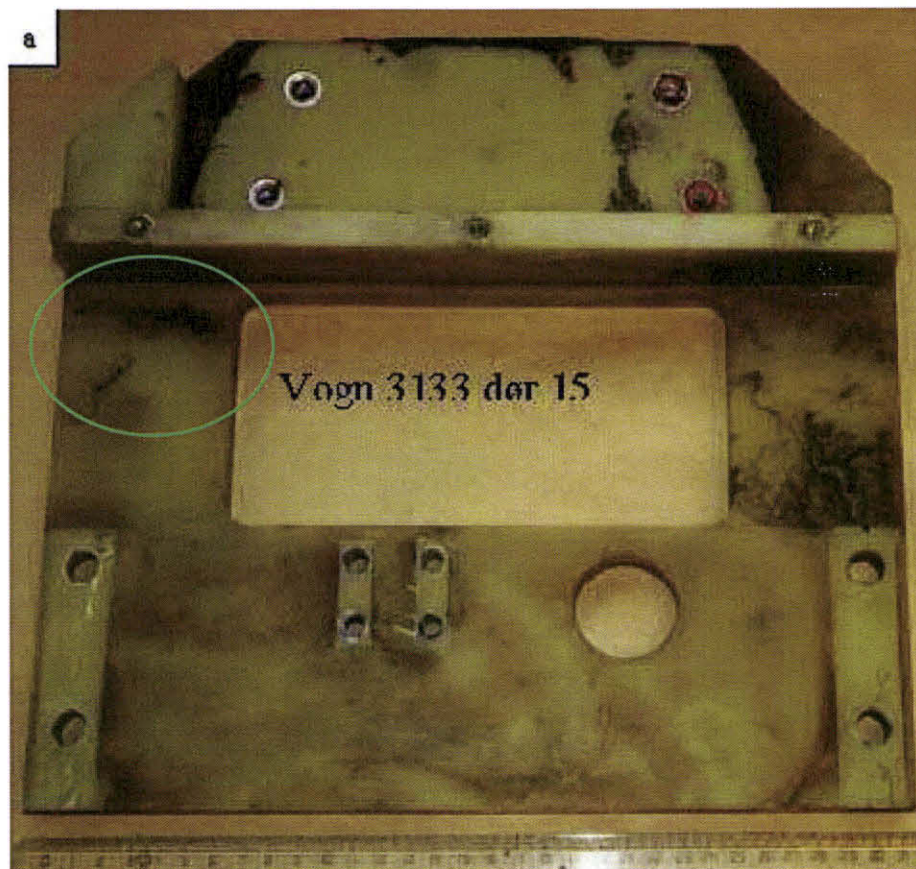


Figure 5 Surface tracking and erosions on the revised flat plank CC insulator, [4]. Tracking is initiated close to rectangular attachments for the swing arm unit as well as close to 750 V DC potential (green ellipse).



It should be noted that the insulator surface between the swing arm attachments and the longitudinal insulation barrier; i.e. distances labelled L2 in Figure 3, were vanished during manufacture. SINTEF has no detailed information about its dielectric characteristics. No varnish was used at the original version of the insulator.

In retrospect it is not possible to determine whether the revised flat plank CC insulator caused even more severe tracking damages than the original design. Extensive tracking on the original version was identified in connection with the fires that occurred during winter 2009/2010 and a great number of insulator was exchanged with spare units. However, severe trackings on the revised version were observed after 4-6 month of operation in winter time. The trackings observed at the revised version occur within the varnish itself and have not disseminated into the RBGF material itself. This is probably due to regular inspections and cleaning of the surfaces. No further examinations are made by SINTEF in order to explain physical details regarding the different tracking development.

#### 4 Discussion of design challenges

The contamination environment is well documented for the Oslo underground, [3], [4]. These examinations particularly conclude that ferrous particles most likely are caused by metallic ablation due to arcing between the current shoe and the energized rail when the shoes are entering the current gaps. A preliminary report, that summarises the observations and damages that occurred after the reconstruction of the CC insulators in 2010 up to 2011-02-03, strengthen the assumption of severe particle generation by metallic ablating, [6].

Among several, one important intention with the revised flat plank CC insulator was to shield the insulator from short circuit caused by foreign metallic objects. Introduction of insulation barriers as well as insulation cover plates above and underneath the fastening arrangements of the current shoe and the flat plank insulator indicate that such short circuits are eliminated so far. However, going into details in [4] ferrous particles accumulate all over the upper insulator surfaces after introduction of the insulation barriers; e.g. Figure 5. The ferrous particles cause an unintended increase in the dielectric stress on the insulation distances between 750 V DC potential and the grounded attachments of the swing arm.

