ARKIVEX BIBLIOTEK

Lars Ekerfors

SKADEUTREDNINGAR VID HAVERIER I METALLISKA KONSTRUKTIONER

MEKANIK
SP RAPPORT
1989:20

SP
STATENS PROVNINGSANSTALT

Lars Ekerfors

SKADEUTREDNINGAR VID HAVERIER I METALLISKA KONSTRUKTIONER

SP RAPPORT 1989:20
Materialteknik och mekanik
Borås 1989

ABSTRACT

A summary is presented of background and reasons to perform investigation of damages. Here is pointed out that investigation of damages is among other things an important instrument to prevent repeated damages. After this the article deals with a survey of the methods used in the investigation procedure. The methods can be classified into analytical and experimental methods. Finally the described procedure is exemplified with four case studies of investigations of damage which have been carried out at the Laboratory of Mechanics. In these investigations the causal relations can be derived from basic physical principles.

Keywords: Investigation of damages

STATENS PROVNINGSANSTALT
SP RAPPORT 1989:20
ISBN 91-7848-170-8
ISSN 0284-5172
Borås 1989

SWEDISH NATIONAL TESTING INSTITUTE
REPORT 1989:20

Postal address:
P.O. Box 857, 501 15 BROÅS,
SWEDEN
Telephone Int + 46 33 165000
Telex 36252 testing S
Telefax Int + 46 33 135502

INNEHÅLLSFÖRTECKNING sida

1. Inledning. 4

2. Metoder vid skadeutredning. 6

2.1 Teoretisk analys 6

2.2 Experimentella metoder 7

3. Praktikfall. 8

3.1 Sprickor på motorbädd i fartygsdieselmotor 8

3.2 Axelbrott på motoraxel i kustbevakningsfartyg 10

3.3 Erosionsskador på impeller i kompressor 11

3.4 Rörbrott på värmeväxlare i ellok. 14

SKADEUTREDNINGAR VID HAVERIER I METALLISKA KONSTRUKTIONER.

1. Inledning.

Haverier har alltid följt människan från den dag hon började konstruera och bygga. De förhoppningar, som hon knutit till sina mer eller mindre fantastiska idéer, har inte alltid klarat av mötet med verkligheten.

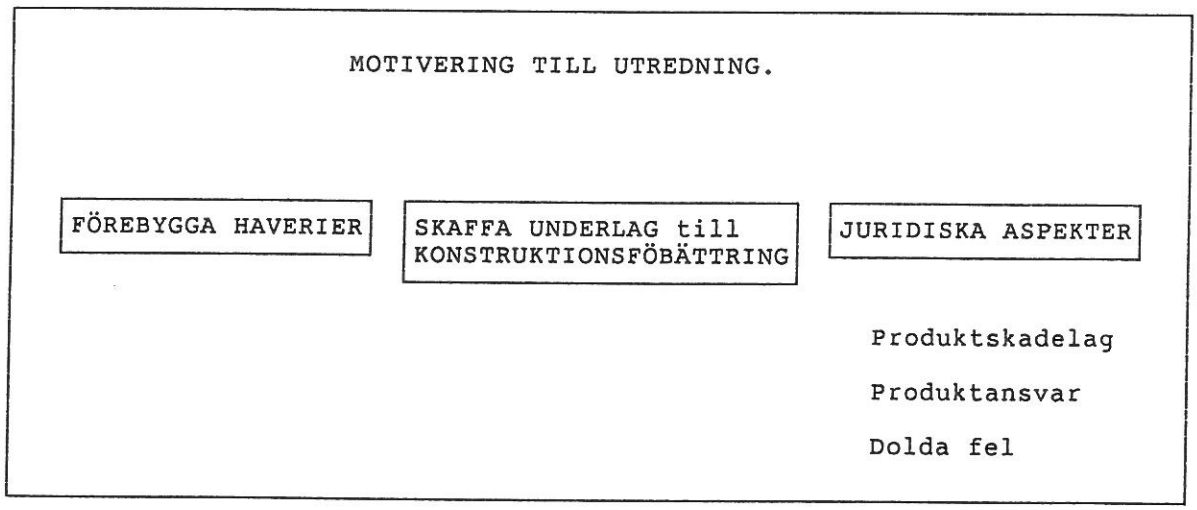
I sin strävan att undvika haverier fick man i äldre tider lita till erfarenhet vid konstruktionsarbetet. Först i efterhand när bygget var klart och skulle börja användas kunde man se om man hade gjort rätt eller fel. dvs det var inte förän produkten var färdig, som den kunde provas. Det kännetecknande för situationen var alltså att man endast genom erfarenhet något så när kunde förutsäga sin konstruktions funktion och ändamålsenlighet/säkerhet. Sentida rekonstruktion och utredning av regalskeppet Wasas förlisning 1628 illustrerar på ett dramatiskt sätt konsekvensen av denna konstruktionsfilosofi.

