


RAPPORT

JB 2008/09



RAPPORT OM PROBLEMER MED HJULLAGER PÅ FLYTOG I TIDSROMMET 2005-2006

 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.

INNHOLDSFORTEGNELSE

MELDING OM HAVARIET	3
SAMMENDRAG.....	3
ENGLISH SUMMARY	4
1. FAKTISKE OPPLYSNINGER	5
1.1 Bakgrunn for undersøkelsen	5
1.2 Undersøkelsen.....	6
1.3 Skadebeskrivelser	6
1.4 Rullende materiell	7
1.5 Regler og forskrifter.....	14
1.6 Historikk på togsett type 71	14
1.7 Vedlikeholdsleverandører	16
1.8 Samspill Menneske – Teknikk – Organisasjon.....	16
1.9 Tidligere lignende hendelser	16
1.10 Infrastruktur	17
1.11 Trafikkledelse	17
1.12 Kommunikasjonskanaler.....	17
1.13 Rutiner for styring av underleverandører.....	18
1.14 Regler for vedlikehold av rullende materiell	18
1.15 Brann.....	18
1.16 Undersøkelser	18
2. ANALYSE.....	20
2.1 Følgende forhold er avdekket:	21
2.2 Mulige hypoteser	22
3. KONKLUSJON	24
4. SIKKERHETSTILRÅDINGER	25
5. REFERANSER	1
6. VEDLEGG.....	2

RAPPORT OM LAGERHAVARIER

I tidsrommet januar 2005 – september 2006 har det blitt innrapportert flere tilfeller av lagerproblemer på flytog type 71. Havarikommisjonen besluttet å foreta en undersøkelse angående dette. Interfleet AS har bistått SHT med å samle inn informasjon og gå gjennom utarbeidede rapporter.

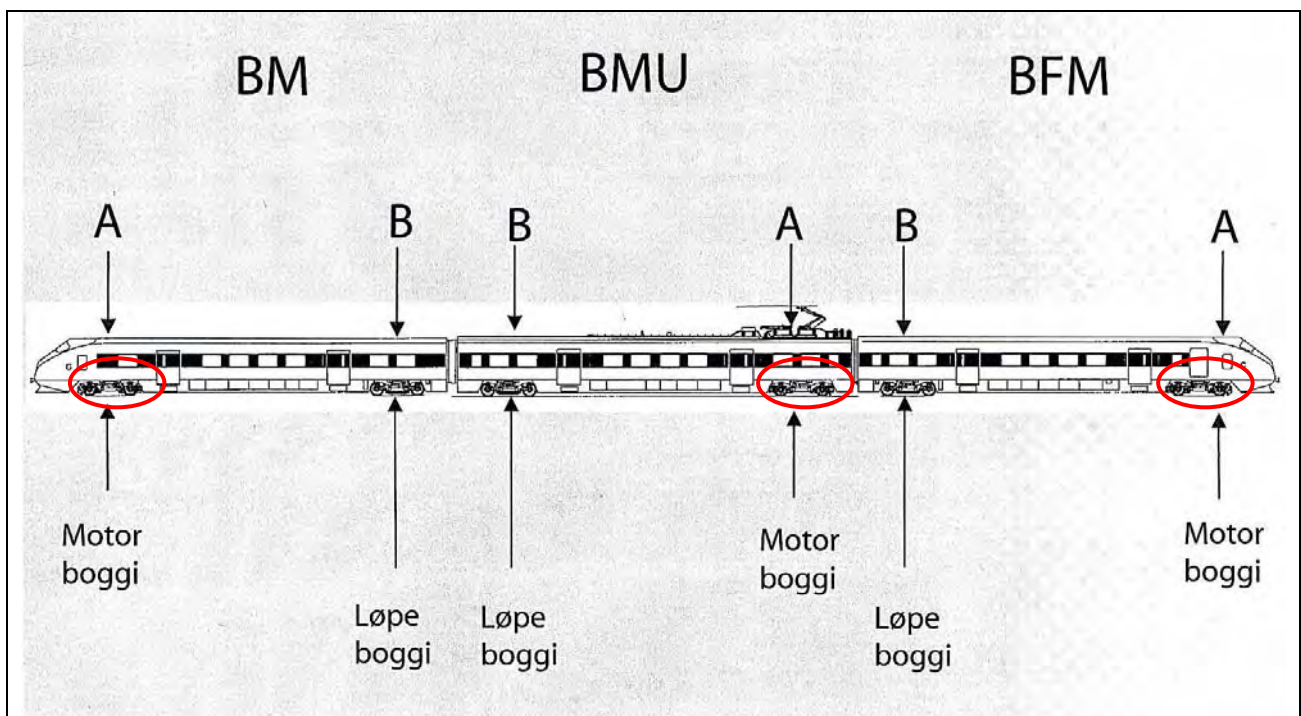
MELDING OM HAVARIET

Meldingene om lagerhavariet har i henhold til forskriften fortløpende blitt innrapportert fra Flytoget AS til vakthavende havariinspektører hos SHT.

SAMMENDRAG

Ved flere tilfeller i 2005 – 2006 har det oppstått varmgang i hjullagere på Flytog type 71. Hendelsene har vært likeartet og alvorlige og ved ett tilfelle var det nært et fullstendig lagerhavari.

Nesten alle tilfeller av varmgang har vært på togets BMU-vogn (mellomvogn), dvs. vognen med hovedtransformator og hvor togets strømvogter er plassert. Alle tilfeller har vært oppdaget før fullstendig lagerhavari, og skader har vært begrenset til lager og i noen tilfeller til gummideler i primærfjæringen.



Figur 1: Flytog. Røde ringer markerer returstrømssystemenes plassering. (Tilsvarende på togets andre side, 6 stk totalt).

De direkte årsakene til lagerhavariene er mest trolig at lagerets fett har blitt forurenset av støv fra returstrømssystemet. Dette støvet kommer delvis fra børstene og delvis fra

kontaktskiven i bronse og inneholder en høy andel av kobber og grafitt. Når fettets blir forurenset med støvpartikler reduseres fettets smørende egenskaper. Dette førte til økt friksjon og varmgang.

Lageret har en såkalt labyrinttetting. Denne er ikke fullgod og kan ved ugunstige forhold føre til at forurensninger trenger inn i lageret. Hvilke mekanismer som gjør at støvet trenger inn er ikke klart, men det antydes at det kan være en kombinasjon av trykkforhold i forbindelse med tunneler, varmevekslinger og sentrifugaleffekter som skyldes lagerets rotasjon. I tillegg kan rusthindrende olje som har lekket ut fra hulrommet i akselen og blandet seg med støvpartikler, eller fuktighet, vært medvirkende til å bryte ned fettets smøreevne.

Tilsvarende tog av NSB type 73 har ikke hatt samme problem med tilsvarende støvdannelse, hvilket kan indikere at togets lavere strømforbruk og turtall på hjul kan være medvirkende faktorer. Type 73 går i en annen type trafikk og gjennomsnittlig i vesentlig lavere hastigheter.

Type 73 har et krensesystem. Det er ikke flytog type 71 er utstyrt med. Type 73 har en mellomvogn i tillegg, så et togsett består av fire vogner.

Det har i senere tid blitt foretatt en sentrering av sleperingene. Dette ser ut til å ha bidratt til at det dannes mindre støv enn tidligere. I tillegg har hulrommet i aksel blitt tettet med bedre type O-ringer slik at forurensninger i form av rusthindrende olje ikke kan nå lager og returstrømsystem og blande seg med kullstøv og kobberpartikler.

Børstesystem med lagerhus inspiseres og rengjøres på hver 100 000 km. Hvis børstene er slitt ned mer enn 20 mm, blir disse skiftet. Trykket på børstene blir også kontrollert på hver 100 000 km.

ENGLISH SUMMARY

On several occasions in 2005 – 2006 overheating occurred in the wheel bearings on the Flytog (Airport Express Train) type 71. The occurrences have been homogenous and serious and in one case was close to a complete bearing breakdown.

Nearly all cases of overheating have been on the train's BMU, i.e. the carriage with the main transformer where the train's current collector is situated. All incidents have been discovered before a complete bearing breakdown occurred, and damage has been limited to bearings and in some cases the rubber part of the primary suspension. In one case a bearing was very close to total breakdown.

The direct cause of the bearing breakdowns is most likely contamination of the bearing grease by dust from the return current system. This dust comes in part from the brushes and partly from the bronze contact washer and contains a high percentage of copper and graphite. When the grease becomes contaminated by dust particles this reduces the lubricating characteristics of the grease, leading to greater friction and overheating.

The bearing has what is called a labyrinth seal. This is not a satisfactory seal and can under unfavourable conditions lead to the penetration of contaminants into the bearing. The mechanism that causes dust penetration is not clear, but it has been suggested that it

may be a combination of pressure conditions in connection with tunnels, heat exchanges and centrifugal forces caused by the rotation of the bearing. In addition, rust-inhibiting oil that leaked out from the cavity in the axle and became mixed with dust particles, or moisture, may have contributed to deterioration of the lubrication properties of the grease.

The comparable NSB type 73 train has not had the same problem with comparable dust formation, which may indicate that the power consumption of the train and rotational speed of the wheels may be contributing factors. Type 73 operates in a different type of traffic where the average speed is substantially slower.

Type 73 has a tilting system which the airport express train type 71 is not fitted with. Type 73 also has a BMU, so a train set consists of four carriages.

The slip rings were recently centred. This is apparently causing less dust to form compared to the past. In addition, the cavity in the axle has been sealed with better O-rings so that contaminants in the form of rust-inhibiting oil can reach bearings and the return current system and mix with coal dust and copper particles.

The brush system and bearing housing are inspected and cleaned every 100,000 km. The brushes are replaced if they have more than 20 mm of wear. The pressure on the brushes is also checked.

1. FAKTISKE OPPLYSNINGER

1.1 Bakgrunn for undersøkelsen

Det har i 2005 og 2006 vært flere tilfeller av varmgang i hjullager på Flytoget type 71. Ved inspeksjon av lager er det funnet store mengder kullstøv og kobberpartikler som stammer fra returstrømsystemet. Havarikommisjonen har gjennomført en undersøkelse siden lagerhavari kan ha et stort ulykkespotensiale.

Varmgang har i de fleste tilfeller inntruffet på mellomvogn litra BMU. Togsettets BMU-vogn inneholder togets hovedtransformator. Togets strømvogter sitter også på denne vognen. Det betyr at det går vesentlig større returstrøm gjennom BMU-vognen enn i de andre to vognene. Dette kan indikere at problemstillingen ikke bare er mekanisk. Det hører med at disse problemene ikke har forekommet på NSBs tog type 73 (tidligere Signatur), selv om disse togene er av nær identisk konstruksjon, men går i et annet rutemønster.

Ved en av hendelsene ble togleder varslet av lokomotivføreren på et godstog som meldte om røykutvikling fra et møtende flytog fra Gardermoen i retning Oslo S. De andre tilfellene er oppdaget av flytogførere og under rutinemessige verkstedkontroller.

Det er innført 100 000 km intervall på inspeksjon av støvmengde. Det har ikke vært avdekket støvansamlinger av betydning under disse inspeksjonene, men små mengder støv har i enkelte tilfeller blitt fjernet.

Flytoget AS har på eget initiativ fått utviklet et avansert system for tilstandskontroll på alle lager, ved å måle vibrasjon og overvåke temperatur på lager via sensor på lagerboksen. Systemet er i en utprøvningsfase.

Undersøkelsen har vært tidkrevende. Det har vært vanskelig å finne en direkte årsak. Interfleet Technology AB har bistått havarikommisjonen i undersøkelsen.

1.2 Undersøkelsen

Undersøkelsen rettet seg mot:

- Generell teknisk gjennomgang av returstrømsystem og lager.
- Gjennomgang av tidligere utredninger og rapporter etc. (Flytoget, SKF og Bombardier).
- Vedlikehold og ettersyn.
- Om tilsvarende problem finnes på andre materielltyper.
- Forsøk på å finne årsak til problemet, eventuelt foreslå videre arbeid eller målinger.

1.3 Skadebeskrivelser

1.3.1 Personskader

Det oppstod ingen personskader ved noen av disse hendelsene.

Tabell 1: Personskader

Skader	Besetning	Passasjerer	Andre
Omkommet			
Alvorlig			
Lett			
Ingen	0	0	

1.3.2 Skader på involvert materiell

Ved ett tilfelle var det nær totalhavari på hjullager i tog av type 71. Det skjedde på togsett 71-12 den 24. januar 2005 hvor varmgang ble oppdaget på Lillestrøm stasjon. Hendelsen inntraff i lager på BMU-vogn med jordingsbørste for returstrøm. Røykutviklingen fra lageret ble oppdaget av en lokomotivfører på et møtende godstog. Flytoget ble stanset på Lillestrøm stasjon etter at togleder hadde fått melding over togradio fra lokomotivføreren i godstoget.

Ved ytterligere tre tilfeller i 2005 og ett tilfelle i 2006 har det vært forhøyede lagertemperaturer på lager på BMU vogn med jordingsbørste for returstrøm. Mest alvorlig var varmgang i lager på togsett 16 som skjedde den 4. september 2006.

Ved hendelsen den 24.01.2005 ble lageret så skadet at det ikke kunne revideres. Ruller og rullebaner var fortsatt intakte, men hadde hatt svært høy temperatur. I tillegg var gummifjær i primærfjæring smeltet av varme som var utviklet fra lageret. I de andre

tilfellene har lageret hatt meget høy temperatur. Det har vært fastmantlet fett i rullebaner, slik at revidering av lager ikke har vært tilrådelig.

Det har ikke vært avdekket spesielle ytre forhold som kan ha vært medvirkende årsak til havari. Det er alltid en risiko for vanninntrengning i lager i forbindelse med rengjøring og isfjerning med varmt vann. I tillegg kan kjøring ut og inn av varme tunneler om vinteren føre til kondensdannelse og fuktinntrengning i viktige komponenter som lagere.

Type 71 benyttes av Flytoget AS, og togsettene vedlikeholdes av Mantena AS i Lodalen. Havarikommisjonen har fått opplysninger om at det ikke blir benyttet varmt vann eller høytrykk til isfjerning på boggier.

1.3.3 Skadebeskrivelse av infrastruktur og kjørevei

Infrastruktur og kjørevei har ikke blitt påført skader ved noen av disse hendelsene.

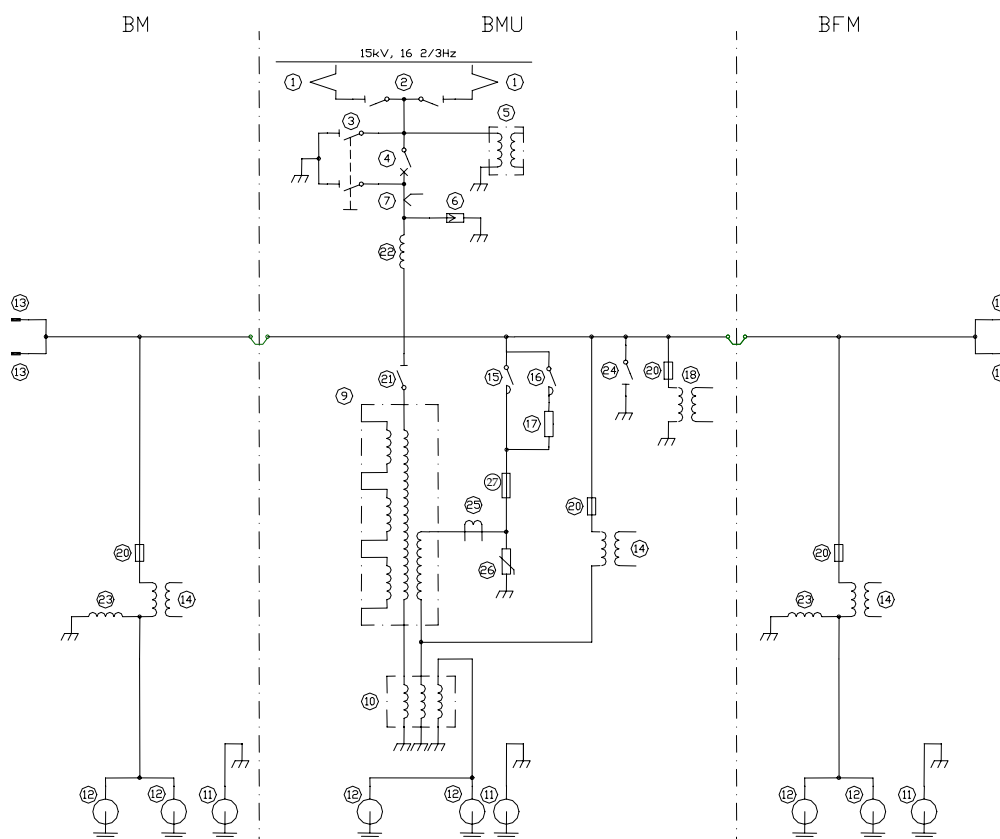
1.4 **Rullende materiell**

Type 71 har to typer boggier, boggi med traksjon og boggi uten traksjon. Hver vogn har en boggi av hver type. Traksjonssystemet er bygget opp med transformator i mellomvogn og med traksjonsomformere fordelt på hver av de tre vognene. Vognene er gitt følgende litra:

- BM - vogn med førerrom og traksjon.
- BMU - mellomvogn med transformator, pantograf og traksjon.
- BFM - vogn med førerrom, traksjon og godsrom.