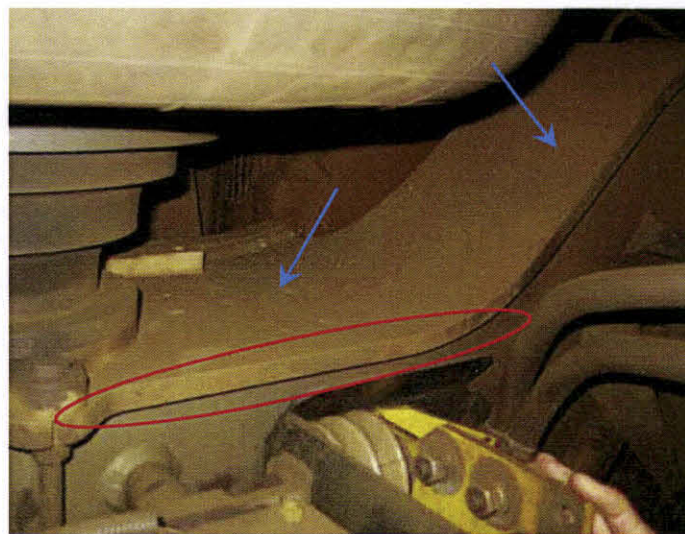


Figure 6 Dust accumulations on bogie arrangements. Corrosive depositions caused by ferrous particles are observed within the red ellipse.

SINTEF agree that ferrous particle generation from metallic ablating caused by DC current arcs between the current shoe and the energized rail contribute to ferrous particle accumulation. However, ferrous particles are generated continuously when the carriages wheels are rolling along the rails which also cause the need for returning works on the wheels on regularly basis. During the inspection performed by SINTEF 2011-03-01a lot of dust was observed on upper surfaces of the bogie arrangements. Figure 6 shows some details regarding such dust accumulation. The blue arrows show areas of substantial dust accumulation. SINTEF has not made any further examination of the chemical composition of the dust. However, when looking into details at the bogies corrosive depositions caused by ferrous dust are observed on vertical surfaces whereas areas within the red ellipse are representative. This confirms that ferrous contamination is not only produced by metallic ablating but also produced by the wheels during normal operation of the carriages.

The experiences achieved by OVS show that the service environment for the underground is more demanding during winter time than the participants in the Oslo MX-3000 project realized. Although several kinds of contaminants are identified attention should be put to the continually generated ferrous particles caused by the wheels also. The combination of actual contaminants described in chapter 3.1 including ferrous particles and humidity generate highly conductive electrolytes that cause *severe tracking on the horizontal flat plank CC insulators* especially during winter.

A carbonized track between high voltage and ground potentials on utilities' insulators will normally cause a short circuit along the insulator with subsequent earth fault current or a short circuit current depending on the local conditions. The leakage distance of a conventional AC insulator is as important dimensioning requirement; e.g. about 30 mm/kV maximum voltage level according to IEC Publication 60071-2. However, if there is a complete carbonized track between 750 V DC and ground potential on a *horizontal CC insulator* a short circuit across the insulators does not necessarily occur. The applied voltage is rather low compared with the insulation distance. Due to dry band formation and dry band zones continuously moving the along the insulator surface SINTEF believe that there is a higher possibility for a fire to initiate in the RBGF material due to the heat generated than a flashover to occur along the surface.

During spring, summer and autumn SINTEF believe that the self-cleaning of insulator surfaces caused by natural rain and regular cleaning of the carriages reduce the amount of highly conductive moisture layers on the surfaces. Most likely, the dry band formation and surface tracking is significantly reduced compared to winter time. Fresh snow on the CC insulators during steady weather conditions with frost should normally give no problem with dry bands and tracking. However, as soon as the snow starts melting; i.e. some very few degrees above the freezing point, sufficient humidity will be available and highly conductive moisture is created on the horizontal insulator surfaces. During winter time the insulators are exposed to additional contaminants compared to the rest of the year as discussed in details in chapter 3.1. An insulator design with a high degree of self-cleaning properties should have preference.

## 5 Conclusions

Siemens and Stemmman-Technik have already initiated procedures in order to obtain an even better insulator design for the Oslo underground than provided previously. The revised version with additional insulation barriers seems to avoid unintended short circuits of the insulation distance between the energized rail and bodywork caused by foreign metallic objects.

SINTEF believe that the following considerations should be emphasized regarding the new insulator system:

- a design with sufficient mechanical strength
- a design that improve self-cleaning of the insulation as soon as free water is available
- a design that allow an easy and effective cleaning process when the carriages are brought to maintenance or cleaning
- a circular insulator design is probable preferable
- protection against short circuit of the CC insulator caused by foreign metallic objects

SINTEF has explained the main reasons for the pronounced reduction in the electrical insulation characteristics that occurred at the revised CC insulator design. The introduction of insulation barriers contributed to increase the voltage stresses across the horizontal insulation distances as soon as the contaminated insulators were exposed to humidity. The effective insulation distance at the revised version actually decreased due to unintended transfer of 750 V DC potential causing the tracking processes on the insulator surfaces to become even more intensive than on the original version.