Figur 1. Regalskeppet Wasas förlisning.

I och med naturvetenskapernas snabba utveckling på 1700-talet och den efterföljande industriella revolutionen på 1800-talet lades grunden för en mer rationell härledning av de bakomliggande orsakerna till haverier överhuvudtaget och då speciellt hos mekaniska konstruktioner.

Själva grundidén och motiveringen till att man vid haverier vill göra utredning av det inträffade är naturligtvis, att man härigenom skaffar sig möjlighet att **förebygga ett upprepande.** Ett viktigt inslag är då, förutom att vidtaga förebyggande åtgärder, även skapa underlag för **konstruktionsförbättringar.**

Vidare kan man peka på att det många gånger finns juridiska aspekter med i bilden där ansvarsfrågan måste klarläggas. Detta är en fråga, som alltmer kommer att aktualiseras i och med att justitiedepartementet framlagt ett förslag till produktskadelag. Här närmar man sig EG:s och USA:s ståndpunkter vad gäller produktansvar. Dvs tilverkaren ansvarar för dolda, ej förutsebara fel hos sin produkt.



Figur 2. Motivering till haveri- och skadeutredning.

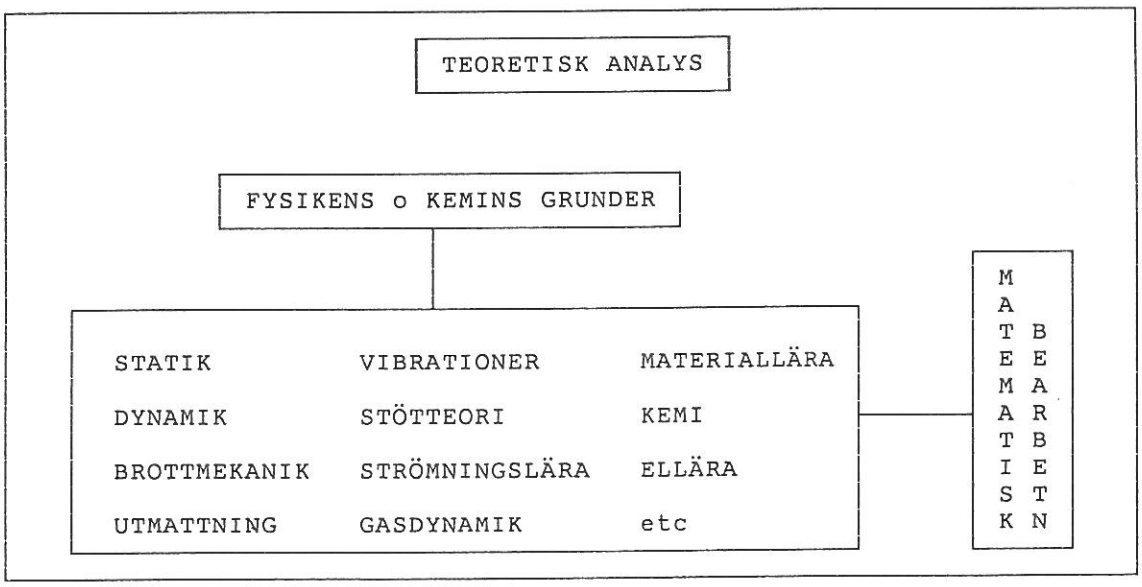
På mekaniklaboratoriet vid statens provningsanstalt bedrivs haveri- och skadeutredningar. Bland de resurser vi har till vårt förfogande kan nämnas ett flertal olika provningslaboratorier inom följande teknikområden: mekanik, polymerteknik, ytskydd och korrosion, kemi, byggnadsteknik, brandteknik, energiteknik, elteknik.