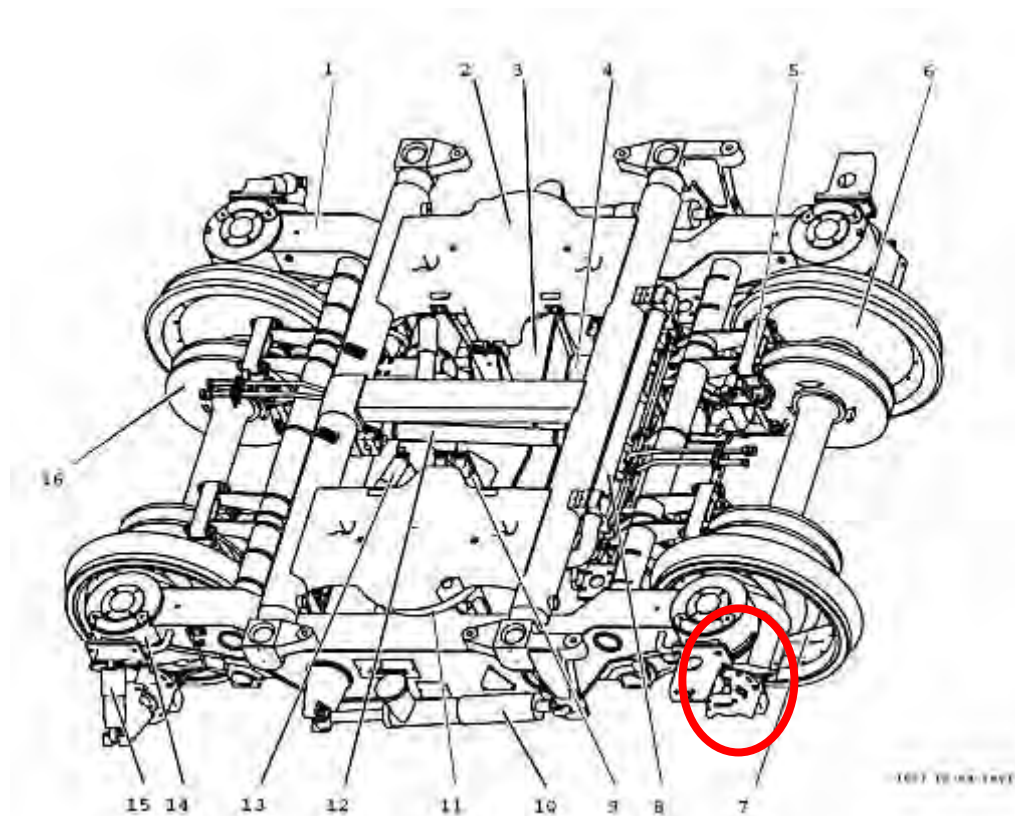
På et tog med elektrisk traksjon forsynes toget med strøm fra kjøreledning via togets strømvtager (pantograf). Strømmen går deretter via transformator og banemotorer ned til jordingssystem og tilbake til skinnegangen via hjulene (se figur 04). Transformatoren reduserer spenningen og forsyner traksjon og øvrige system med strøm. For å føre strømmen til hjul er det anordnet et system som overfører strømmen til det roterende hjulet uten at strøm går igjennom boggiens hjullager.

Den vanligste måten å gjøre dette på er å anbringe jordingsbørster på akselens ende. Det er en slik løsning Type 71 har på motorboggiene. BMU vogn har en børste for returstrøm på motorboggi og en på løpeboggi. Den siste børsten er en sikkerhetsjord (kassejord) i tilfelle feil på elektriske system eller kjøreledning.

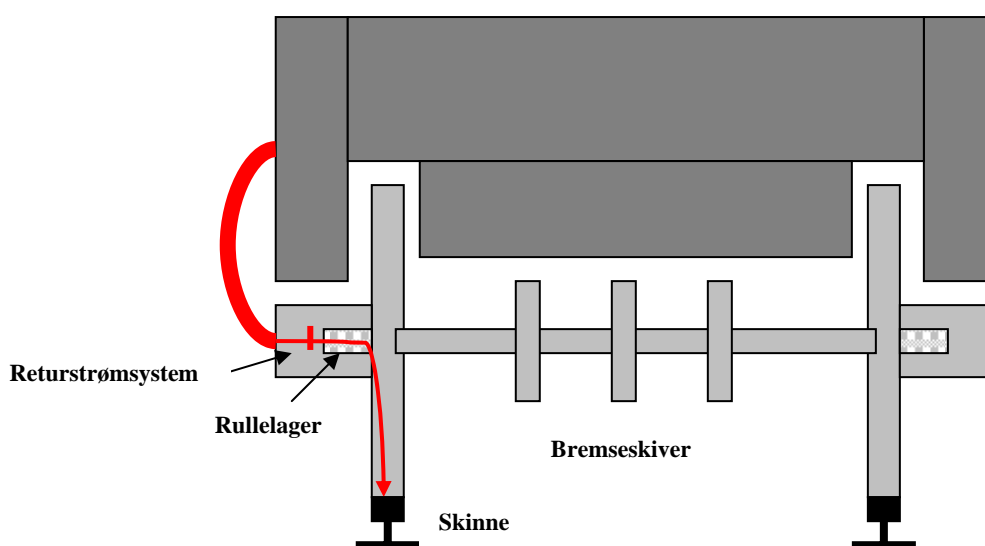


Figur 2: Skjema over togets høyspenningssystem.

Pos	Benevnelse	Pos	Benevnelse
1	Strømvaktaker	14	Togvarmetransformator
2	Skillebryter for strømvaktaker	15	Togvarmekontaktor
3	Jordningsenhet 15kV	16	Innkoblingskontaktor
4	Høyspenningsbryter	17	Innkoblingsmotstand
5	Linjespenningstransformator	18	Transformator
6	Ventilavleder	20	Sikring
7	Linjestrømtransformator, 15 kV og overstrømsbeskytter	21	Hovedtransformator, skillebryter
9	Hovedtransformator	22	Linjefilterinduktor
10	Jordningstransformator	23	Jordningsdrossel
11	Returstrøm, kassejordning	24	Jordningskniv, togvarme
12	Returstrøm, strømtilbakeføring	25	Strømtransformator, togvarme
13	Togvarmetilkobling	26	Overspenningsvern
		27	Sikring



Figur 3: Viser hvor på boggien returstrømsystem og rullelager er plassert.



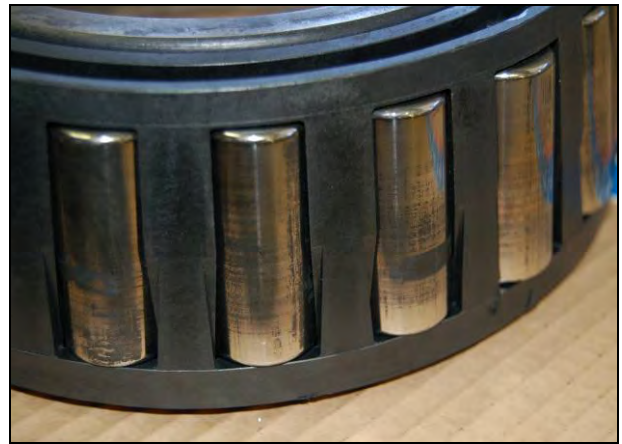
Figur 4: Viser hvordan returstrømmen ledes fra vogn mot skinne.

1.4.1.1 Boggens hjullager

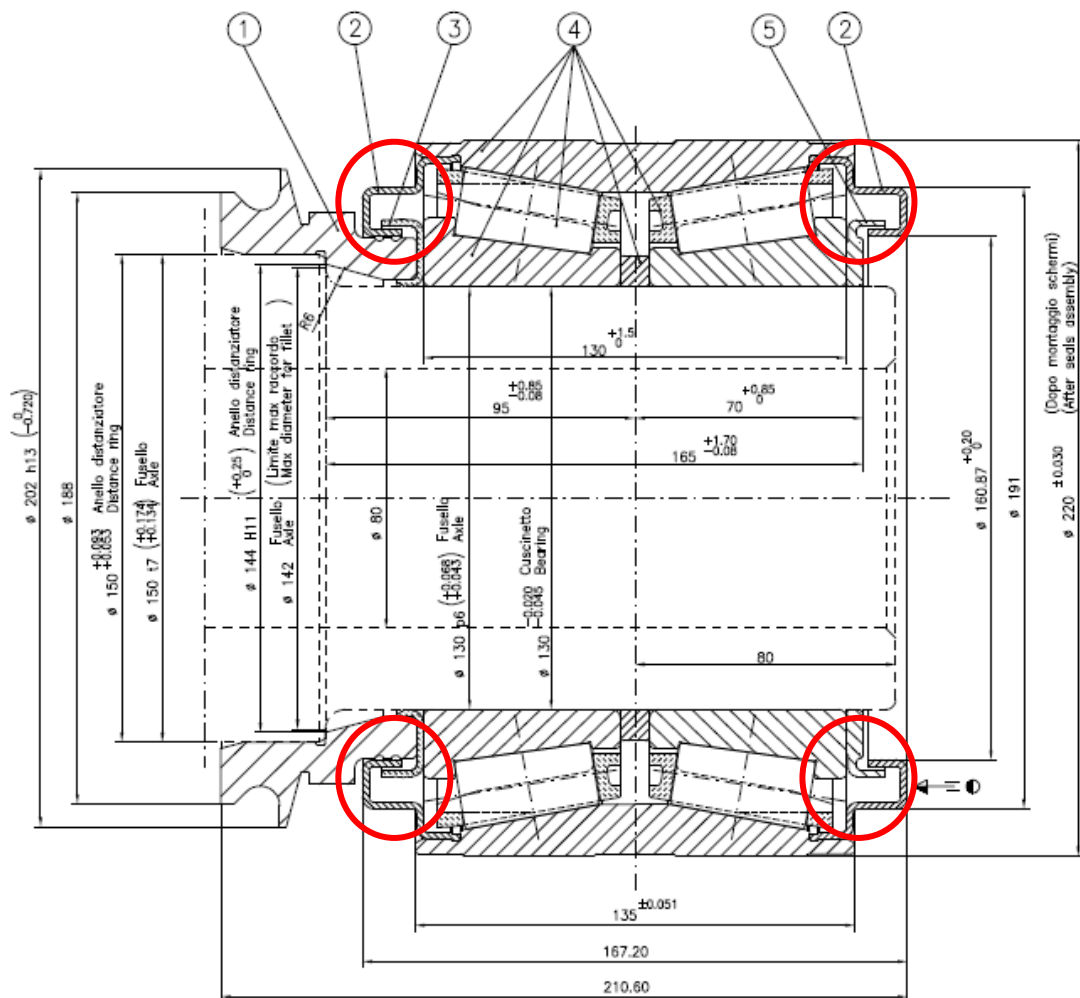
Lagrene på boggien er av type TBU 130x220 1639418 BA med lager benevnt BT2B 641230 A og er levert av SKF. Lageret er av type konisk rullelager med labyrinttetning på hver side.



Figur 5: Bilde av rullelager før rengjøring.



Figur 6: Viser defekt rullelager etter at rengjøring er foretatt.



Figur 7: Rullelagerets oppbygging. Labyrintetning er pos. 2.

Lagerberegningen er gjort iht. belastninger som krengetog med laterale akselerasjoner på opptil $1,8 \text{ m/s}^2$. Dette er en høyere belastning enn det som lager på Type 71 blir utsatt for i og med at Type 71 ikke er et krengetog. Lagerberegning anbefaler et revisjonsintervall på 600 000 km med L10 beregnet til 1,8 mill km. L10 angir 10 % sannsynlighet for initiering

av utmattingskade. Dette intervallet er økt til 800 000 km for type 71, men beholdt på 600 000 km for type 73. Bakgrunnen er at type 71 i hovedsak går på spor av bedre kvalitet enn type 73, samt at type 73 er et krengetog med derav større laterale belastninger på lageret.

1.4.1.2 Jordingsbørste

Hver vogn har 3 jordingsbørster levert av Ferraz. To av jordingsbørstene er en del av strømkretsen, mens den siste brukes til sikkerhetsjording av vognkassen. Sikkerhetsjording har til hensikt å sørge for at vogn har samme spenningspotensiale som skinnegang og omgivelser slik at det ikke er risiko for personskader eller andre typer ulykker. Dette er spesielt viktig ved ulykke der kjøreledning faller ned, eller ved feil med strømforsyning på toget.

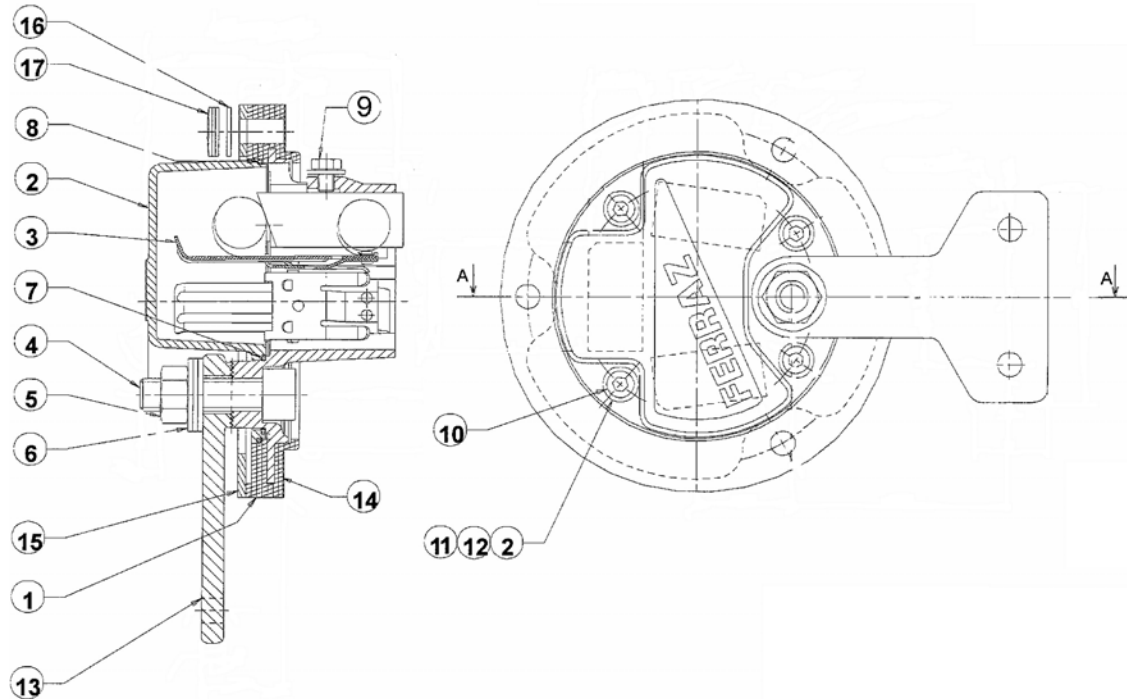


Figur 8: Jordingsbørster.

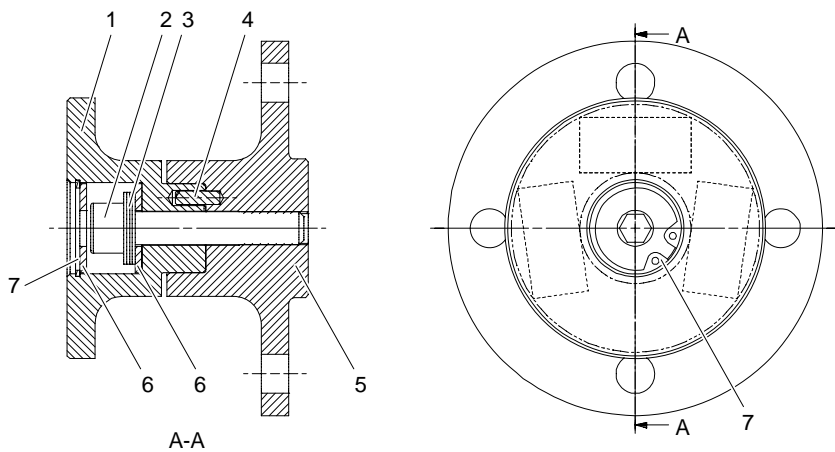
Som en ekstra sikkerhet er det montert tilleggsjording av vognkasse, via boggiramme og lagerboks. Dette i tilfelle hvis det skulle oppstå svikt i den ordinære jordingen. Jordingsbørsteenhet består av tre børster som sleper mot en kontaktskive i bronse med en legering benevnt UE8Ni 3P. Metallgrafittbørstene er benevnt MC689 eller MC664. Kontaktskiven ble høsten 2003 byttet fra en type uten sentrering til type med sentrering. Se vedlegg 3, figur 20 og 21.

Jordingsbørsten har følgende spesifikasjon:

- Maksimalt turtall: 1700 rpm.
- Maksimal kontinuerlig strøm: 600A
- Maksimal kortvarig strøm: 10kA i 100ms
- Maksimal strømtopp: 27kA



Figur 10: Jordingsbørste og børsteholder.



Figur 11: Kontaktskive, pos 1 er selve kontaktskiven.

Type 71 har en effekt på 2 646 kW + togvarme totalt ca 3 000 kW. Det gir en strøm på 200A dvs. godt under nominell kapasitet for en børste. Maksimal hastighet på 210 km/t gir ca 1 285 o/min for hjul.