The heavy damages on the insulator surfaces are caused by dry band formations in the conductive moisture on the horizontal insulator planks and accompanying tracking of the surfaces. The dry bands are initially generated close to the rectangular attachments for the swing arms where the leakage current densities are highest.

SINTEF believe that the self-cleaning of insulators caused by natural rain contribute to a significant reduction of tracking problems during spring, summer and autumn. During winter time additional contaminants on the insulators compared to the rest of the year are caused by transportation by the passengers' shoes from areas outside the carriages. It should also be noted that *contaminated snow* will contribute to highly conductive moisture layers on the insulator surfaces as soon as the snow melts.

According to the actual working environment in Oslo during winter time regularly washing of the carriages and cleaning of the CC insulators are expected. Regarding insulators to be adapted to the CC units SINTEF believe that a circular insulator design is preferable in order to increase the self-cleaning properties of the insulator system.

## 6 References

1. Looms, J.S.T: Insulators for High Voltages. Peter Peregrinus Ltd on behalf of the Institution of Electrical Engineers. ISBN 0 86341 116 9.1988, Exeter, England.
2. Ildstad, E: High Voltage Insulating Materials. Compendium to subject TET 4160 High Voltage Insulating Materials. Dept. of Electrical Power Engineering. NTNU (Norwegian University of Science and Technology).
3. Frigaard, Ø: Undersøkelse av overslag i strømvtager til MX300 (Examination of Flashover at Current Collector for MX-3000). Technical report, no. A6Z00000663530. Norwegian Armed Forces, FLO/TV/LHK, Kjeller, Norway. February 2010.
4. Frigaard, Ø: Undersøkelse av overslag på isolasjonsmateriale til strømvtager til MX 3000 vognsett 3067 and 3068 (Examination of Flashover on Insulation Material to MX3000 wagons no. 3067 and no. 3068. Technical report, no. 100208.03. Norwegian Armed Forces, FLO/TV/LHK, Kjeller, Norway. February 2011.

5. SHT (Statens Havarikommisjon for Transport): Branntillop knyttet til strømvtagere i T-banetog av type MX 3000 (in Norwegian only). (Fire attempt regarding current collectors for the MX 3000 carriages). Preliminary report from the Norwegian Accident Investigation Board. February 2010. Oslo, Norway.
6. Ekenes, I.: UHU-rapport strømvtagere. Dok.id: TS-R0174. Preliminary report from Oslo T-banedrift AS. Oslo, Norway. 2011-02-24.



Technology for a better society

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)



Technology for a better society

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)

---

**Dato:** 24. januar 2011

**Til:** Sintef Energi

**Fra:** Ingvar Fleten

---

## **Vedr.: Strømvaktaker MX3000 vogner**

I det etterfølgende gis et sammendrag av problemene vi har hatt med krepstrømskader på strømvaktakerne for MX3000 vognene i Oslo og historikken på hva som er gjort.

### **1. Bakgrunn**

#### **1.1. 750V DC forsyningen på t-banen i Oslo**

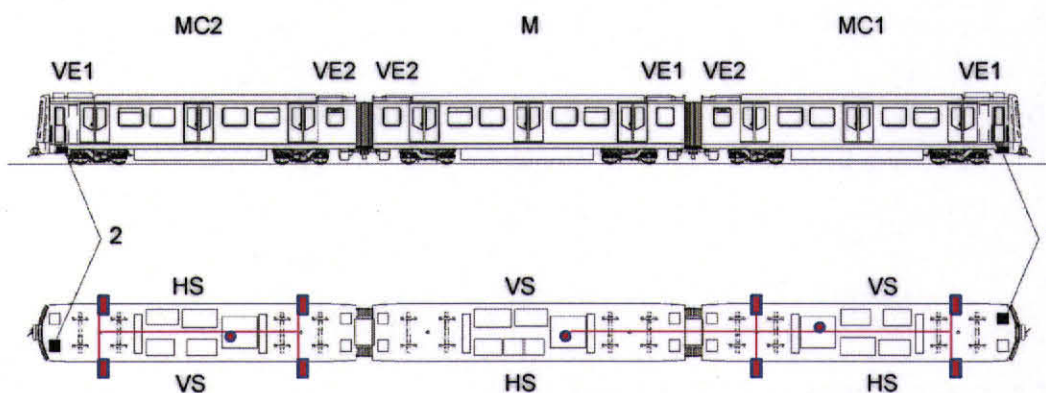
T-banen i Oslo forsynes med 750V DC spenning over en 3je skinne som går langs skinnegangen. T-banetogene er koblet til denne strømskinne vha strømvaktaker på vognene. Disse strømvaktakerne er koblet i parallell innenfor hver vogn, slik at så lenge en av strømvaktakerne på vognen har kontakt med en strømskinne, så er alle 4 strømvaktaker spenningsatt. Returstrømmen går via hjulene gjennom de to togskinnene og tilbake til likeretterstasjonene.