2. Metoder vid skadeutredning.

I utredningar gäller det i allmänhet att rekonstruera händelseförlopp, orsaker och följder. Det är då lämpligt att strukturera arbetet efter de två huvudlinjerna: teoretisk analys och experiment.

2.1. Teoretisk analys

Den ena huvudlinjen är teoretisk analys. det visar sig ofta att haverierorsaker kan härledas till och föklaras med **grundläggande fysikaliska samband.** När det gäller metalliska konstruktioner är det framför allt mekaniska orsaker i kombination med materialval och den kemiska miljön, som gett upphov till inträffade skador. När det sedan gäller att ta fram de inbördes sambanden för faställande av tex livslängder etc, utnyttjas lämpliga **matematiska metoder.**



Figur 3. Grundläggande fysikaliska och kemiska ämnesområden.

2.2. Experimentella metoder

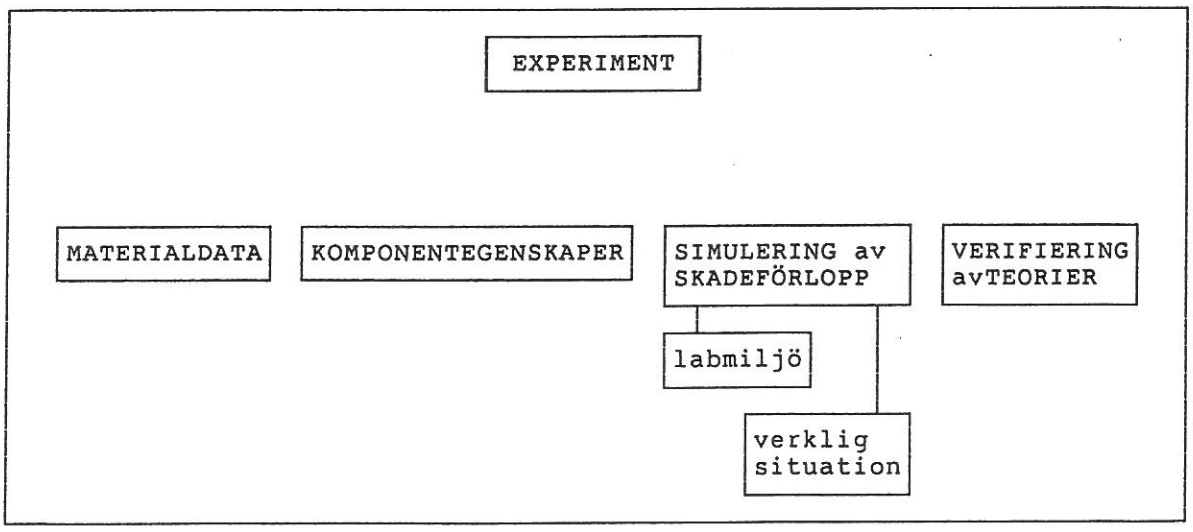
Vid en skadeutredning kan omständigheterna vara sådana, att teoretisk analys inte ensamt kan förklara skadorna. Man kan då i allmänhet uppnå resultat genom att tillgripa experiment.

Det kan här röra sig om att det teoretiska underlaget är bristfälligt beträffande **materialdata**. Dessa bestämmes då med lämplig materialprovning.

Haverier kan ha uppstått pga att komponenter i en större konstruktion inte fungerat på avsett sätt. I stället för att prova hela konstruktionen kan det många gånger vara lämpligt att prova de enskilda komponenterna. Sådan **komponentprovning** kan då snabbt leda fram till att klarlägga orsakssammanhanget. Som exempel på experimentellt fastställda komponenetegenskaper kan nämnas funktionsduglighet, egensvängningar vid vibrationer etc.

Vid en konstruktion kan omständigheterna vara sådana, att ingående delar samverkar på ett sätt, som kräver, att konstruktionen som helhet utsätts för realistiska påfrestningar. Vill man sålunda utreda ett **haveriförlopp** kan en framkomlig väg vara att **simulera** detsamma.

De teorier och hypoteser man skaffar sig över orsaker till inträffade maskinhaverier är i allmänhet baserade på förenklade modeller. Meningen är att modellerna skall beskriva verkligheten i något speciellt avseende. Emellertid kan osäkerhet råda beträffande teoriernas giltighet i det aktuella fallet. I ett sådant läge kan **verifieriering av** dessa **teorier** med modellförsök vara en möjlighet.