1.4.1.3 Aksel

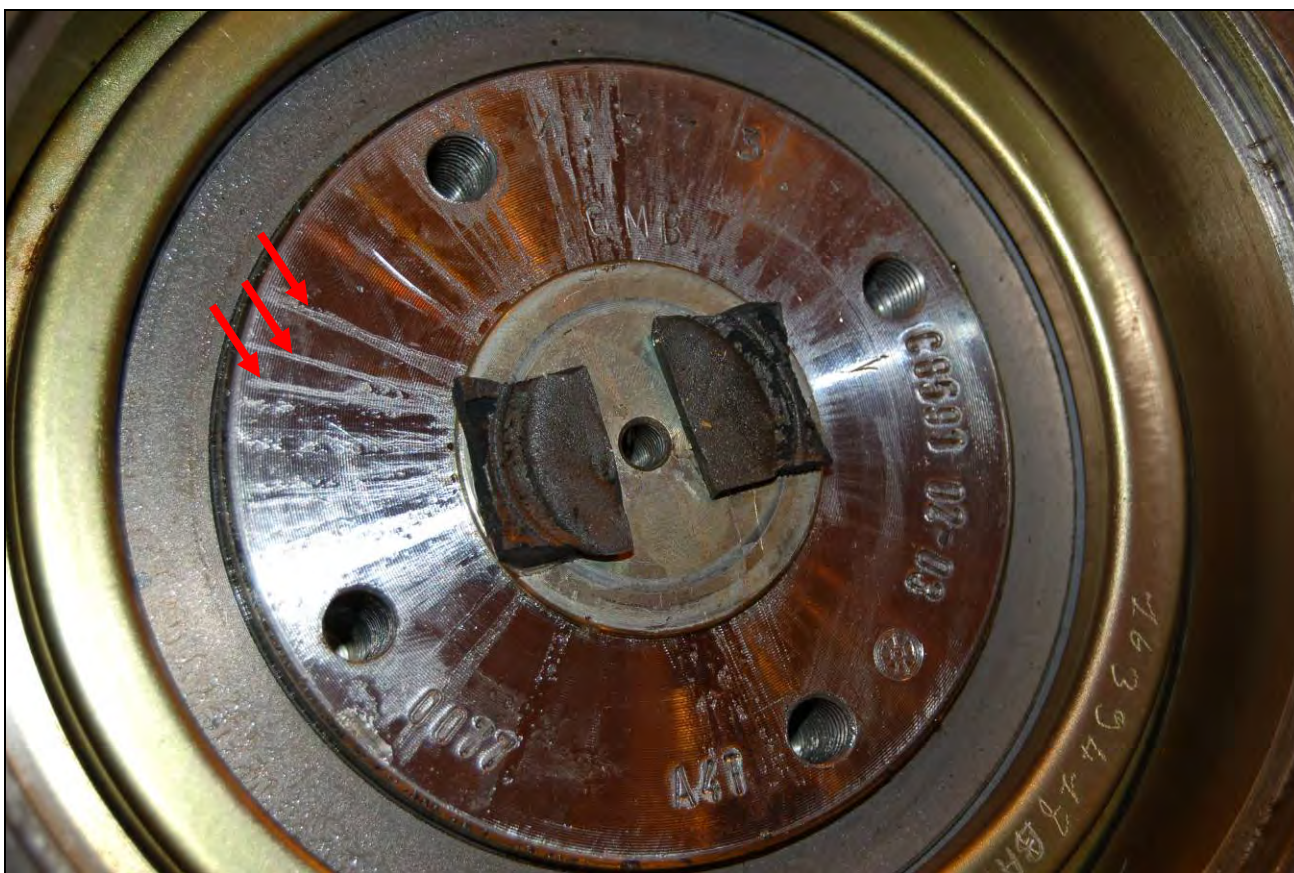
Akslene er hule med et hull på Ø30mm. Dette for å underlette inspeksjon av aksel og muliggjøre bruk av ultralyd probe. For at aksel ikke skal korrodere på innsiden er det anvendt Dinitrol rusthindrende olje inne i aksel. Hullet er stengt med en akseltapp med O-ringer i hver ende på akselen. Akseltappen sitter innenfor kontaktskiven (se figurene 11 og 12). Det har under undersøkelsen blitt oppdaget at flere av O-ringene var skadet slik at dinitrololje hadde lekket ut og blandet seg med børstestøvet.



Figur 12: Akseltapp for tetting av hulrom i aksel.



Figur 13: Viser bilde av skadet O-ring



Figur 14: Strekene viser dinitrololje som har lekket ut og blitt slynget ut av hulrommet i akslingen.

1.5 Regler og forskrifter

Toget skal tilfredsstill BEA-RM (Bestemmelser for Elektriske Anlegg i Rullende Materiell) og FEB-91 (forskrifter for elektriske Bygningsinstallasjoner). Elektrisk funksjon må garanteres innenfor IEC norm 850 og EN 50163 10,5kV to 18,5kV og kortvarig 19 kV. Boggi er konstruert iht. UIC 515.

1.6 Historikk på togsett type 71

I tidsrommet 2002 til 2003 ble boggiene på Type 71 byttet til en ny type. Ved dette byttet ble jordingsbørstene flyttet over fra den gamle boggien til den nye. Den 20/8-2003 skjedde et nestenhavari på togsett 71-10 på grunn av feilmontert kontaktskive. Etter dette ble kontaktskiver byttet til en ny type med sentrering. (Pos 1 i figur 4) I 2005 ble tetning på hulaksel sterkt forbedret. Her hadde det sittet 2 stk. O-ringer som ikke ga brukbar tetning på grunn av feil pasning og skader, se figur 11.

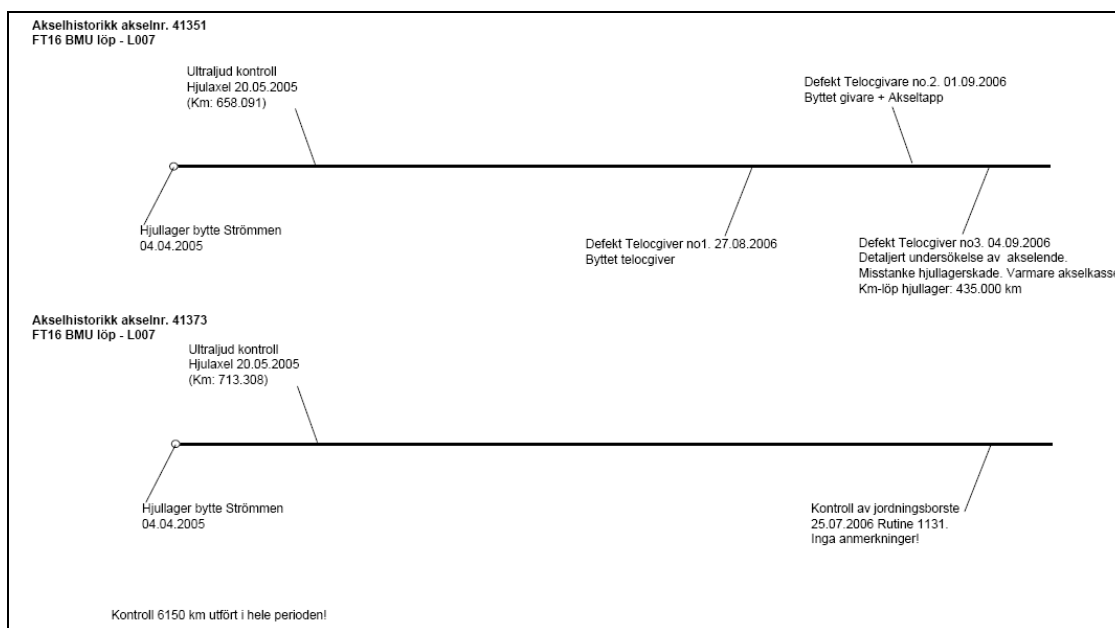
Alle hendelser frem til og med 2005 skjedde på aksler med dårlig tetning. Det er ikke avdekket at materiale i jordingsbørste eller kontaktskiver har vært endret. Totalt har det vært 5 hendelser med betydelig varmgang hvorav ett tilfelle har vært svært nær fullstendig lagerhavari, dvs. nedsmelting av lagerruller.

Dato	Togsett	Lager	Kommentar
24/1-2005	71-12	På BMU – lager med jordingsbørste, returstrøm 06-02 03146	Nær fullstendig lagerhavari – lager svært varmt
Januar 2005	Ukjent	Lager med jordingsbørste	Smørefett betydelig forurenset med Cu
Februar 2005	71-04	Lager med jordingsbørste (Lager) 06-02 03280	Smørefett betydelig forurenset med Cu
4/9-2006	71-16	På BMU – lager med jordingsbørste, returstrøm (Lager)/(aksel nr.) 04-97 18722 / 41373	Skyldes trolig feilkopling av returstrøm – det ble avdekket at støvkontroll ikke var effektiv
4/9-2006	71-16	B-ende, hastighetsgiver (Lager)/(aksel nr.) 12-96 99523 / 41351 Rapport SKF 8591-05-0608, alle 3 inspiserte lager skrotes	Lager viser utmattingskader trolig forårsaket av strømgjennomgang og/eller vanninntrenging med påfølgende korrosjon



Figur 15: Lager som ble skadet av varmgang. Det er avleiret store støvmengder og primærfjæring av gummi har smeltet. Kontaktskiven som vises midt på bildet er betydelig slitt.

Historikk på togsett 16 løpeboggi 007 som fikk varmgang i lager 18722 på aksel 41373 den 4. september 2006 er vist i figur 16. Varmgang i lageret skjedde kun 39 dager etter at støvinspeksjon hadde blitt gjort.



Figur 16: Akselhistorikk for boggi på togsett 16 boggi nr 007.

Hjullagerhistorikk						
FT16 BMU løp - L007						
Aksel 41351		Lagernr.	Tillv. År (mnd-år)	Rev1 (mnd-år)	Rev2 (mnd-år)	Rev3 (mnd-år)
A-ende	Teloc givare	99523	12-96	05-01	05-02	09-03
B-ende	Polhjul	95551	01-99	01-02	09-03	
Aksel 41373						
A-ende	Polhjul	29774	09-99	01-02	09-03	
B-ende	Återledningsd	18722	04-97	05-00	03-02	09-03

Figur 17: Historikk for hjullager på togsett 16 boggi nr 7.

Konklusjonen på den siste varmgangen var at rutine for sjekking av støv var utilstrekkelig siden det gikk 39 dager fra siste støvkontroll til varmgang ble oppdaget. Rutinene har derfor blitt endret slik at hele det ytre akselkassedeksel må demonteres ved kontroll. Dermed får man bedre synbarhet inn i lagerhuset og sikrere vurdering av støvmengde. Se Maximo rutine 1131 vedlegg 1. Denne rutinen kan gjerne gjøres tydeligere ved at leverandørens anbefaling tas direkte inn uten referanse til underliggende dokument.

3.2.1 Stoffmængd

Stoffmængden definieras enligt följande:

Stoff finns från lagerboxen upptill ändbrickan	Mycket
Stoff finns från lagerbox upptill början av labrinttätningen	Medel
Stoff finns endast i botten av lagerboxen, men ej på lagret	Lite
Inget eller endast mycket lite	Inget

1.7 Vedlikeholdsleverandører

Som et tiltak er det blitt innført hyppige kontroller av støvmengde i lagrene. Det er Maximo rutine 1131. En slik kontroll skal gjennomføres hver 100 000 km

1.8 Samspill Menneske – Teknikk – Organisasjon

Det er avdekket at tidligere rutine for inspeksjon av støvnivå ikke har vært tilstrekkelig klare på hva som er akseptable mengder med støv. Havarikommissjonen har fått opplyst at inspeksjon og rapportering på dette nå skal være mer spesifisert.

1.9 Tidligere lignende hendelser

Det er ikke rapportert om lignende hendelser på type 73 (tidligere Signatur) enda dette materiellet har identisk løsning med jordingssystem. Det er kjent fra andre tog at støv fra børstesystem kan trenge inn i lager med labyrinttetting, men det er ytterst sjelden at mengdene har vært så store at det har medført varmgang.

1.10 Infrastruktur

Flytoget trafikkerer strekningen Asker – Oslo – Lillestrøm – Oslo Lufthavn Gardermoen. Strekningen fra avgrening i Brynsbakken til Oslo Lufthavn Gardermoen er Norges eneste strekning som tillater topphastighet 210 km/t.

Gardermobanen består av skinner type UIC 60 kg/m

Strekningen har høyeste fall/stigning på 25 ‰. Dette er mellom Oslo S og Hellerud i Romeriksporten tunnel .

Romeriksporten tunnel er 14,6 km lang.

1.10.1 Signalanlegg

Signalanleggene på strekningen fra Asker til Gardermoen er følgende typer:

- NSI 63, NSB 77 og Siemens SIMIS C.

Det er ikke installert noe overvåkingssystem i sikringsanleggene som kan registrere skader eller varmgang i lagre i tog på strekningen.

1.10.2 Fjernstyringsanlegg (CTC)

Gardermobanen fjernstyres fra togdriftsentralen på Oslo S. Det er også en lokal fjernstyringsplass på Lillestrøm som kan benyttes ved spesielle driftsavvik.

1.10.3 ATC

ATC systemet på strekningen Asker – Oslo S består av både delvis utbygd ATC, (DATC), og fullstendig utbygd ATC, (FATC). Gardermobanen har FATC.

1.10.4 Strømforsyning

Kontaktledningsanlegget (togenes strømforsyning) på Gardermobanen er av type 25.

1.10.5 Tele / kommunikasjonsanlegg

Flytogene er utstyrt med GSMR togradiosystem. På tidspunktet for hendelsene var togene utstyrt med R-com togradio og mobiltelefon.

1.11 Trafikkleidelse

Ved lagerhavariet 24.01.2005 ble trafikkleider (fjernstyringsoperatør) varslet av lokomotivføreren i et godstog i retning nordover som meldte om røykutvikling fra et møtende flytog ved Kløfta stasjon som kjørte i retning Gardermoen - Oslo S.

1.12 Kommunikasjonskanaler

Ved hendelsene i 2005 og 2006 var flytoget utstyrt med Scannet togradio, samt mobiltelefon. Våren 2008 ble kommunikasjonsystemet skiftet til GSMR togradiosystem.

1.13 Rutiner for styring av underleverandører.

Mantena AS er vedlikeholdsleverandør for flytoget. Det er opprettet kontrakter som styrer vedlikeholdet. Videre benytter Mantena AS underleverandører som for eksempel til ultralydkontroller av aksler.

1.14 Regler for vedlikehold av rullende materiell

Regler for vedlikehold av flytog er nedfelt i kontrakt og beskriver kilometerintervaller for kontroll og vedlikehold.

1.15 Brann

Det oppstod ikke brann under noen av disse hendelsene, men varmgang i lagrene utviklet røyk.

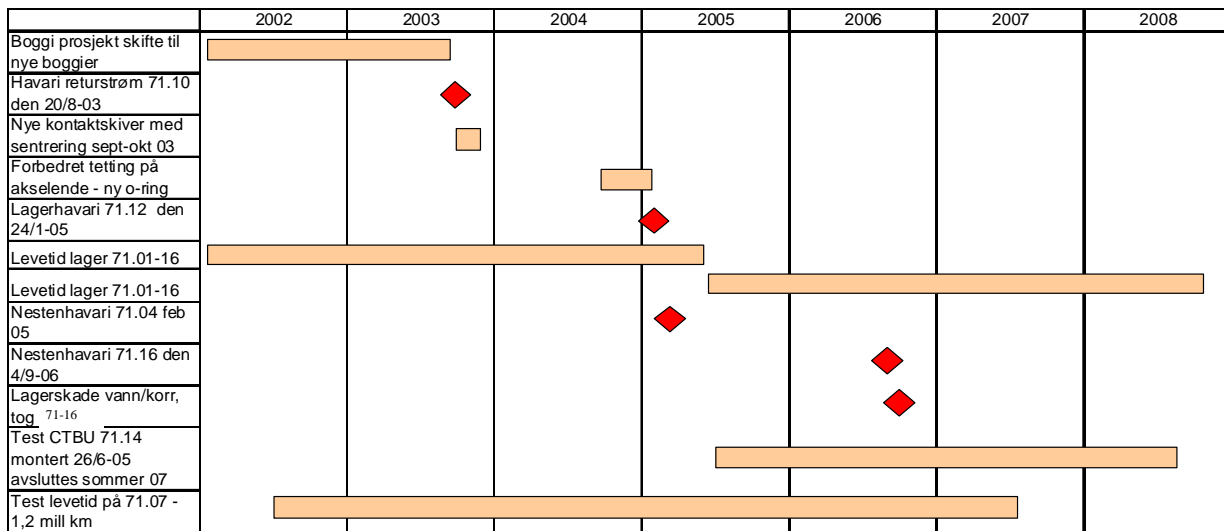
1.16 Undersøkelser

Det har blitt utarbeidet 4 rapporter som refererer til undersøkelser av årsakene til varmgang i lager. I tillegg har det vært gjort en tilstandsrapport på et antall lager for å vurdere revisjonsintervall.

Rapportene er utarbeidet av Veritas, SKF og FLO/TV/LHK, Analytisk laboratorium. SKF er leverandøren lagrene til type 71. Rapporten fra analytisk laboratorium, FLO/TV/LHK er utarbeidet for SHT og ligger ved som eget vedlegg 5 til denne rapporten.

Dokument	Omhandler lager på togsett	Hovedpunkter i rapport	varmgang
Investigation SKF: GH05Q0045	togsett 71-04, mars 2005 + lager fra andre tog med forhøyet vibrasjon, 4 lager undersøkt	Lager 06-02 03280 tog 71-04 : ”Lagrets löpytor är blanka och har troligen varit utsatt för bristande smörjning. Smörjmedlet är mycket förorenat (bedöms ej smörjande). Analys visar att smörjmedlet har en Cu-halt på 33%. Varmgången har troligen orsakats av bristande smörjning pga. av att smörjmedlet blivit förorenat av Cu. Lagret bedöms inte kunna återanvändas” 2 av 4 lager skrotes	1 lager
Rapport fra LHK: 050216.13	Togsett 71-12, februar 2005 ifb. varmgang 24/1-2005. 3 lager undersøkt	Rapport to lager med høyt kopper januar 2005. Ett lager nær totalhavari, det annet lager med kraftig forurenset og stivt fett. 2 lager skrotes	2 lager
Rapport SKF: 8591-05-0608.pdf	Togsett 71-16, 4 september 2006. Boggi L007, 4 lager undersøkt. Alle > 2 million km	Tre lager uten børstesystem viser noe strøm og korrosjonsskader samt generell slitasje/utmattning. Ett lager med børste har forurensninger fra børste og kontaktskive Cu, Det antas at feilkobling jording \forall all strøm gjennom en børste på BMU var medvirkende årsak til lagerproblem. Alle lager skrotes.	1 + (1) lager
Rapport: SKF 8591-05-0707	togsett 71-07, oktober 2007, totalt 12 lager undersøkt. Lager hadde gått 1,25 mkm.	Ett lager med børste viser forhøyet koppernivå på BMU vogn. Kan skyldes at kopper har kommet inn i lager før rutiner ble endret for inspeksjon av børstestøv og kontaktskiver ble byttet. Ingen lager kritisk tilstand i forhold til funksjon. 4 av 12 lager anbefales kassert, intet lager nær havari. Alle lager viste noe forurensning fra korrosjon, men dette fettet hadde ikke nådd rullebanene.	0 lager

Figur 18: Oversikt over lagre som er undersøkt.