750V forsyningen i infrastrukturen er delt opp i seksjoner der to likeretterstasjoner mater inn på samme seksjon. Seksjonene er skilt fra hverandre ved seksjonsskille på 3je skinne som har en lengde større enn avstanden mellom to strømvaktaker på samme vogn. Dette betyr at vognen mister kontakt med strømskinne ved passering av slike lange strømgap.

#### **1.2. 750V fordeling på vognene**

Alle 4 strømvaktakerne er koblet sammen til et lokalt 750V fordelingsnett på vognen. Dette 750V nettet forsyner traksjonsstrømretter, hjelpestrømretter samt 750V varmeelementer i varmeaggregatene.

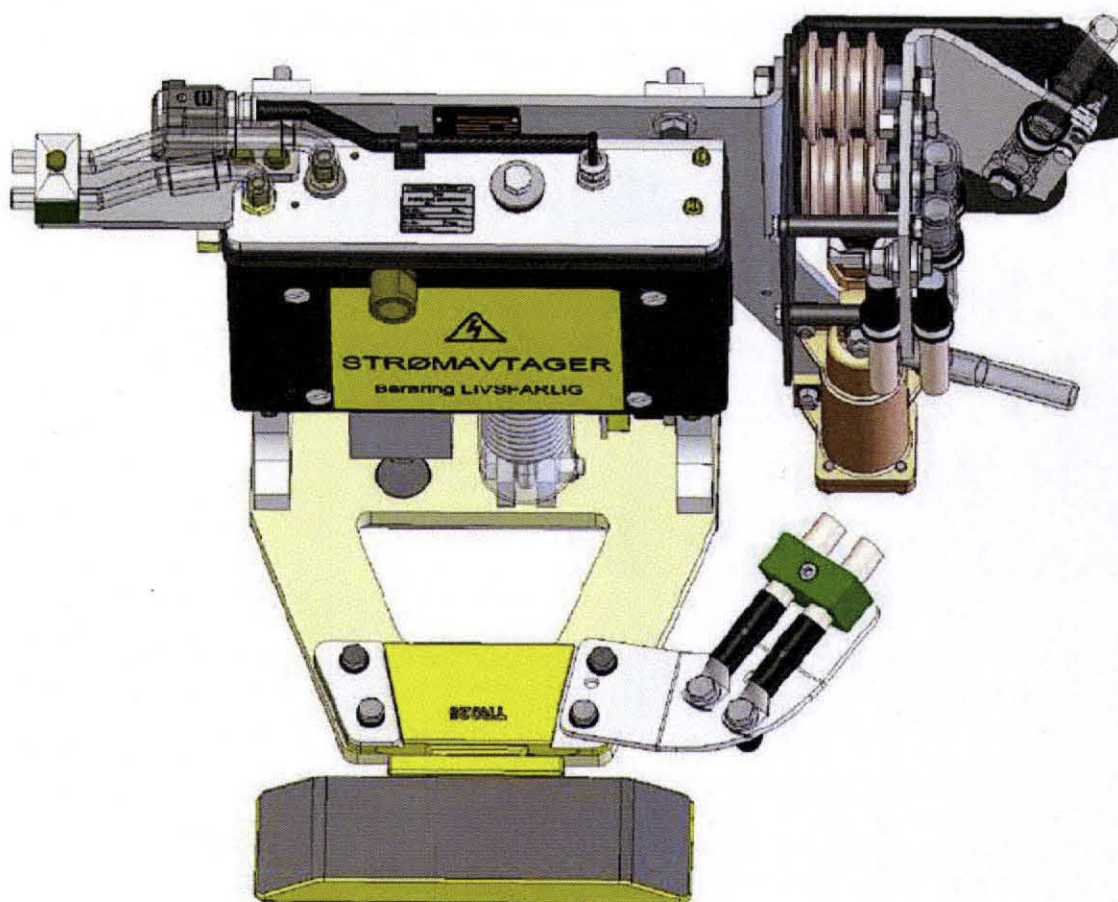


Plassing av strømvaktare

Mellomvognen har ingen strømvaktare og forsynes fra MC1 vognens strømvaktare. (Se forøvrig vedlegg 1).