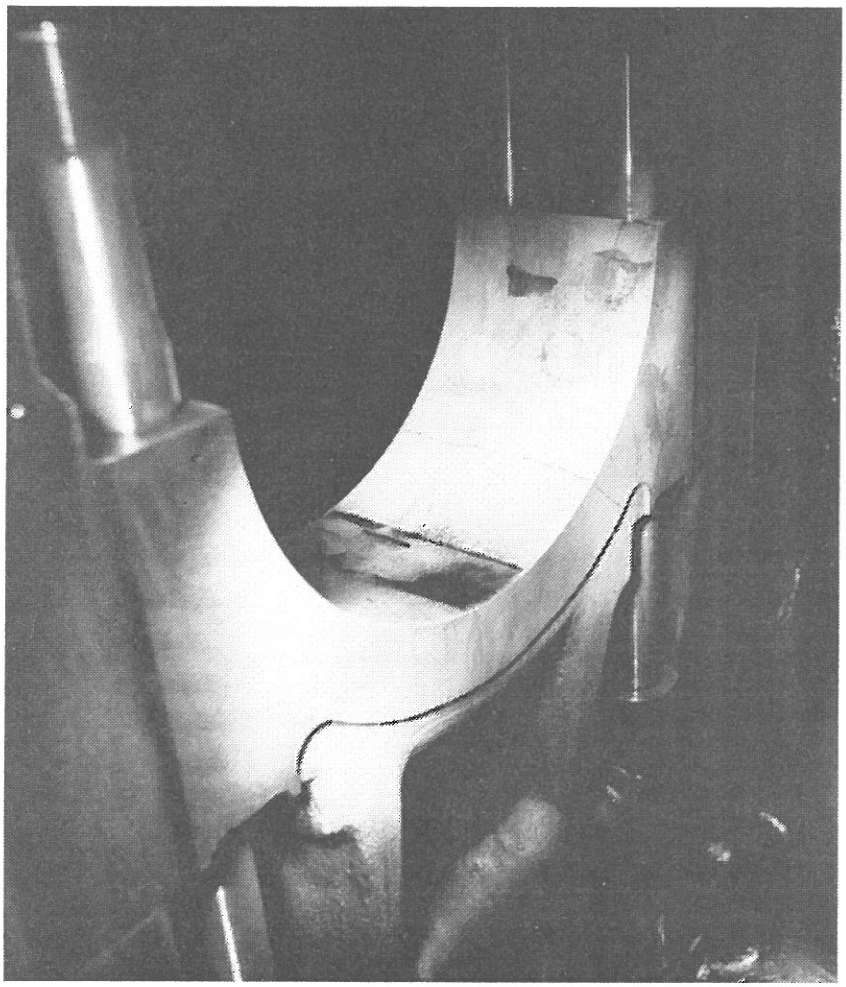
Figur 4. Faktorer som motiverar experimentell undersökning

3. Praktikfall.

I det följande redogörs för några exempel på skadeutredningar, som utförts vid SP:s mekaniklaboratorium. I utredningarna förklaras de bakomliggande haveriorsakerna och därmed har också kunnat föreslås lämpliga åtgärder för förebyggande av upprepade skador eller eliminering av fortsatt skaderisk.

3.1. Sprickor på motorbädd i fartygsdieselmotor.

Stora maskiner, såsom motorer i lastfartyg, där delar av konstruktionen består av gjutjärn, riskerar ofta att utsättas för sprickbildning. Föreliggande utredning behandlar två identiska dieselmotorer stationerade i ett lastfartyg på linjefart. Ett antal sprickor och fullbordade brott kunde observeras i motorbäddarna bl a i några lagerbockar.



Figur 5. Spricka i lagerbock av gjutjärn.

Teoretisk analys av belastningstyp och sprickpropagering ur brottmekanisk aspekt visade att sprickorna kunde ha förutsetts. Erforderliga materialdata bestämdes med konventionell hållfasthetsprovning.

Studien visar en bild av brottorsaker, vilka indikerar utmattning pga pulserande last. Sprickorna utgick från skarpa hålkälar i gjutgodset. Materialet i motorbäddarna var gjutjärn av låg hållfasthet.