Figur 19: Oversikt over vedlikeholdsforløp under perioden som lagerproblemene oppstod.

2. ANALYSE

SKF har gitt ut tre rapporter, samt FLO/TV/LHK, Analytisk laboratorium har gitt ut en rapport angående lager med varmgang. Alle rapporter konkluderer med at lager ved jordingsbørste for returstrøm har hatt smørefett som har vært sterkt forurenset med støv fra kontaktskiver og børster. Smørefett har blitt bedømt til å være ikke smørende.

På enkelte lagre har det vært avdekket korrosjon og noe utmatting, samt visse spor etter strømgjennomgang. Ingen av de øvrige lager har vært bedømt til å være kritisk i forhold til varmgang, vibrasjon eller utmatting/sprekker selv om noen av de skadde lagrene ikke kunne anbefales for revisjon.

LHK rapport har også analysert kontaktskiver uten å finne spesielle forhold som kan forklare økt støvmengde. Hardhet og materialsammensetning var den samme på ny og gammel kontaktskive.

Det er kjent at lager av den type som Type 71 har kan være utsatt for vanninntrenging ettersom labyrinttetning ikke er 100 % tett. Det gjelder spesielt for trafikk i tunneler samt under vinterdrift. Direkte spyling av lager med vann må unngås. Flytogets lagre har en tetning på innsiden av lagerboks, se figur 25 i vedlegg 3.

Det finnes V-ring tetninger som kan løse dette. Dette er en tetningstype utviklet for togsett type X2 i Sverige og er spesielt egnet for aksler med høyt turtall. En annen mulighet er CTBU lager som har vært testet på Flytog 71.14. Flytoget har foreløpig ikke valgt å gå for dette lageret da det inneholder mindre smøremidler og det er usikkert om pakningen kan hindre børstestøv å trenge inn. Se vedlegg 5, Figur 27.

I forbindelse med vedlikehold og ettersyn på børsteholder må betydning av korrekt funksjon og tilstand på børster og kontaktskive vektlegges. Det er viktig at overflaten på kontaktskiven er ren og at børster ikke er for slitt, samt at de har riktig kontaktrykk. Likeså er det viktig at børster løper fritt i børsteholder. Maximo rutine 1131 kan gjøres enda tydeligere når det gjelder vurdering av støvmengde.

Økning av intervall for støvkontroll bør først gjøres når det er dokumentert at støvmengder ikke har vært kritisk over en lengre periode og at rapporteringene i denne perioden er kvantitativ, med andre ord at mengde støv rapporteres ved hver inspeksjon. Det vises til leverandørens egen anbefaling.

2.1 Følgende forhold er avdekket:

- Det har i flere tilfeller blitt dannet unormalt mye støv fra børste og kontaktskive.
- Lager med varmgang har hatt unormalt høy andel av børstestøv og kopper i smørefettet.
- Dinitrololje har blandet seg med børste- og kobberstøv og kommet inn i smørefettet i lageret.
- Enkelte lager har spor av strømgjennomgang.
- Noen lager har også spor av korrosjon, mest korrosjon i spalter.
- De aller fleste tilfeller har vært på BMU vogn og på jordingsbørste for returstrøm, dvs. ikke sikkerhetsjord. Det er identifisert 4 -5 tilfeller av varmgang hvorav ett var særlig alvorlig. Denne varmgangen inntraff 24/1-2005.

2.1.1 Forhold ved kontaktskive og jordingsbørste

Kontaktskiver og muligens også børsteholdere har vært gjenbrukt fra opprinnelig boggi når boggier har blitt skiftet. Det kan ha vært tilfeller hvor dette har gitt dårlig kontakt før tilslitning.

Første generasjon kontaktskive hadde dårlig sentrering da det kun var sentrering gjennom bolter i innfesting. Nye kontaktskiver har senere blitt montert (våren 2005). Disse har sentrering gjennom en trang pasning. Se figur 4, kontaktskive, og Vedlegg 3. Pos 1 er selve kontaktskiven.

Kontaktskiver kan produseres i forskjellige materialer. I Sverige er det vanlig med kontaktskiver i stål, men kontaktskiver i bronse tilsvarende den som er brukt på type 71 er også i bruk. Det er ingen negativ erfaring med kontaktskiver i bronse.

Det er avdekket at to forskjellige børstematerialer har vært i bruk uten at man i ettertid kan fastslå hvilket som var i bruk ved de forskjellige tilfellene. Flytoget har valgt å gå for det med lavest metallinnhold (79%)

2.1.2 Forhold ved aksel

Hull i aksel har blitt tettet bedre fra 2005. Tidligere var tetningen svært mangelfull på grunn av dårlig pasning på o-ringer. Nye o-ringer med bedre tetning forhindrer at Dinitrol rusthindrende olje kommer ut av aksel.

2.2 Mulige hypoteser

2.2.1 Hvorfor mye støv?

Det er normalt med en viss mengde støv avgitt fra børster og kontaktskive. Forhøyet mengde kan skyldes:

1. dårlig kontakt børste/kkontaktskive (gnistring/lysbue)

- Ikke tilslitt
- Børster løper ikke fritt
- Fett eller annen forurensning på kontaktskive
- Fuktighet i børsteområde

2. mekanisk slitasje

- På grunn av dårlig sentrering av kontaktskive evt. kast på skive
- Ikke tilslitt
- Feil montasje

Store mengder støv fra børstesystem og lagerhavari er ikke en kjent problemstilling for tilsvarende tog i Sverige eller Norge. Det har vært tilfeller av mye støv i lagerhus på tog med tilsvarende børste- og kontaktsystem i England, og da har årsaken vært feilmontering av kontaktskiven.

2.2.2 Hvorfor støv fra børste og kontaktskive i selve lager?

Børstesystem inspiseres og rengjøres hver 100 000 km. Havarikommisjonen mener at det er et fornuftig tiltak at børsteholder, børster og kontaktskive holdes rene, og at funksjonen kontrolleres.

Andre tiltak kan være bedre tetting av lager, og overvåking av lagerets tilstand og funksjon.

Støvet har på ett eller annet vis kommet inn i lager. Lageret har i utgangspunktet en labyrinttetting for å hindre støv og annen forurensning fra å komme inn. En labyrinttetting er i seg selv ikke 100 % tett, men fungerer normalt bra om den ikke utsettes for spesielle trykkforhold som:

- Det har kommet så mye støv inn i ”børsterom” at presset på labyrinttettingen har blitt for stort og støv har trengt inn i lageret.
- Det har oppstått en trykkforskjell over lager og dette har medvirket til å trekke støv inn i selve lageret. Hulrom i aksel vil gi potensielt større luftvolum å jobbe med i de tilfeller hvor O-ringtettinger ikke har vært gode nok.

Mulige årsaker til trykkforskjeller:

- Som følge av temperaturforskjeller
- Som følge av trykkstøt/trykkbølger ved kjøring i Romeriksporten. Slike trykkstøt kan være opp mot ± 1 kPa i løpet av få sekunder for tunneler som trafikkeres av tog med høy hastighet dvs. > 160 km/t. Se Vedlegg 4.
- Lager kan selv pumpe luft igjennom som følge av rotasjon.

Andre tiltak kan være bedre tetting av lager og overvåking av lagerets tilstand og funksjon. Havarikommisjonen er kjent med at Flytoget AS har utviklet en type tilstandskontroll som skal benyttes på alle lagre. Denne registrerer vibrasjon og varme og gir varsel når øvre tillatte grense oppnås.

2.2.3 Korrosjon

Vanninntrengning kan ikke utelukkes som en medvirkende årsak til varmgang. Vanninntrengning er en av de vanligste årsaker til varmgang i lager. Om vann har vært i lager i kort tid er det ikke alltid lett å spore dette.

2.2.4 Dinitrolinntrengning

Før tetting av hull i akselen ble forbedret forekom det inntrengning av Dinitrololje i smørefettet. Dinitrololje kan medvirke til oksidasjon og nedbrytning av fettets smøreevne. Forbedret tetting for hulrom i aksel ser ut til å forhindre dette.

2.2.5 Strømgjennomgang

Selv om det har vært avdekket tilfeller av strømgjennomgang antas dette ikke å ha bidratt til varmgang. Strømgjennomgang har i hovedsak vært avdekket på lager uten jordingsbørster.

2.2.6 Hvorfor ikke samme problem på type 73 "Signatur"?

NSBs tog type 73 er et tog som når det gjelder boggi og traksjon er nær identisk med type 71. Dette gjelder også jordingsbørstene og returstrømsystemet. Type 73 går i hovedsak i lavere hastighet og mindre hyppig gjennom Romeriksporten tunnel. Denne tunnelen befinner seg på strekningen hvor flytogene og type 73 kan kjøre med hastigheter opp mot 210 km/h.

Jernbanenettet i Norge består i hovedsak av gammel infrastruktur med maksimal kjørehastighet i området 80 - 130 km/t. Enkelte strekninger tillater høyere hastigheter.

Type 71 går mer enn 50 % på strekning som tillater høy hastighet, mens det for type 73 normalt er mindre enn 10 %. Det kan bety at høy hastighet og eventuelle trykkforhold ved kjøring i Romeriksporten kan være medvirkende årsaker til lagerproblem. På type 73 dannes det med andre ord ikke kritisk mengde med støv innenfor et normalt revisjonsintervall.

Type 71 har vanligvis lavere aksellaster enn type 73 og ser ikke ut til å være en faktor. Se Vedlegg 2: Aksellaster på type 71 og type 73.

2.2.7 Tiltak gjort underveis i undersøkelsen

Flytoget AS har i samarbeid med leverandør innført 100 000 km intervall på inspeksjon av støvmengde. Det har ikke vært avdekket støvansamlinger av betydning under disse inspeksjonene og støv har blitt fjernet ved hver inspeksjon.

Havarikommisjonen er kjent med at Flytoget AS har planer om å innføre avansert tilstandskontroll på alle lager. Dette er et system som de selv har fått utviklet og settes på lagerboksene for å overvåke vibrasjon og temperatur på lager. Et varsel på begynnende negativ utvikling på lager med potensialet for havari vil dermed bli indikert i tide.

2.2.8 Resultat av modifiseringer

Det ser ut til at det er mindre problem med børstestøv etter at kontaktskiver med sentrering har blitt montert. Tilsvarende gjelder også for bedret tetting med O-ringer av Ø30 mm hull i aksel. Det ser derfor ut til at problemet kan være redusert uten at noen entydig bakenforliggende årsak er funnet.

3. **KONKLUSJON**

Den direkte årsaken til varmgang bedømmes å være manglende smøring av lageret hvilket leder til økt friksjon og varmgang.

Den indirekte årsaken skyldes trolig kombinasjon av flere faktorer. Det er ikke mulig å trekke en klar konklusjon uten å gjøre omfattende laboratorieforsøk eller målinger på tog. Følgende antas å kunne ha bidratt:

- Store støvmengder som følge av feil på børsteholder/kontaktskive. Dette støvet har trengt inn i lageret og redusert lagerfettets smøreevne. Høye hastigheter kan ha bidratt til større produksjon av støv.
- Trykkforskjeller under kjøring i tunneler i høye hastigheter.
- Forurensning med Dinitrololje fra hulrom i aksel som har gitt nedbrytning av lagerfettets smøreevne.
- Eventuell inntrenging av vann ettersom labyrinttetning ikke er helt tett.

4. SIKKERHETSTILRÅDINGER

Statens havarikommisjon for transport fremmer ingen nye sikkerhetstilrådinger da det ser ut som om Flytoget AS har utført flere tiltak med positiv effekt mens undersøkelsen har pågått.

Havarikommisjonen viser for øvrig til tidligere sikkerhetstilråding gitt i rapport 13/2004:

Statens jernbanetilsyn (SJT) bør vurdere om det skal pålegges å installere system for overvåking og varsling av varmeutvikling / vibrasjon fra hjul / aksellager ved godkjenning av materiell og/eller banestrekninger. (JB tilråding 43/2004).

Denne tilråding ble også repetert i rapport nr. 10/2006.

Statens Havarikommisjon for Transport

Lillestrøm, 17. desember 2008

5. REFERANSER

SKF Investigation 050315 FT lager datert 2005-03-15

Rapport fra LHK datert 2005-02-22

Rapport SKF 8591-05-0608 datert 2006-10-02

Rapport SKF 8591-05-0707 datert 2007-10-24

6. VEDLEGG

Vedlegg 1: Maximorutine 1131

Vedlegg 2: Aksellaster på togsett type 71 og type 73.

Vedlegg 3: Figurer på returstrømsystem

Vedlegg 4: Diagram over trykkbølger

Vedlegg 5: Rapport fra FLOs analytisk laboratorium

Vedlegg 1: Maximorutine 1131

MAXIMO Arbeidsrutine for Flytoget (Master) 4405-D-010501/1 Maximo Dato: 21.01.2008

1131 S! KONTROLL AV JORDINGSBØRSTER - STØVMENGDE

Reservedeler

Timebehov: 4,5

Arbeidsbeskrivelse	Dok. Henvising
<p>GENERELT Togsettet sikres mot rulling</p>	
<p>FARE: Livsfarlig spenning 15000 V Togsettet MÅ koples ned og jordes</p>	3EST 11-736 2.3
<p>S! KONTROLL AV BØRSTER - STØVMENGDE (DVI - Detaljert visuell inspeksjon)</p>	
a) Foreta nødvendig demontasje for tilgang Hele det ytre akselkassedeksel må demonteres	3EST 11-736 5.1
b) Påse at børstene løper fritt i sine holdere	3EST 11-736 5.1
c) Rengjør etter behov	3EST 11-736 5.1
Støvmengde registreres i denne AO, og støv fjernes	
d) Kontroller børsteslitasje (Nye børster 54 mm, minstemål 26.5 mm). Børstene skal stikke minst 20 mm utenfor huset i avlastet tilstand)	3EST 11-736 5.1
e) Påse at kontaktplaten er polert og fri for fett	3EST 11-736 5.3
Sign: _____	
<p>TRYKKSISTEM - (DVI - Detaljert visuell inspeksjon)</p>	
a) Påse at fjærtrykket på hver enkelt børste virker normal (Fjærkraften kan kont. med fjærvekt, skal være 27.5 Nm +/- 10 %)	3EST 11-736 5.2
Sign: _____	
<p>KONTROLL AV TETNING - (DVI - Detaljert visuell inspeksjon)</p>	
a) Kontroller tetting i dekklokk	3EST 11-736 5.3
Bytt tetninger etter behov	
b) Bytt ut isolatorring om nødvendig	3EST 11-736 5.3
c) Kontroller at de tre M6 boltene har riktig moment (21 Nm)	3EST 11-736 5.3
Sign: _____	
<p>S! KONTAKTSKIVENS SENTERBOLT (DVI - Detaljert visuell inspeksjon)</p>	
a) Kontroller senterbolten visuelt i h.h.t. dokumentasjon (Bolten skal IKKE kontrolltrekkes)	3EST 11-736 6.1.2
Sign: _____	
<p>S! MONTERING - ETTERKONTROLL</p>	
a) Etter at alle kontrolloppgavene er utført, utfør montasje	3EST 11-736 5.3
b) Bytt skiver systematisk	3EST 11-736 5.3
Sign 1 (montasje): _____	
S! Sign 2 (etterkontroll): _____	
<p>STØVMENGDE - Tilbakerapportering: mye - middels - lite - ingen</p>	PSINB05-020
BM A1 h.s. Støvmengde: _____	
BM A2 v.s. Støvmengde: _____	

MAXIMO **Arbeidsrutine for Flytoget (Master)** **4405-D-010501/1** Maximo Dato: 21.01.2008