## 2. Erfaringer med opprinnelig strømvaktar (versjon 1)

### 2.1. Beskrivelse av strømvaktar versjon 1

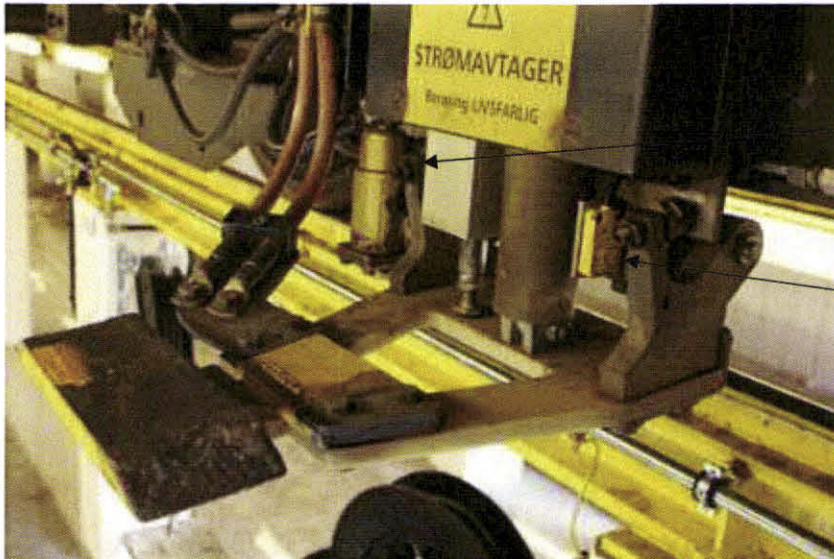


Strømvaktaren består av en jordet del på vognen og en fjærbelastet bevegelig arm som bærer en strømsko av jern. Armen utgjør også isolasjonen mellom 750V og 0V på denne



typen strømavtaker. Ytterst mot strømskoen er det et svakt punkt som skal knekke og slippe strømskoen i tilfelle feil på 3je skinne.

Strømskoen sørger for at en strøm på opp mot 1800A kan overføres fra strømskinnen til vognens forbrukere. Strømavtakeren på MX 3000 vognene er produsert av leverandøren Stemann Technik og er konstruert ihht standarden EN50124 -1 med tilleggskrav fra Siemens. Bl.a. er isolasjonsavstanden doblet i forhold til standardens minstekrav. Se vedlegg 2 for tegning av strømavtaker.



Opprinnelig strømavtaker (versjon 1)

Strømavtakerne har også en jordingsanordning (kan ses til venstre på bildet) som kan jorde strømskinneanlegget. Videre har strømavtakerne på fremste boggi i begge retninger en detektor som melder tilbake til styringssystemet om strømavtakeren er i øvre eller nedre posisjon. Dette signalet brukes for å redusere pådraget rett før man går inn i strømgap –for å redusere rykk og lysbueutvikling mellom strømsko og 3je skinne.

## 2.2. Overslag med strømavtaker versjon 1

De to første MX3000 togsettene ble tatt i bruk vinteren 2006 etter gjennomført testprogram. Fra januar 2007 ble det fasett inn 2 nye togsett per måned. Vinteren 2007 /2008 (23 togsett i trafikk) og 2008/2009 (47 togsett i trafikk) forløp uten noen større problemer med strømavtakerne. Det var imidlertid 2 tilfeller av mindre skader på strømavtaker med ukjent årsak og ett tilfelle med større skade som skyldtes kortslutning mellom strømsko og boggi av ytre årsaker (persienne fra hvilebrakke falt ned på strømsko.)