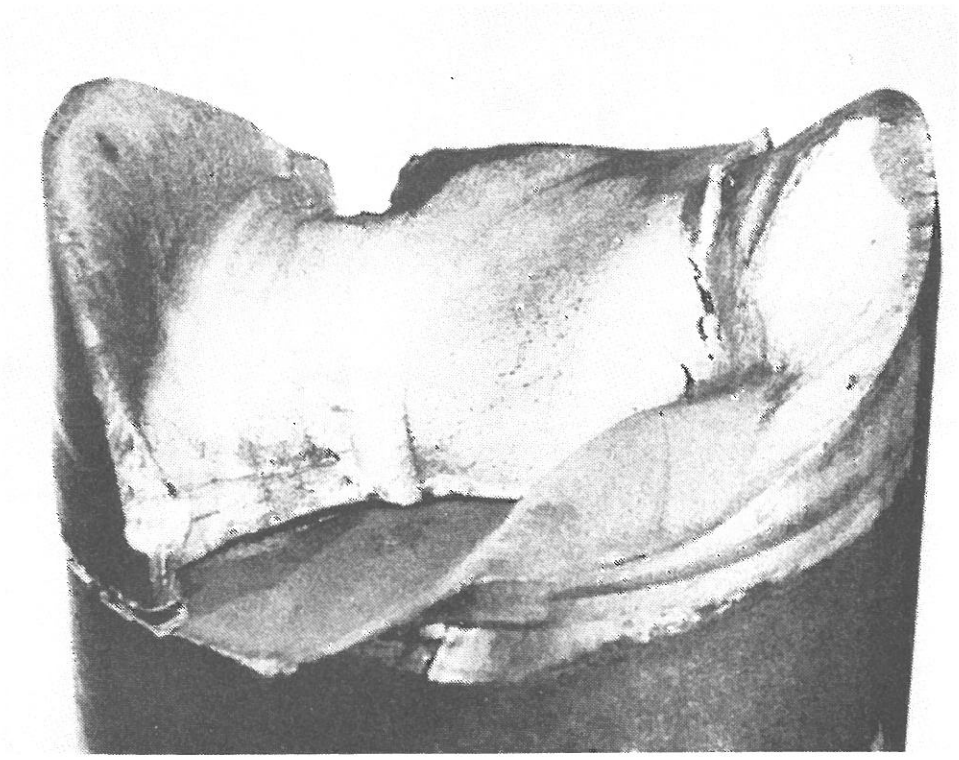
Rekommenderade åtgärder vid omkonstruktion, var **förbättrad detaljutformning** med undvikande av skarpa hålkälar. Vidare föreslogs **material av högre kvalitet.**

3.2. Axelbrott på motoraxel i kustbevakningsfartyg.

Kombinationen av olämpligt eller felaktigt valda maskinelement vid effektöverförande maskiner kan vara förödande.
Betydelsen av att välja korrekta maskinelement på konstruktionsstadiet belyses i följande haveriutredning.

Upprepade axelbrott på motoraxeln till ett kustbevakningsfartyg inrapporterades. De havererade axlarna utgorde mellanaxlar mellan drivmaskineriet, dieselmotor på 1.060 hk, och ett kardanaxelsystem till propelleraxeln. Axelbrott hade skett sammanlagt sju gånger med åtföljande utbyte och inmonterinag av ny mellanaxel.
Brottställena hade ungefär samma placering på axeln dvs vid änden av ett kilspår.

Undersökning av brottytorna visade entydigt bilden av utmattningsbrott förorsakat av roterande böjning med sprickstart vid kilspåret.



Figur 6. Brottyta hos havererad motoraxel.