BM A4 h.s. Støvmengde: _____

BMU A1 h.s. Støvmengde: _____

BMU A2 v.s. Støvmengde: _____

BMU A4 h.s. Støvmengde: _____

BFM A1 h.s. Støvmengde: _____

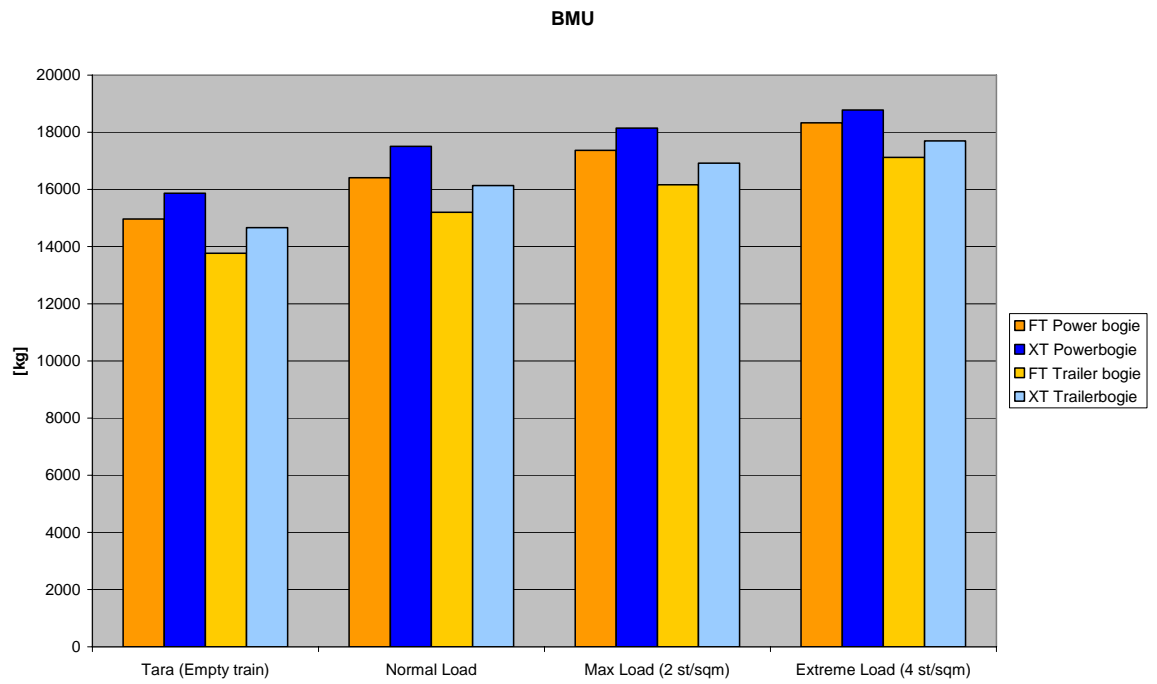
BFM A2 v.s. Støvmengde: _____

BFM A4 h.s. Støvmengde: _____

Utarbeidet av:
Dato _____ Sign _____

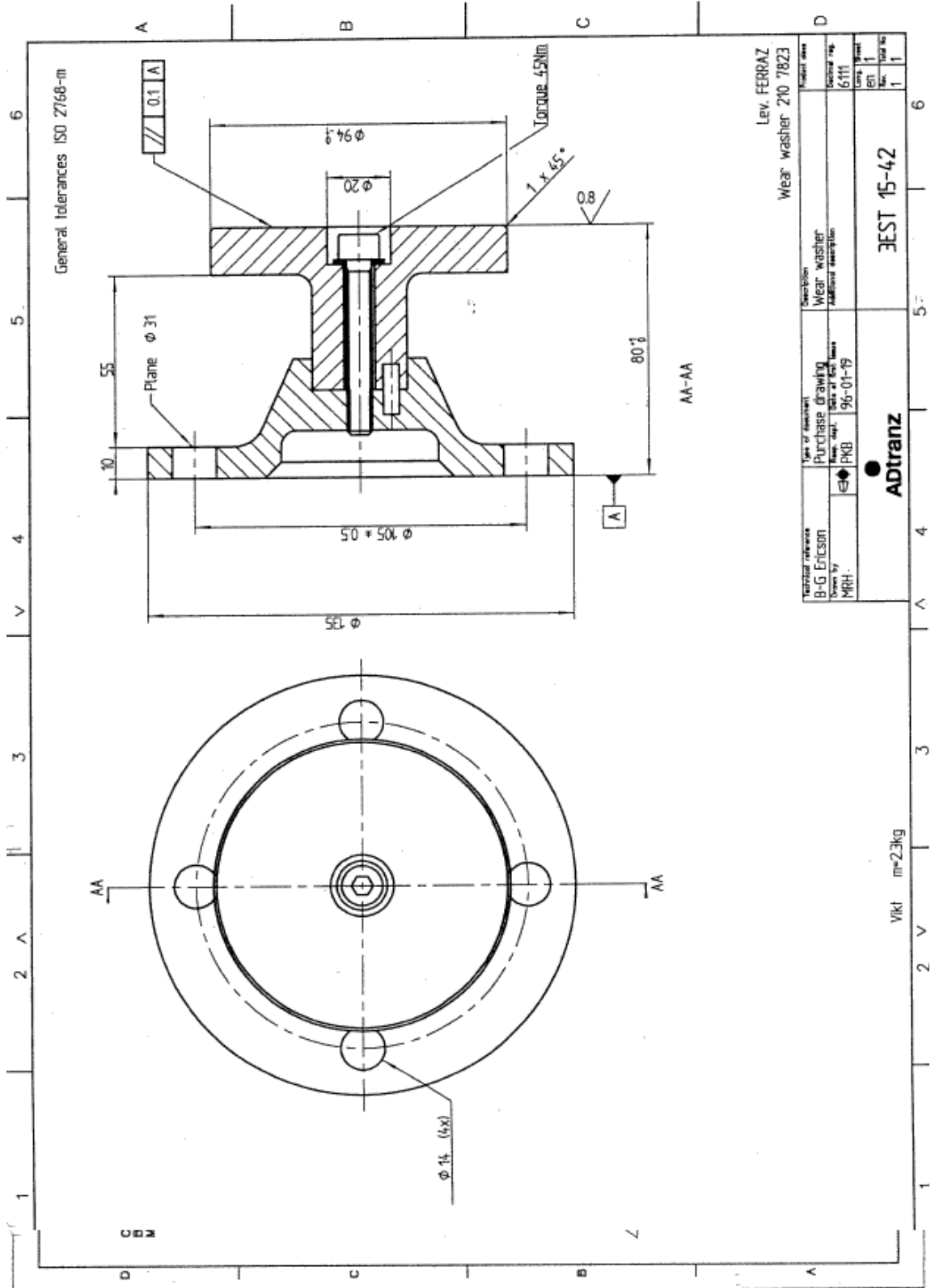
Godkjent av:
Dato _____ Sign _____

Vedlegg 2: Aksellaster på type 71 og type 73

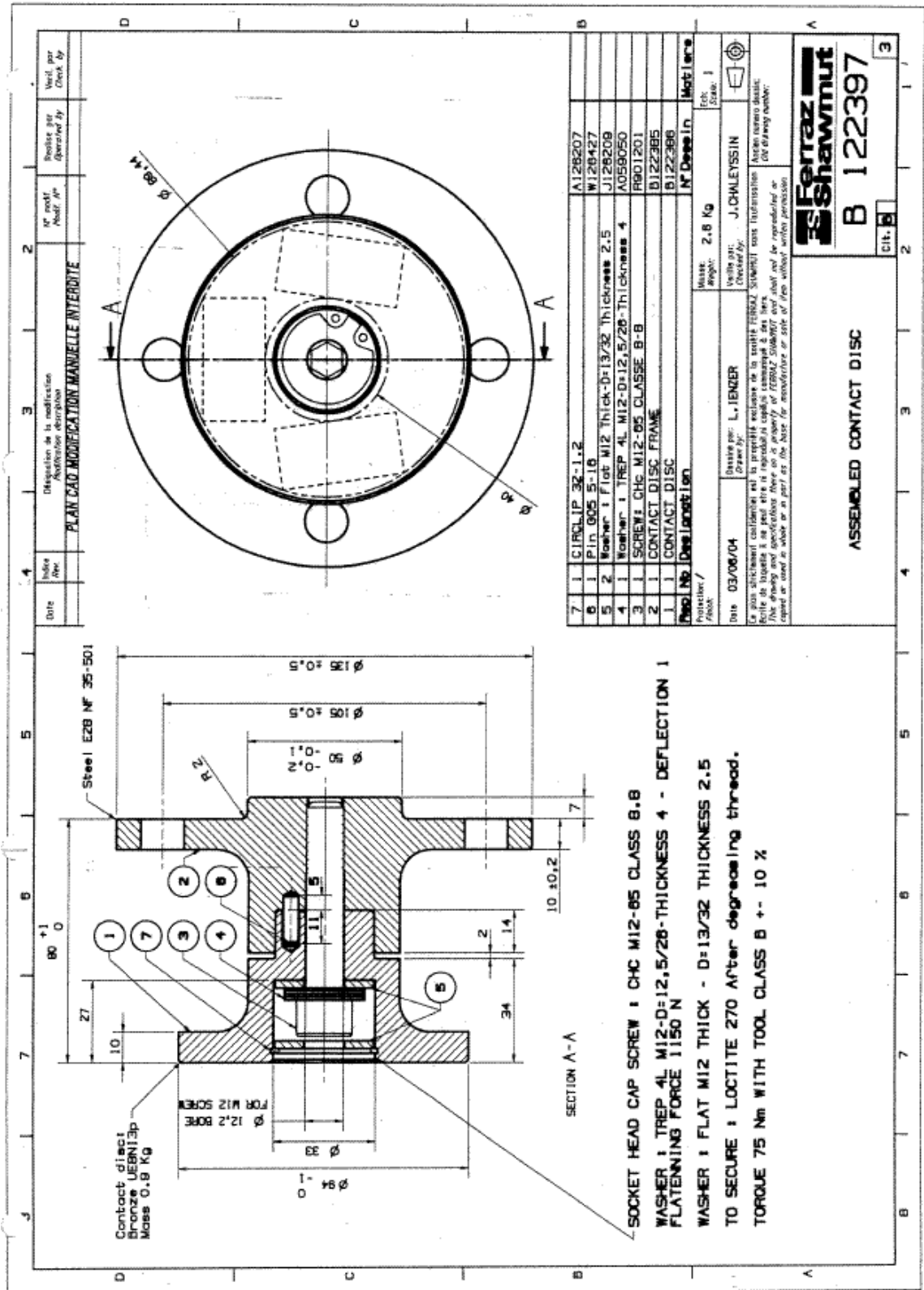


Figur 20: Aksellaster på Flytog(FT) og Signatur(XT)

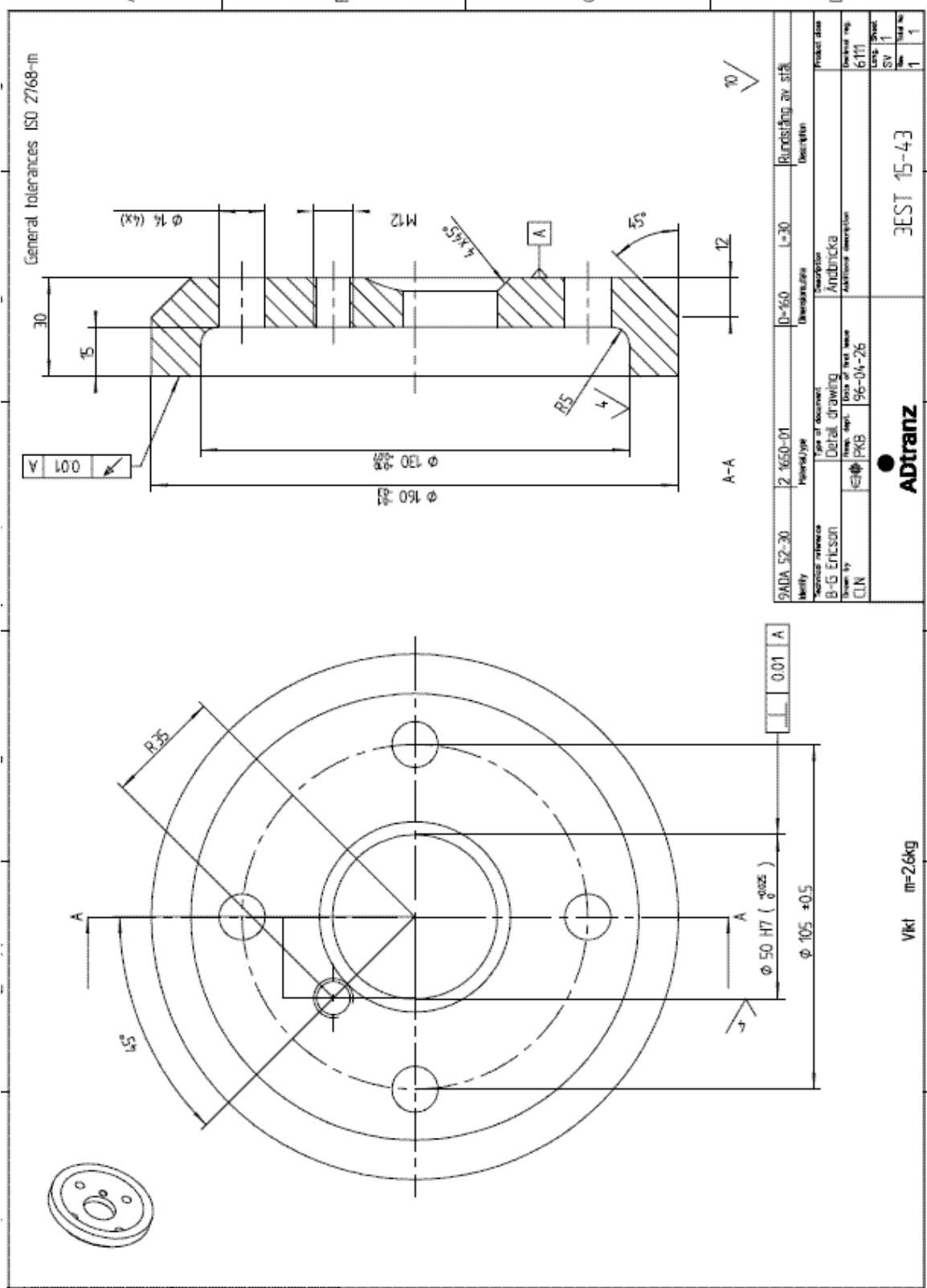
Vedlegg 3: Figurer på returstrømsystem



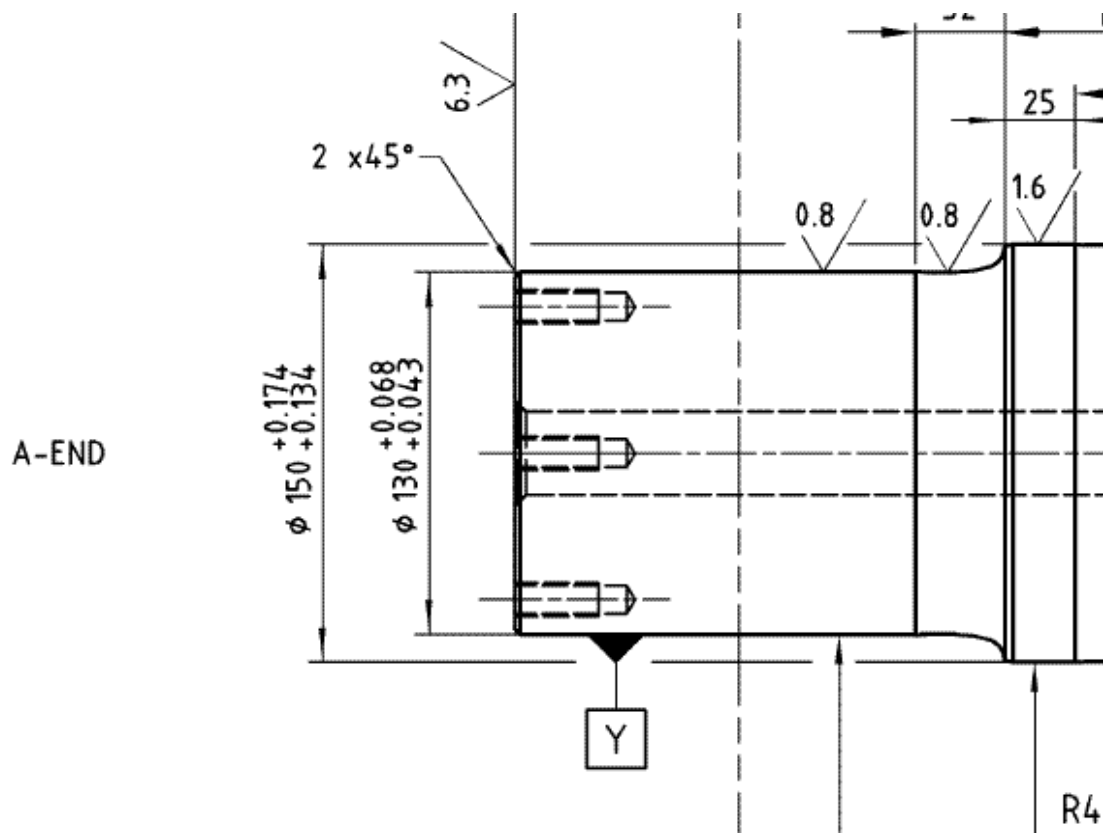
Figur 21: Gammel kontaktskive uten sentrering