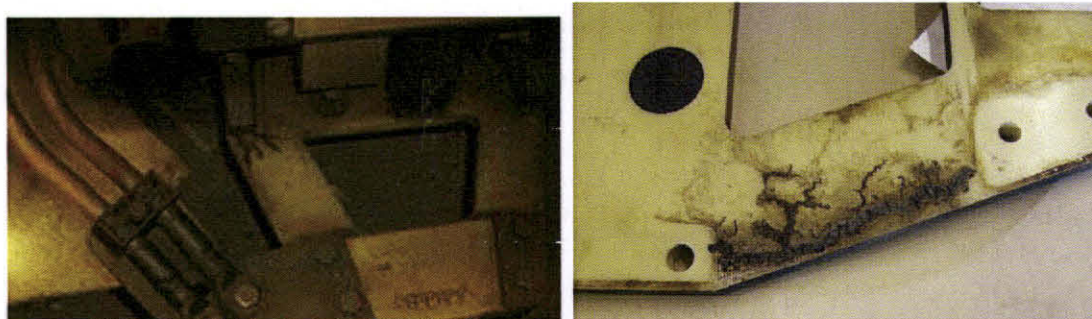
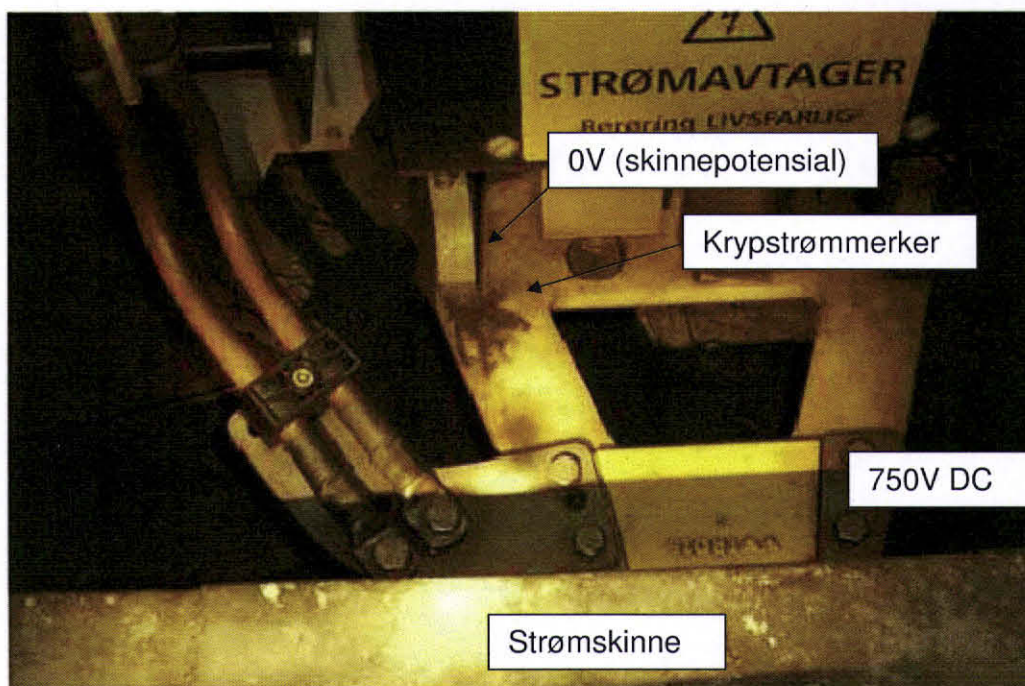
Vinteren 2009/2010 (65 togsett i trafikk) oppstod flere tilfeller av overslag mellom strømsko og karosseri. Noen av tilfellene utviklet seg til alvorlige branner, da overslaget medførte en stående lysbue som ikke ble koblet fra likeretternes strømforsyning. (Årsaken til at kortslutningen ikke ble detektert og koblet ut av linjebryterens kortslutningsvern analyseres som egen sak og omtales ikke her). Disse hendelsene ble også gransket av Statens Havarikommisjon for Transport, se vedlegg 3. En egen rapport fra analyse av krepstrømskadet strømavtakerplate finnes i vedlegg 4.



I alt er det registrert 9 tilfeller av større eller mindre overslag.

### 2.3. Krypstrømskader versjon 1

De ble samtidig observert flere tilfeller av krypstrømskader på strømtakernes isolasjonsplater på mange tog. (se bilder under)



Etter hvert som slike tilfelle ble oppdaget, ble isolasjonsplatene byttet ut.

#### 2.4. Årsaker til overslag med lysbueutvikling

Overslagstilfellene kan tilsynelatende assosieres med en av følgende to årsaker:

1. Overslag forårsaket av krepstrømutvikling. Ansamling av ledene materiale (vann, salt, metallrester, se rapport fra SHT) på overflaten av isolatorplaten medførte økende krepstrømutvikling som utviklet seg til ledende strømbane med påfølgende lysbue mellom festeplate for strømsko og 0V potensial på strømvaktaker.

#### Reasons for arcing

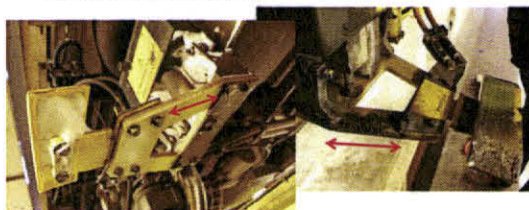
- Creepage current due to pollution on insulatorplate causes flashover



2. Kortslutning som følge av kontakt med fremmedlegemer i sporet som kortslutter og åpner lysbue mellom festeplate for strømsko og 0V potensial på strømvaktaker.

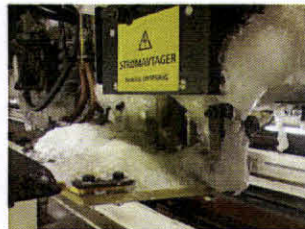
#### Reasons for arcing

- Objects in track short circuit between 750V part and 0V part of current collector



## Additional problem:

Snow and ice accumulation

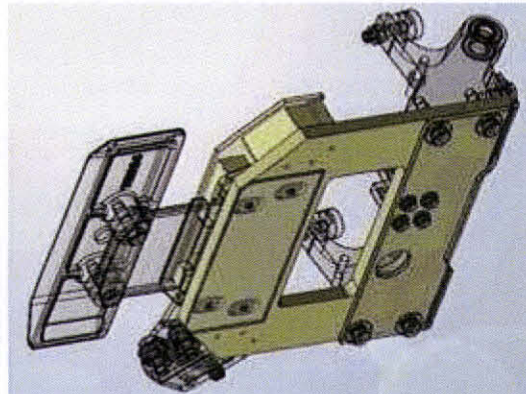
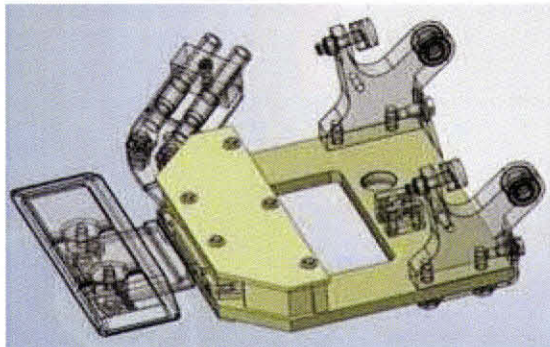