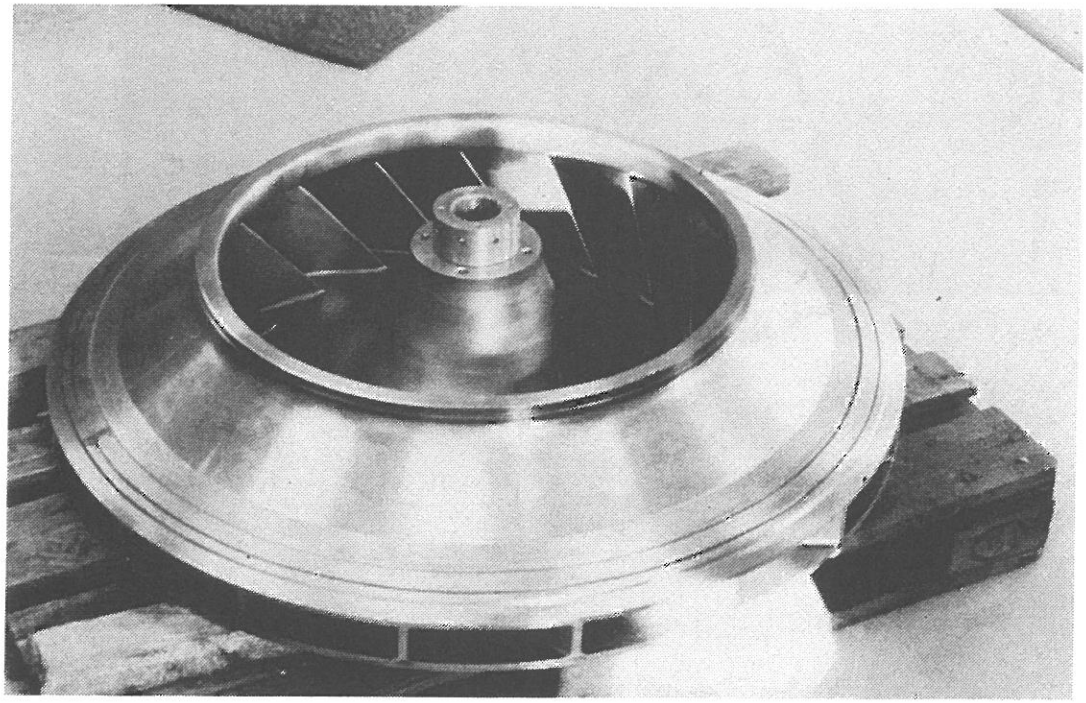
Orsaken till den roterande böjningen fann man vid studium av axelns belastningssituation. Det visade sig nämligen, att vridmomentvektorn hade en **böjande komponent** till följd av av den utgående kardanaxelns snedställning. Denna komponent ger upphov till roterande böjning av axeln, som överlagras det konstanta vridmomentet. Omräknat till spänningar ger detta belastningsfall ett spänningstillstånd, av samma storleksordning som tillåtna hållfasthetsvärden.

Rekommendationen i detta fall var att konstruera om axeln antingen genom **diameterökning** eller genom val av annan **navtyp utan kilspår.**

3.3. Erosionsskador på impeller i kompressor.

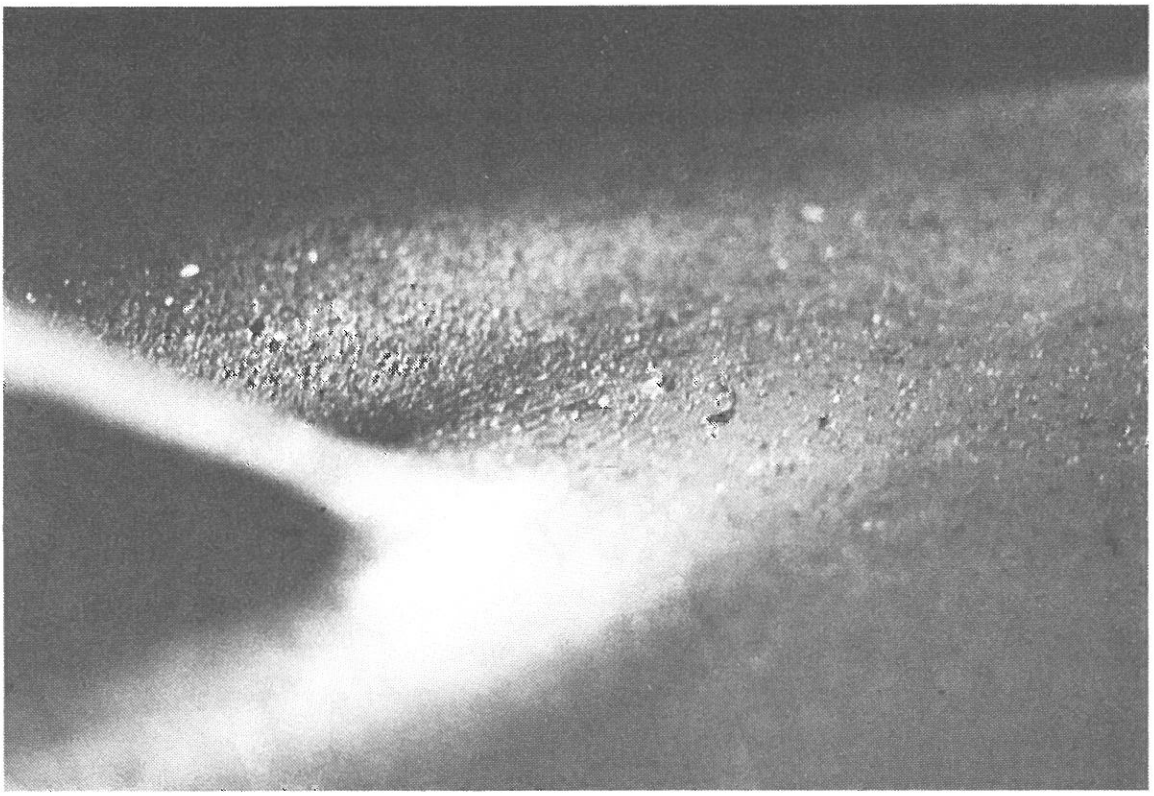
I samband med energihushållningen blir det allt vanligare med stora värmepumpsanläggningar, där man tillvaratar spillvärme från avloppsvatten.