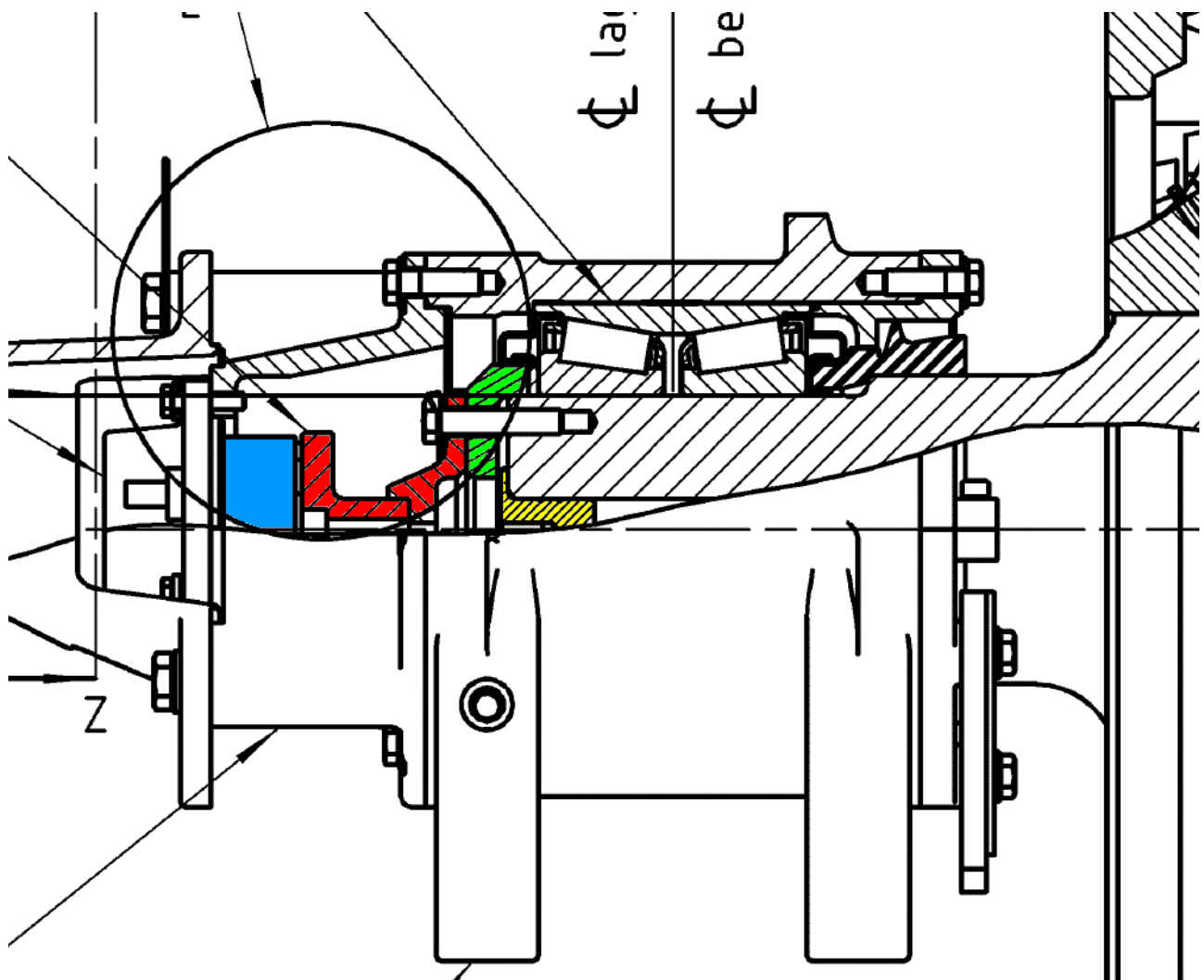
Figur 22: Ny kontaktskive med sentring



Figur 23: Endebrikke

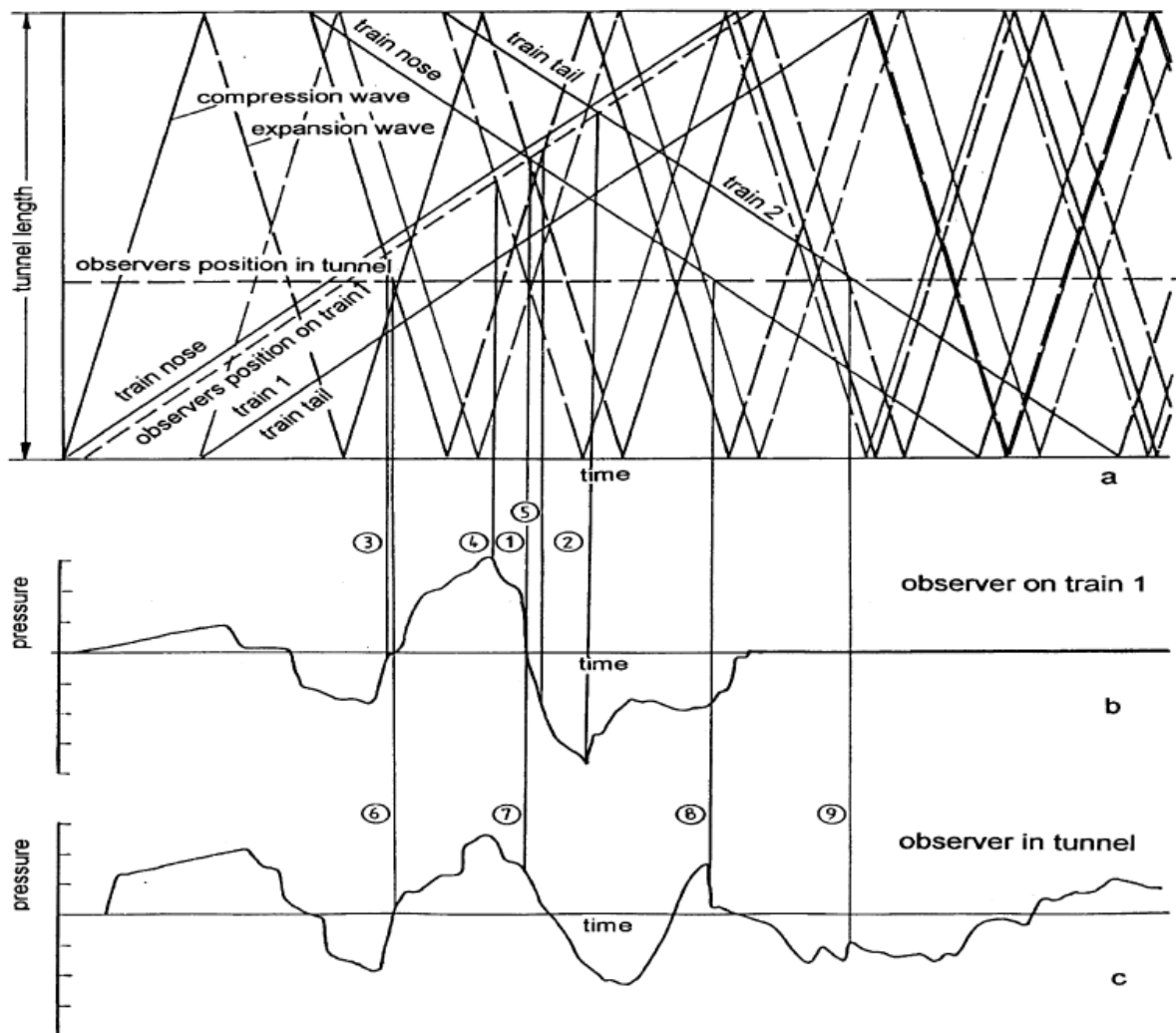


Figur 24: Akselende

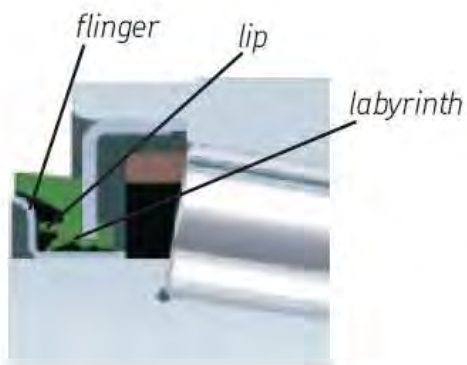


Figur 25: akselboks med jording. kontaktskive av gammel type uten sentrering. Kontaktskive (rød), endebrikke (grønn), plugg (gul), jordingsbørste m/holder (illustrert blå)

Vedlegg 4



Figur 26: eksempel på trykkbølger i tunnel fra EN14067-3:2003. Trykkbølger på $\pm 1\text{kPa}$ i løpet av 2-3 sekunder vil være typiske verdier for en tunnel som Romerikstunnelen.



The integrated LL labyrinth lip low friction rubber seal

- Improved protection against contaminants
- Longer grease life
- Better and longer performance

Figur 27: CTBU lager tetning

Kilde: SKF



Defence Laboratories
Analytical Laboratory
Chemistry and Materials Technology

Client HSLB att. Jon Erik Lindeman P.O. Box 213 N-2001 Lillestrøm		Technical Report	
Copy		Client's ref	
Title Failure analysis of failed bearing, Flytoget			
Report No 050216.13	Date of receipt of commission 2005-01-28	Date of publication 2005-02-22	
Job No / Sample No M-05-041	Number of pages 14	Number of appendix -	
Work carried out by I.M. Kulbotten Ø. Frigaard		Head of Analytical Laboratory Tor A Gustavsen	
Summary The Norwegian defence Laboratories, chemistry and materials technology, received a failed bearing from Flytoget. It was of interest for the client to obtain possible causes for the observed failure. In addition two more bearings were brought to the laboratory for investigation after indications of high temperatures in the bearing area.			
Conclusion Based on the above results it is our opinion that the failure of bearing #1 and #3 is not due to overload. The indications are that copper/bronze particles worn from the return current components are entering the inside of the bearings thus resulting in disintegrating of the bearing grease. As the grease disintegrates frictional heat is developing resulting in further disintegration of the grease and a complete bearing failure. Based on the alloying composition and hardness values measured for the followers it does not seem likely that the wear of the return current follower can be explained by differences in material composition or hardness. However, the porous/composite structure of the return current brush will result in a considerable lower wear resistance than the return current follower when a wear mechanism is present. Based on the above investigation it is our recommendation that further work is done to clarify the wear mechanism of the return current components, and on the ability for dust/particles to enter the bearings.			

Extracts from the report may not be reproduced without written consent from Analytical Laboratory.

The laboratory is certified according to NS-EN ISO/IEC 17025.

Only results marked with A are certified.

Postal Address :

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

Street Address :

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

Phone :

+ 47 63 80 87 41
505 8741

Fax :

+ 47 63 80 87 58
505 8758

1 Introduction

The Norwegian defence Laboratories, chemistry and materials technology, received a failed bearing from Flytoget. It was of interest for the client to obtain possible causes for the observed failure.

In addition two more bearings were brought to the laboratory for investigation after indications of high temperatures in the bearing area.



Figure 1 Overview picture of the failed bearing #1, as received at the laboratory.

2 Failure analysis of failed bearing

2.1 Visual inspection

The bearing showed clear evidence of high temperature exposure, and the parts were full of dust. No intact grease could be observed and the roller cage was completely damaged. A sticky mixture of grease residuals and cage material residuals was present. However, no severe damages, such as pitting/contact fatigue, could be observed on the inner and outer raceway of the bearing and rollers, Figure 2. The only deviation observed on these parts during the visual inspection was a copper discolouration of a small area on the outer raceway and on the rollers as seen in Figure 2b and c, respectively.

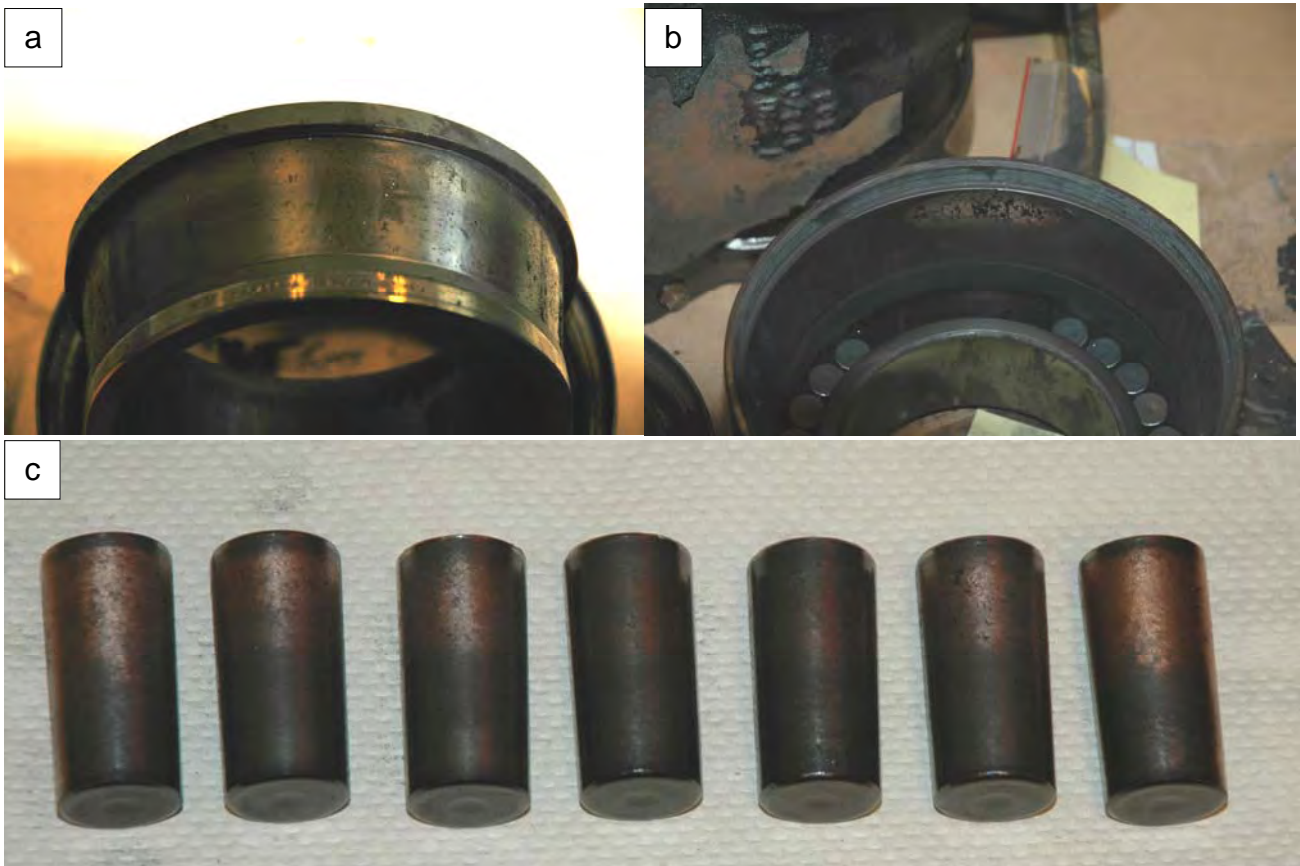


Figure 2a: Representative overview picture of the inner raceway. b: Representative overview picture of the outer raceway. c: Picture of discoloured rollers.

2.2 Characterization of dust samples using SEM with EDS

Dust samples from the return current area, the outside and the inside of the bearing were delivered with the failed bearing. The samples were characterized using SEM with EDS.

2.2.1 Dust from the return current area

Representative pictures of the dust sample collected from the return current area as observed in SEM are shown in Figure 3. The backscattered electron image (BEI) in Figure 3a clearly shows a large amount of copper particles along with glass fibres. The picture of the copper particles at higher magnification in Figure 3b shows clearly a droplet shape indicating melting.

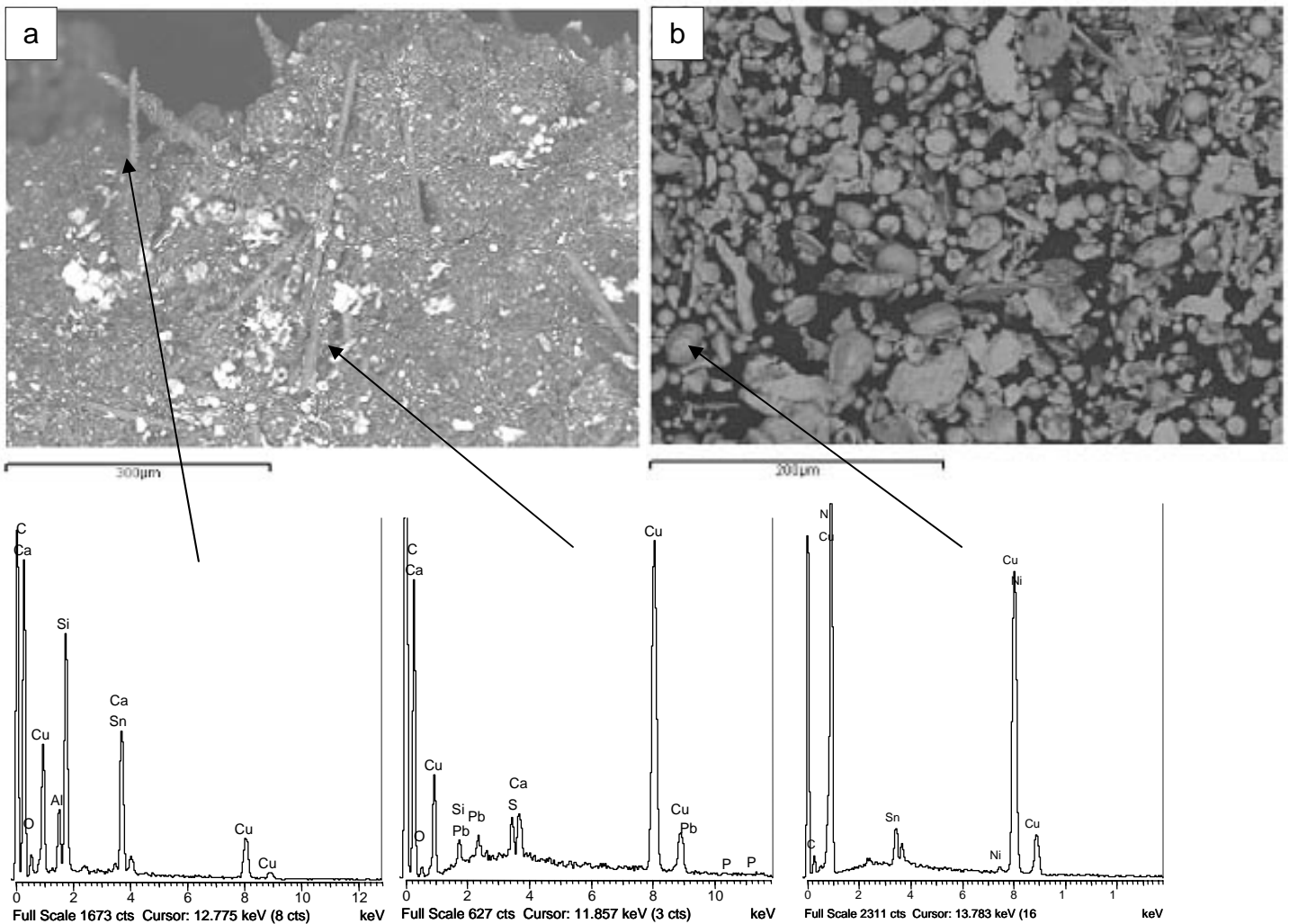


Figure 3 Representative pictures of the dust sample from the return current area. a: BEI image showing glass fibre and large amounts of copper particles (bright particles) (see EDS spectra). b: Image of copper particles at higher magnification, showing droplet shapes indicating melting.

2.2.2 Dust from outside the bearing

A representative image (BEI) of the particles outside the bearing is shown in Figure 4. The EDS spectra reveal that the sample contains glass fibres and copper particles.