Av de 9 tilfellene kan

- 2 tilfeller klart knyttes til årsak nr. 1
- 3 tilfeller til årsak nr. 2
- resterende tilfeller kan være årsak 1 eller 2, evt. en kombinasjon av disse årsakene.

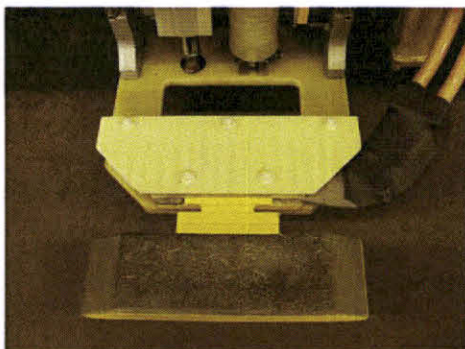
Flere umiddelbare tiltak ble innført vinteren 2010. På vognene ble alle strømvaktene kontrollert for skader, skader reparert og ekstraordinært renhold ble innført. I tillegg ble det iverksatt tiltak for å sikre at sporet ble holdt mest mulig fritt for ledende fremmedlegemer. Samtidig ble Siemens med underleverandør Stemman satt i gang med å se på mulige konstruksjonsendringer på strømvaktene i samarbeid med OVS, OTD og KTP.

### 3. Strømvakter versjon 2



Ny løsning bygget på det samme prinsippet med en isolerende strømvakterplate. Det var viktig raskt å kunne gjennomføre ombygging av hele flåten med 664 strømvaktene før neste vintersesong. Den løsningen man valgte (versjon 2) gav følgende forbedringer (se vedlegg 5 for tegning):

1. Betydelig økt krepstrømvastand mellom spenningsførende deler og 0V. Dette ble oppnådd gjennom ny isolasjonsplate med bredere base, isolerende kant foran strømskoens innfestingsplate og isolerende deksel over samme innfestingsplate (se bilde)



2. Bedre beskyttelse mot fremmedlegemer som kan kortslutte mellom strømsko og 0V
  - a. Den bredere isolasjonsplaten rydder nå vekk fremmedlegemer uten at disse kortslutter 750V mot 0V.
  - b. Lokk over spenningsførende innfestingsplate beskytter mot objekter som kan falle oppå strømsko
  - c. De spenningsførende mutterne på undersiden av isolasjonsplaten også dekket med isolerende materiale. Dette er spesielt viktig ved mangelfull brøyting når sporet er pakket med snø og strømvaktakeren subber nedi snølaget. Fremmedlegemer kommer da lett i berøring med undersiden av strømvaktakeren.



Versjon 2



versjon 1

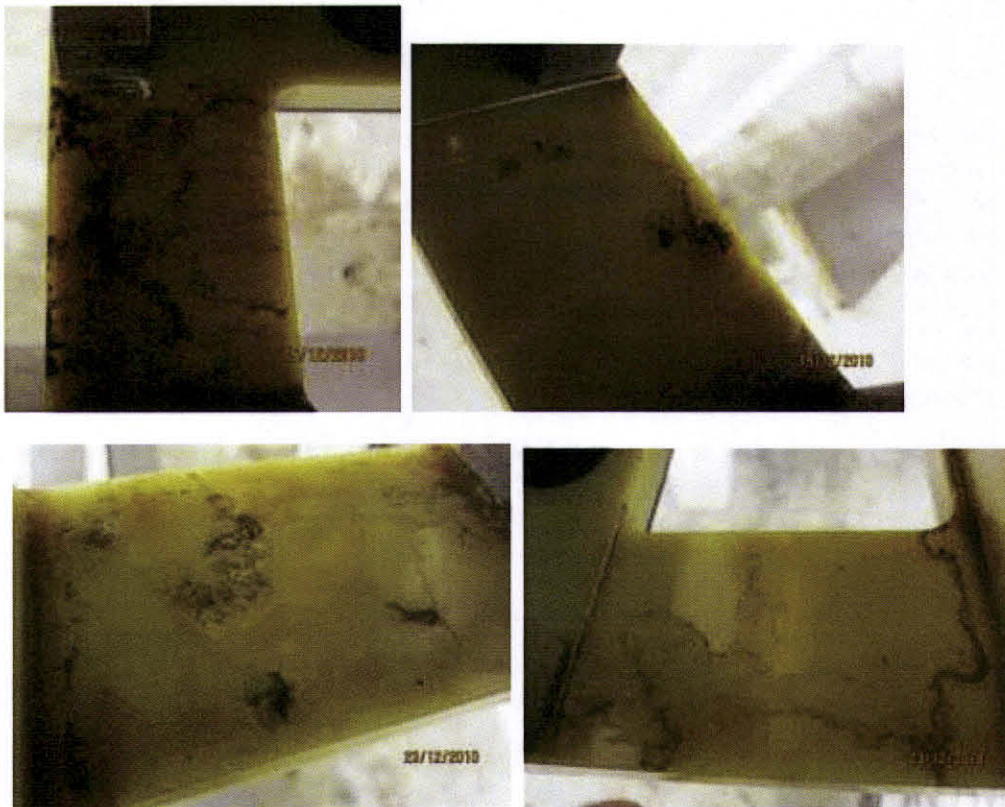
- d. Kabeltilkobling isolert med krympestrømpe.
3. Betydelig økt luftavstand mellom spenningsførende deler og 0V. Denne avstanden er avgjørende for om en lysbue kan bli stående etter at den er initiert av ulike grunner.
4. Det er innført jordingslisse mellom den bevegelige delen av strømvaktakerens og karosseri. Denne skal sikre at bevegelig del av karosseriet har definert 0V nivå og sikrer bedre deteksjon fra av kortslutning gjennom mindre overgangsmotstand.
5. Det er i ettertid også fremkommet at overflaten på isolatorplaten mellom 750V og 0V er lakkert på oversiden.