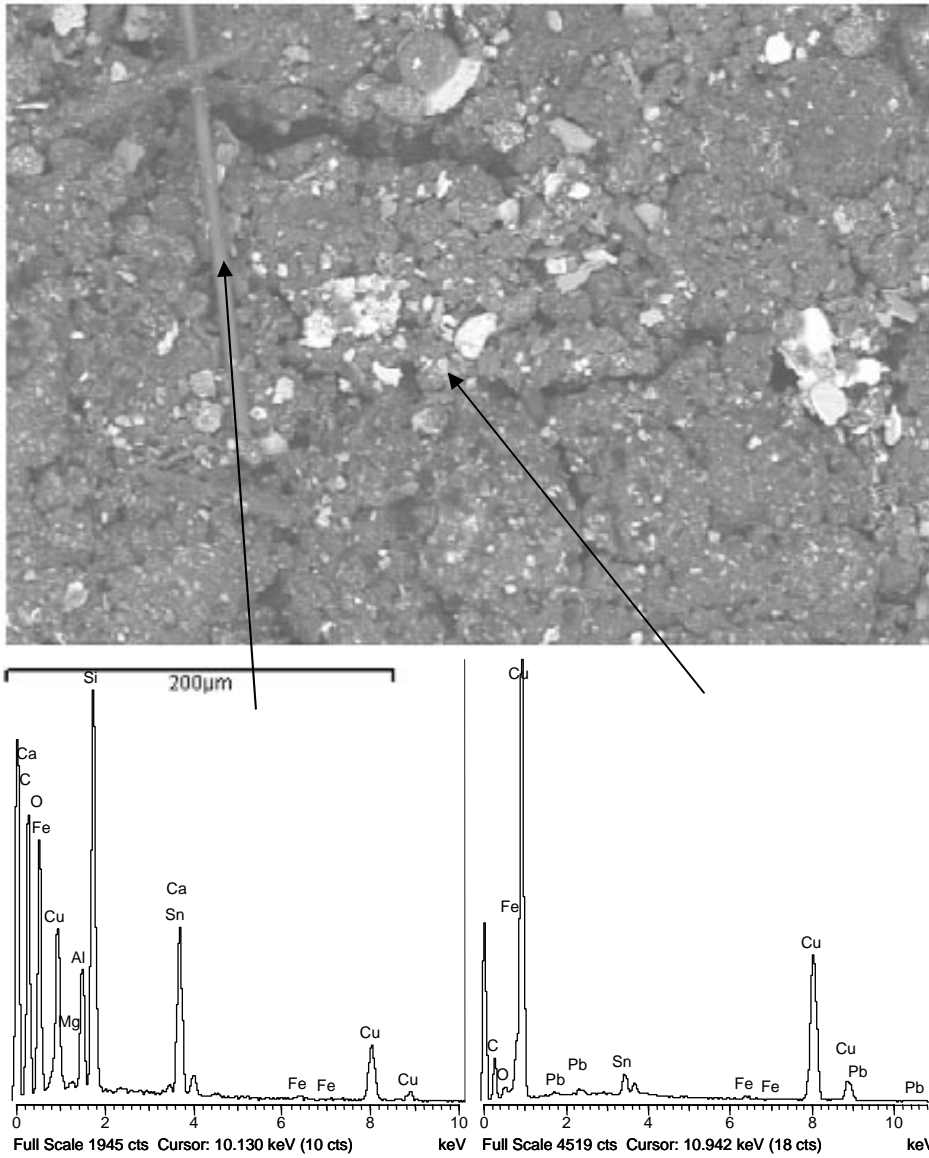


Figure 4 Representative image of the dust sample taken from the outside of the bearing. The EDS spectra reveal glass fibres and copper containing particles, respectively.

2.2.3 Dust sample from inside the bearing

A representative image (BEI) of the particles inside the bearing is shown in Figure 5. The EDS spectra reveal that the sample also contains traces of glass fibres and copper particles.

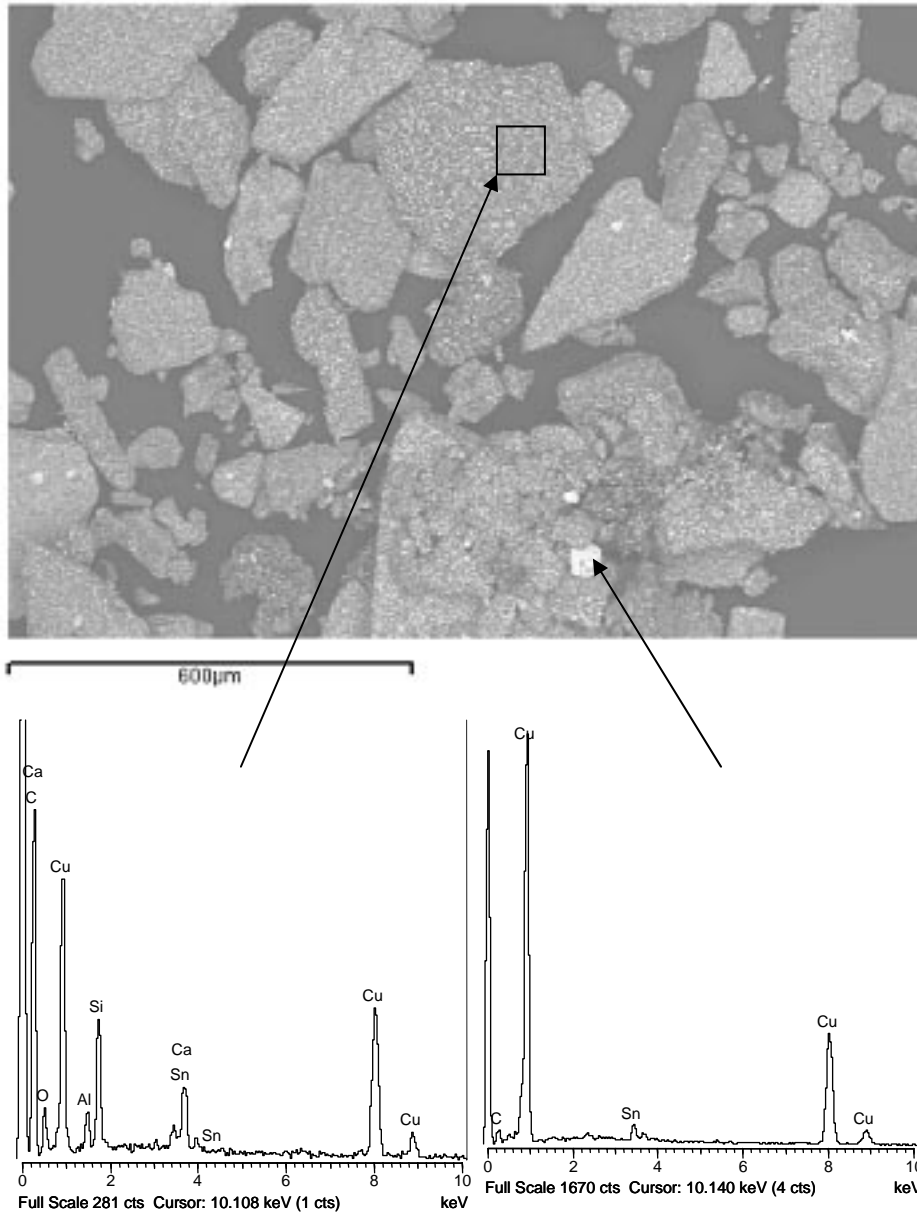


Figure 5 Representative picture (BEI) of particles from sample collected inside the bearing. The EDS spectra reveal traces of glass fibres and copper particles.

2.3 Metallographic examination of rollers and raceways

Cross section through the copper discoloured areas of the outer raceway and through one of the rollers where made for metallographic examination. As shown in Figure 6ab, a copper coloured layer is readily observed on both the roller and outer raceway surface. The specimen from the outer raceway was further prepared for investigation using SEM and EDS to confirm the presence of a copper layer, Figure 7.

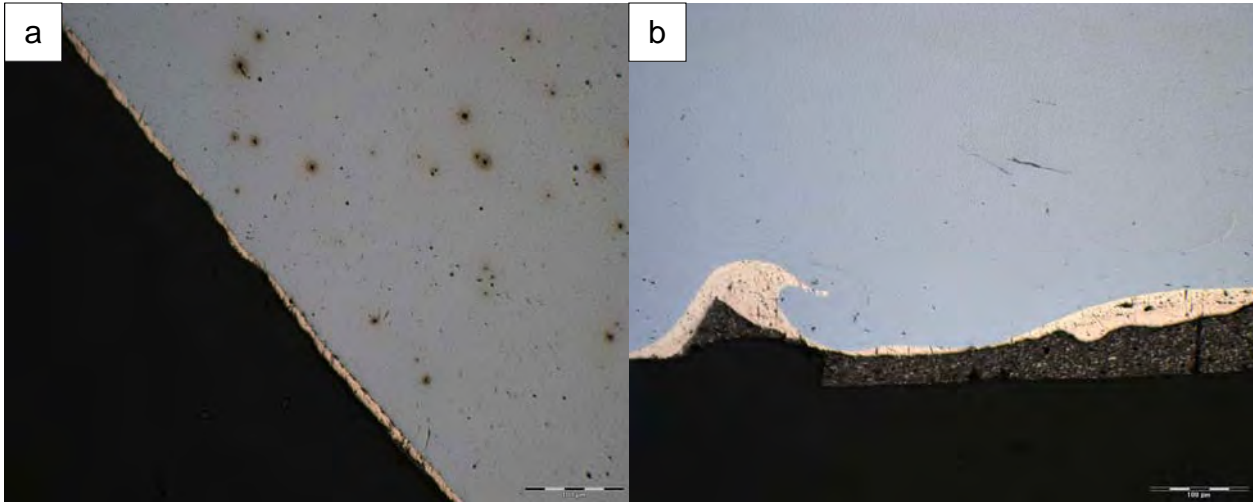


Figure 6a Cross section through one of the rollers. b: Cross section through discoloured area on outer raceway.

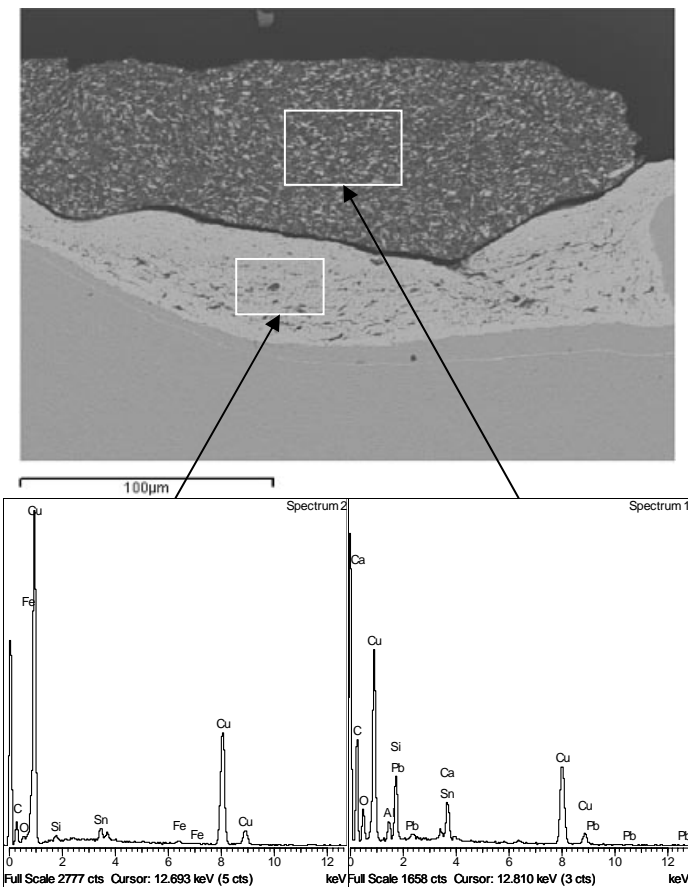


Figure 7 Image of layer observed on the surface of the outer raceway (cross section). The EDS spectra from the areas pointed out in the picture confirms the presence of copper on the surface.

2.4 The return current components

An overview picture of the return current components, i.e. brush contact and brush contact follower, is shown in Figure 8. Severe wear of the parts could readily be observed.

In order to obtain information about the base material of the components in question, base material specimens were cut out from both the brush contact and the follower for investigations using SEM with EDS.

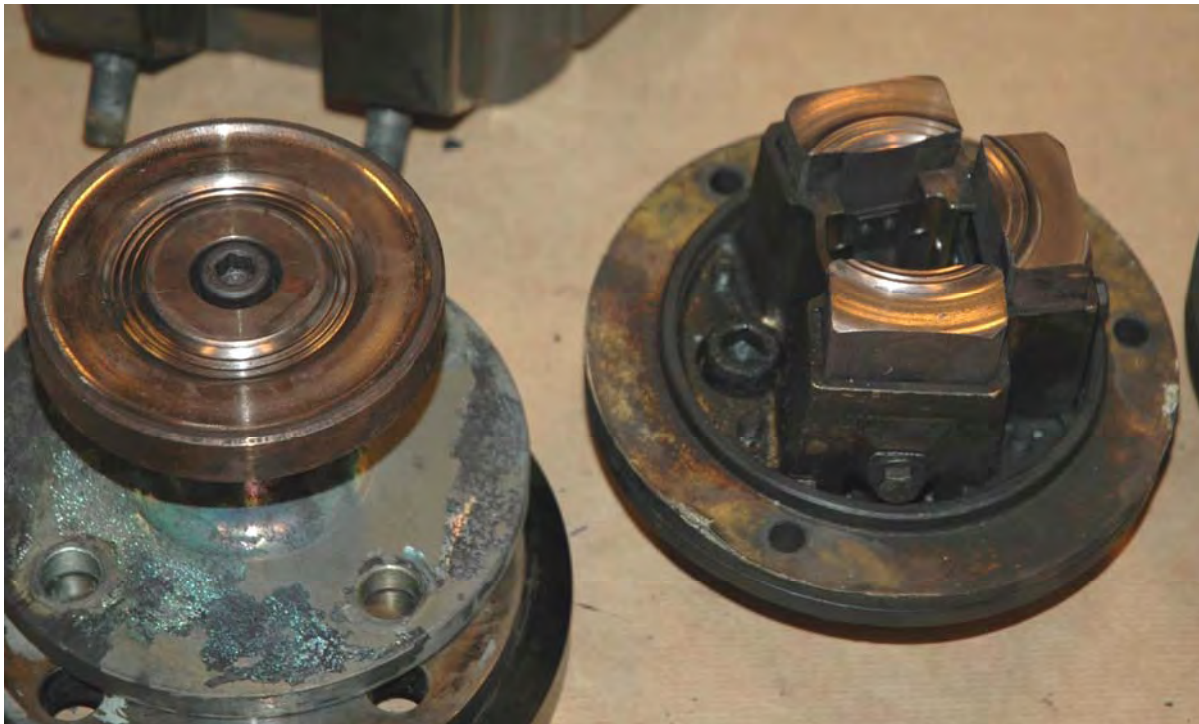


Figure 8 Overview picture of the return current components next to the failed bearing #1.

2.4.1 Brush contact and follower base material

A cross section through the brush contact was processed for investigation using SEM and EDS. The SEM image (BEI) shown in Figure 9 reveals that the brush contact is made from a graphite and lead bronze composite material.

An image (BEI) from the cross section through the brush contact follower is shown in Figure 10. The chemical composition of the part is given in Table 1, after quantitative analysis using EDS in SEM.

The follower is most likely made from a bronze alloy of an unknown standard.

Table 1 Chemical composition of brush contact follower using EDS in SEM.

	Cu	Sn	Ni
Follower #1	90	7,7	2,1

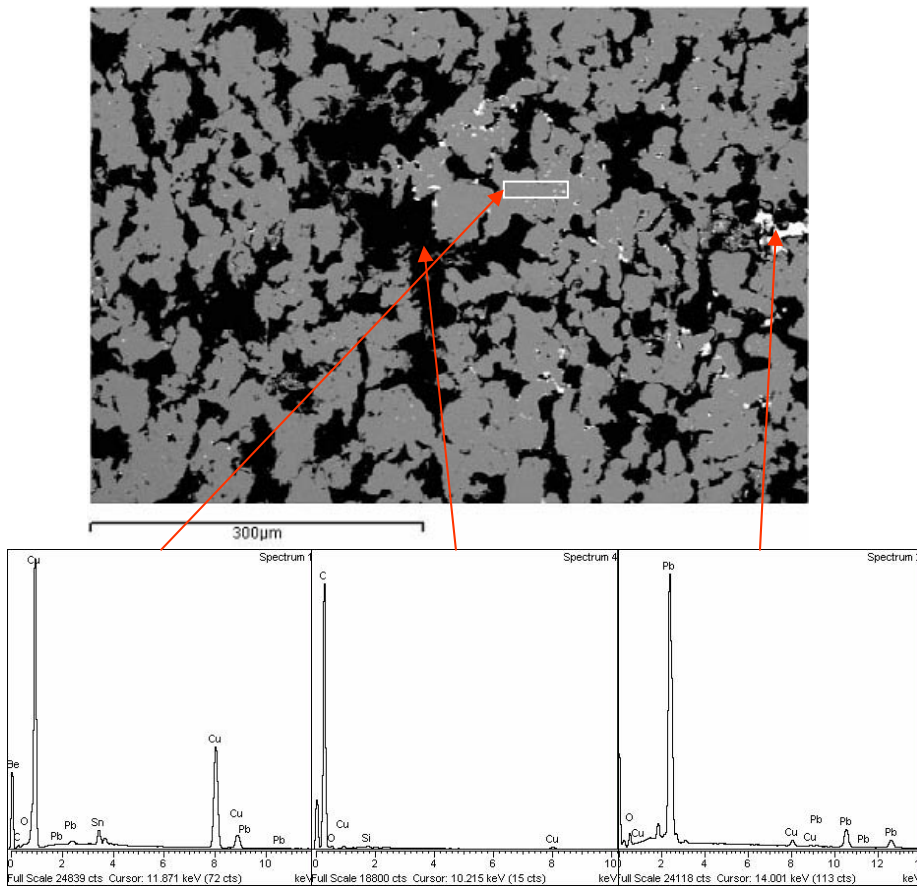


Figure 9 SEM image (BEI) from the cross section of the brush contact. The EDS spectra shows: bronze, graphite and lead respectively.