En av forutsetningene for disse endringene var at de relativt raskt kunne implementeres på alle togsett, før neste vintersesong. Den nye løsningen ble implementert på ett tog i mai 2010 for verifisering. Hele flåten ble deretter bygget om i perioden juli – oktober 2010.

### 3.1. Erfaringer med strømavtaker versjon 2

Det har ikke vært tilfeller av kortslutning over isolasjonsplaten med versjon så langt, men fra desember 2010 begynte det å komme inn rapporter om at det var observert "glimming" på den ombygde strømavtakeren. Videre er det funnet en rekke tilfeller med mindre krypstrømskader på versjon 2, som ligner på tidligere skader. Per i dag er det identifisert over 40 slike skader. For ikke å risikere at krypstrømskadene utvikler seg til ledende baner og kortslutning, blir skadede isolasjonsplater byttet eller reparert ved pussing med fint sandpapir og lakkering.

Disse skadene ser noe annerledes ut enn de som ble observert på versjon 1. Strømbanene går ofte på tvers av feltreringen og varmeskadene ser ut til å være dannet i utkanten av vannansamlinger som tørker.



### 3.2. Årsaker til skadene versjon 2

Det synes klart at versjon 2 er utsatt for lignende type krypstrømskader som versjon 1, men i noe mindre omfang.

Skadene har trolig sammenheng med at det ansamles forurensing og fuktighet på overflaten av isolatoren. Standarden EN 50124-1:2001 beskriver i kapittel 2.6.1.1 en såkalt "tracking erosion" effekt som stemmer ganske godt med våre erfaringer. Dette oppstår når forurenset fuktighet leder lekkasjestrøm på overflaten av en isolator. Lekkasjestrømmen som går gjennom denne fuktigheten blir brutt i de små gapene som oppstår når fuktigheten tørker. Spenningen som oppstår over dette bruddet er da nok til å skape små overslag (glimming) som igjen gir brannskår på overflaten.

At skadene har kommet så raskt på versjon 2 er overraskende. Vi spekulerer i om den påførte lakken kan ha hatt en negativ effekt på motstandsdyktigheten mot krypstrøm.

En annen observasjon er at ca 80 % av skadene oppstår på den siden av strømvaktararmen som ligger nærmest kabelføringen. Denne delen er mer utsatt for høye elektriske felter som følge av nærhet til kabelføringen.

Det er også registrert høyere antall skader på de strømvaktene som bryter den største strømmen ved passering av strømgap. Dette kan ha sammenheng med at disse er mer utsatt for partikler fra lysbue mellom strømsko og strømskinne.

#### **4. Spørsmål til Sintef**

Et eventuelt oppdrag til Sintef Energi vil omhandle bistand til følgende:

1. skaffe klarhet i årsakene til skadene på strømvaktar versjon 2
2. vurdere skadeutviklingshastighet med hensyn på risiko for overslag /lysbueutvikling
3. vurdere godhet av nye løsninger som skal tas frem

#### **5. Vedlegg**

- Vedlegg 1 750V fordeling MX3000
- Vedlegg 2 Tegning strømvaktar versjon 1
- Vedlegg 3 Rapport SHT
- Vedlegg 4 Rapport FFI
- Vedlegg 5 Tegning strømvaktar versjon 2

Vennlig hilsen  
Ingvar Fleten  
Teknisk prosjektleder  
MX-prosjektet