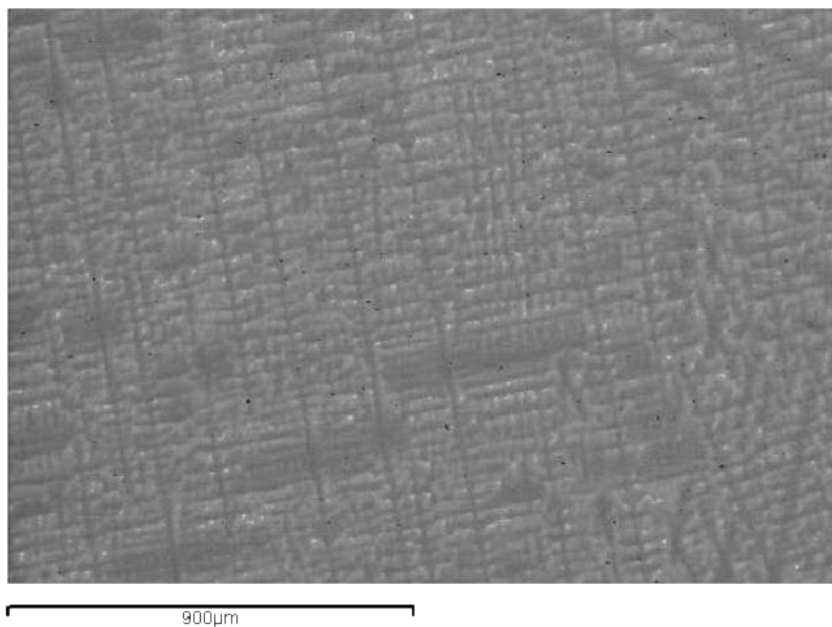


Figure 10 SEM image (BEI) from the cross section of the follower.

2.5 Summary of results for the failed bearing

Based on the investigations of the failed bearing, there was not found any signs of overload on the raceways or rollers. The brush contact and the follower for the return current system showed evidence of severe wear. Dust samples collected from the return current area, the outside and the inside of the bearing contained large amounts of copper particles probably from the return current parts and residuals probably from the glass fibre reinforced roller cage. Copper deposits were also present as layer on both the raceway and rollers.

The following investigation was concentrated on the presence of copper particle within the bearing.

3 Analysis of bearings with indications of failure

After performing temperature measurements in the bearing area of several shafts in service, some shafts showed indications of high temperature indicating the possibility of a developing failure within the bearing.

Two of the bearings with high temperature indications were received for investigation at the laboratory, Figure 11.

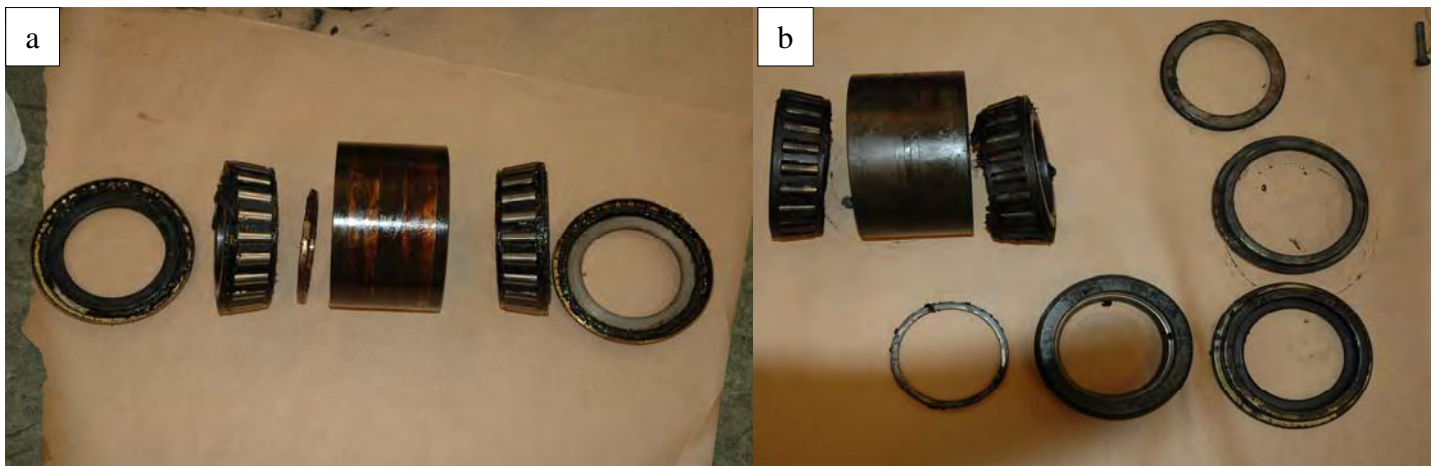


Figure 11a: Bearing #2 and b: Bearing #3 as received for investigation of possible failure.

The visual inspection of the received bearings showed no indications of abnormalities for bearing #2 in Figure 11a, no wear of the parts could be observed, and the grease seemed intact. When rotating the bearing the resistance seemed normal. For bearing #3 in Figure 11b the rollers, roller cage and raceways seemed intact, however, the grease had readily integrated, and had lost most of its smearing capabilities. In our view the bearing had been dismounted just before going into a complete failure similar to the failed bearing #1.

Based on the results obtained from the failed bearing #1, and the observation of the disintegrated grease for bearing #3, samples of the grease in bearing #2 and residuals from the grease within bearing #3 were dissolved using n-heptan, and particles settled from the solution was investigated using SEM with EDS.

3.1 SEM/EDS investigation of particles within grease from bearing #2 and #3

3.1.1 Bearing #2

The settled particles from the n-heptan /grease solution was applied to a carbon tape, and studied in SEM. The results gives indications of what kind of particles are present in the specimen qualitatively and are not intended for quantitative use.

Small amounts of particles were found in the specimen. Most of the particles originated from steel components, however copper containing particles were also observed. The copper particles composition indicated that they probably originate from the return current components.

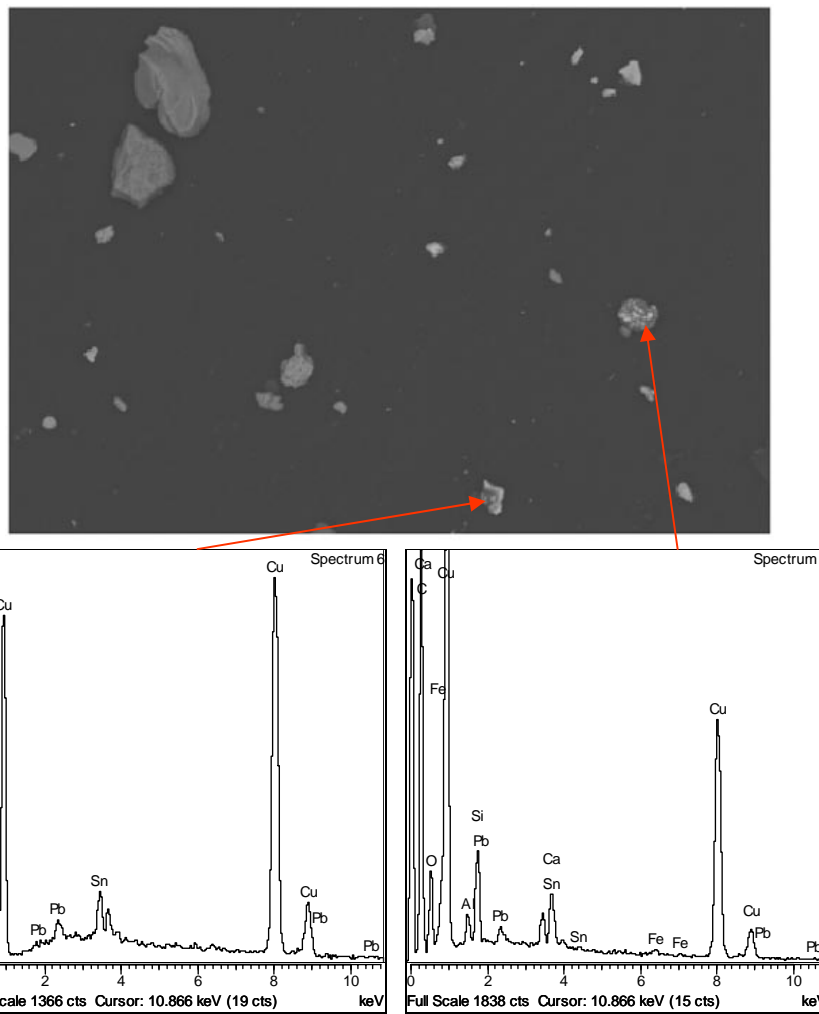


Figure 12 Representative picture of particles in grease from bearing #2. The EDS spectra of two copper containing particles are pointed out.

3.1.2 Bearing #3

Most of the grease within the bearing was disintegrated. Figure 13 shows a picture (BEI) of the grease residuals as present in the bearing. The attached EDS spectra shows large amounts of copper containing particles probably originate from the return current components.

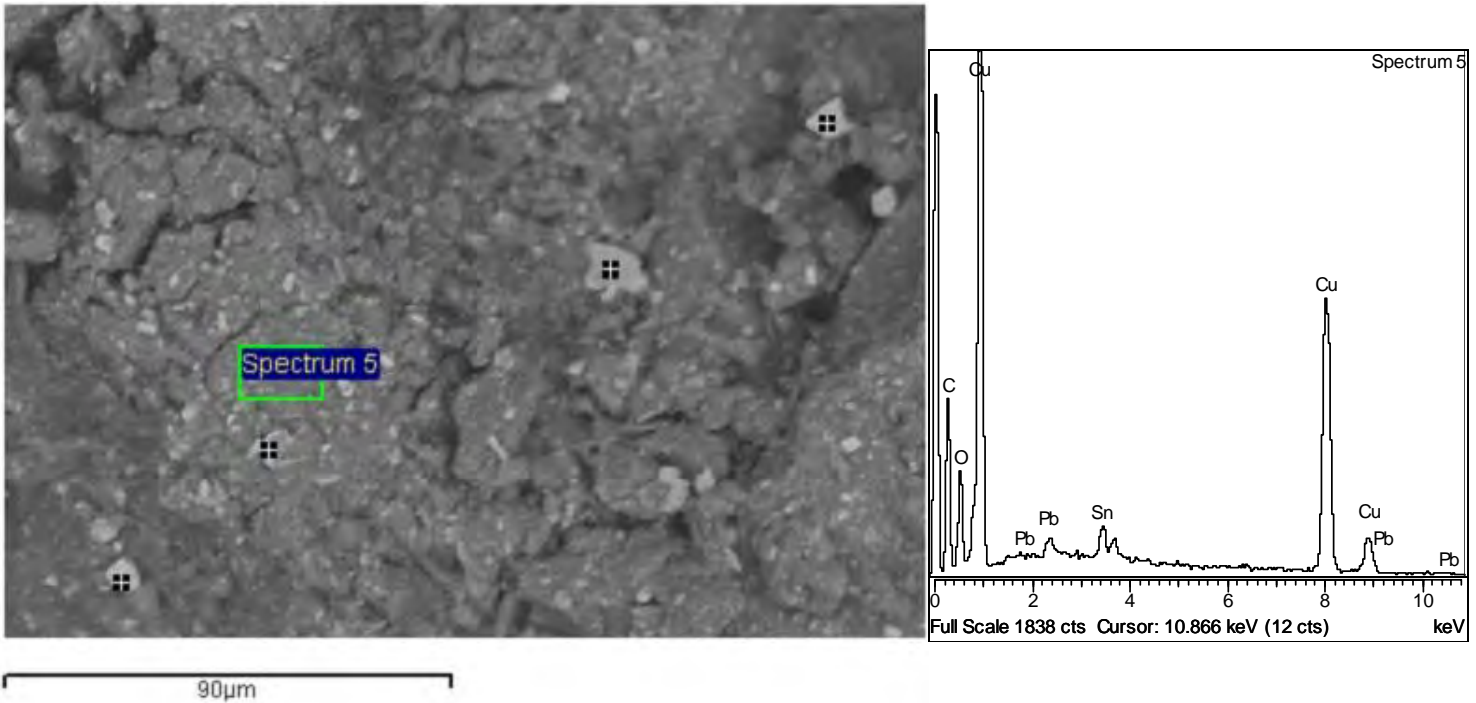


Figure 13 Representative picture (BEI) of particles in grease from bearing #3. The EDS spectra show large amounts of copper containing particles (Cu-Sn-Pb).

4 Comparison of return current components

As a result of the above observations, the return current components attached to the same shafts as bearing #2 and #3 were received along with unused parts of an original and a previous version of the brush contact follower. It was of interest to verify that the extensive wear was not due to differences in alloy composition, i.e. hardness.

Quantitative analysis using EDS in SEM was performed to establish the composition of the followers shown in Figure 8 and Figure 14. In addition microhardness $HV_{0,3}$ was measured on the samples, the value presented is the average of four measurements. The data is summarised in Table 2.

Table 2 Hardness and quantitative analysis of alloy composition for received followers using EDS in SEM.

	Cu	Sn	Ni	HV _{0,3}
Follower #1	90	7,7	2,1	96
Follower #2	89	8,8	2,7	106
Follower #3	87	9,5	3,3	115
Follower # Previous	89	7,9	3,4	99
Follower #new	89	7,7	3,6	117

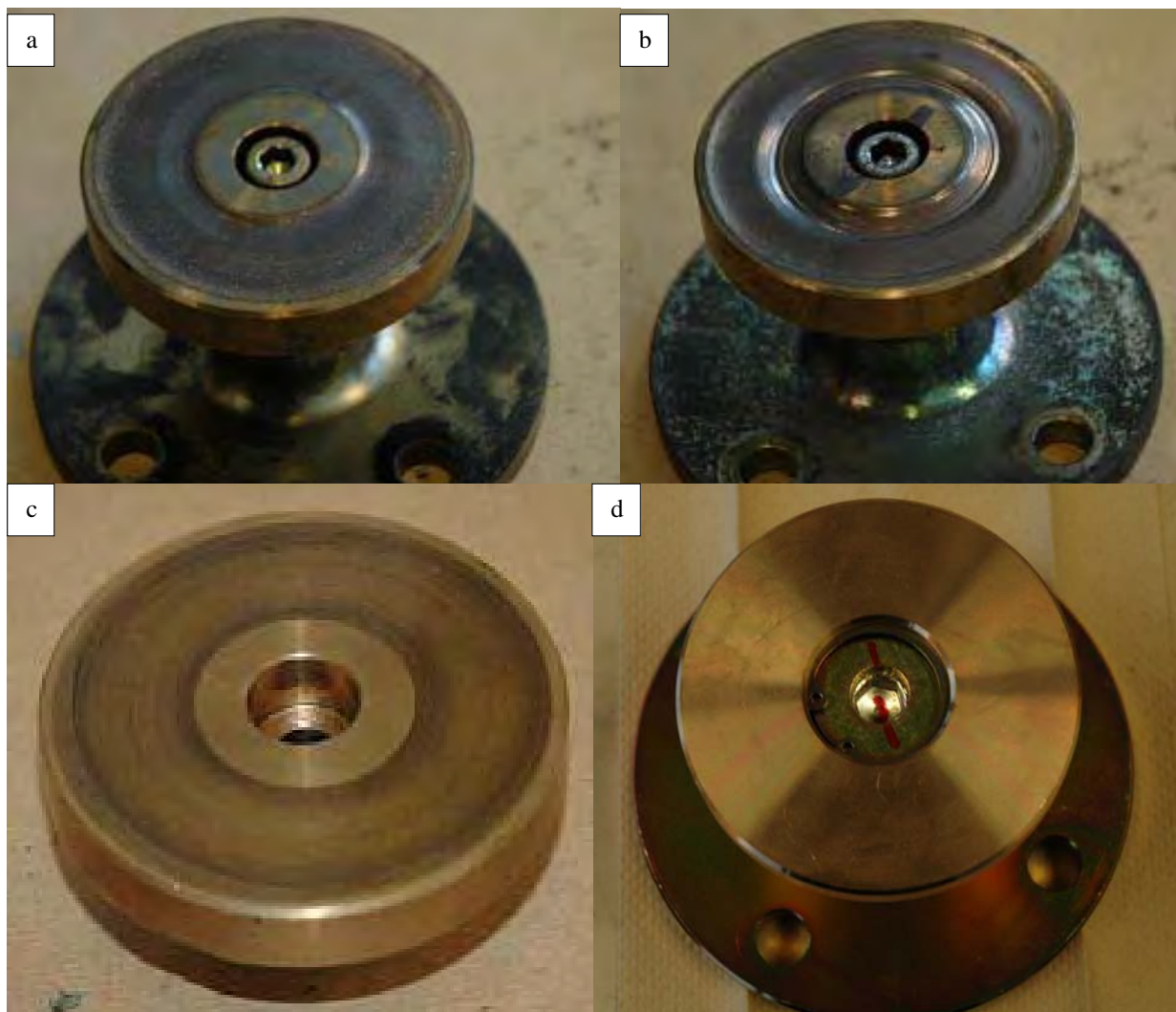


Figure 14 Overview pictures of the received followers. a: Bearing #2, b: Bearing #3, c: Previous version reference, d: New version.

5 Conclusion

Based on the above results it is our opinion that the failure of bearing #1 and #3 is not due to overload. The indications are that copper/bronze particles worn from the return current components are entering the inside of the bearings thus resulting in disintegrating of the bearing grease. As the grease disintegrates frictional heat is developing resulting in further disintegration of the grease and a complete bearing failure.

Based on the alloying composition and hardness values measured for the followers it does not seem likely that the wear of the return current follower can be explained by differences in material composition or hardness. However, the porous/composite structure of the return current brush will result in a considerable lower wear resistance than the return current follower when a wear mechanism is present.

Based on the above investigation it is our recommendation that further work is done to clarify the wear mechanism of the return current components, and on the ability for dust/particles to enter the bearings.