I det här relaterade fallet rörde det sig om en i en värmepump ingående trestegskompressor med kopplingseffekten 12,6 mw. arbetsmediet var freon R 12. I samband med servicuppehåll konstaterades erosionsskador på impellerhjulen hos steg 2 och 3.



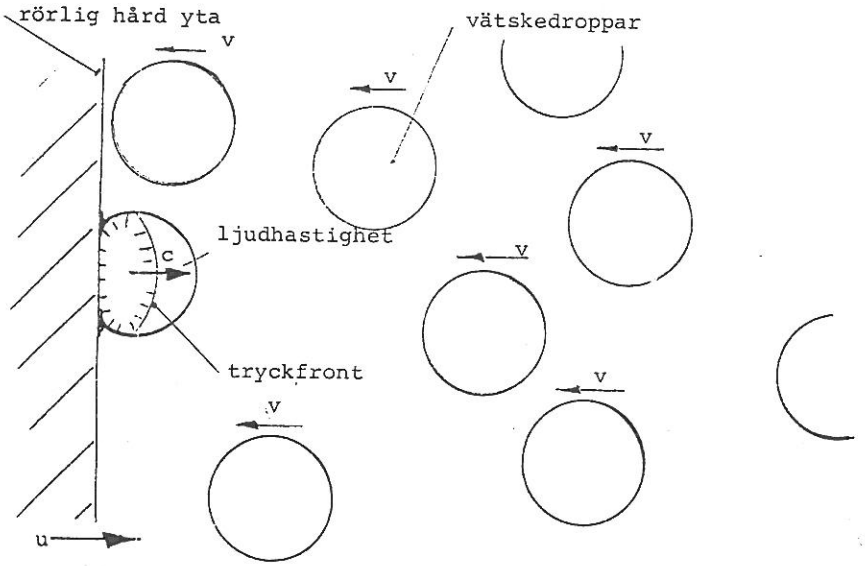
Figur 7. Impellerhjul till kompressor i värmepump.

Skadorna var lokaliserade till hjulens sugsida på skovlarnas framkant, skovelfot, skovelplatta och skovelring. De skadade ytorna hade en skrovlig, sandpappersliknande struktur.



Figur 8. Detaljbild av erosionsskador på impellerhjul.

Det kunde påvisas, att de eroderade ytorna hade exponerats för vätskedroppar av icke förångat freon med hög islagshastighet. Vätskedropparna träffade i det aktuella fallet impellerytorna i form av vätskeduschar. Den stöt, som härvid uppstår, medför ett kraftigt stegrat tryck, som verkar lokalt vid varje vätskedroppe.



Figur 9. Stöt mellan vätskedroppar och rörlig hård yta.

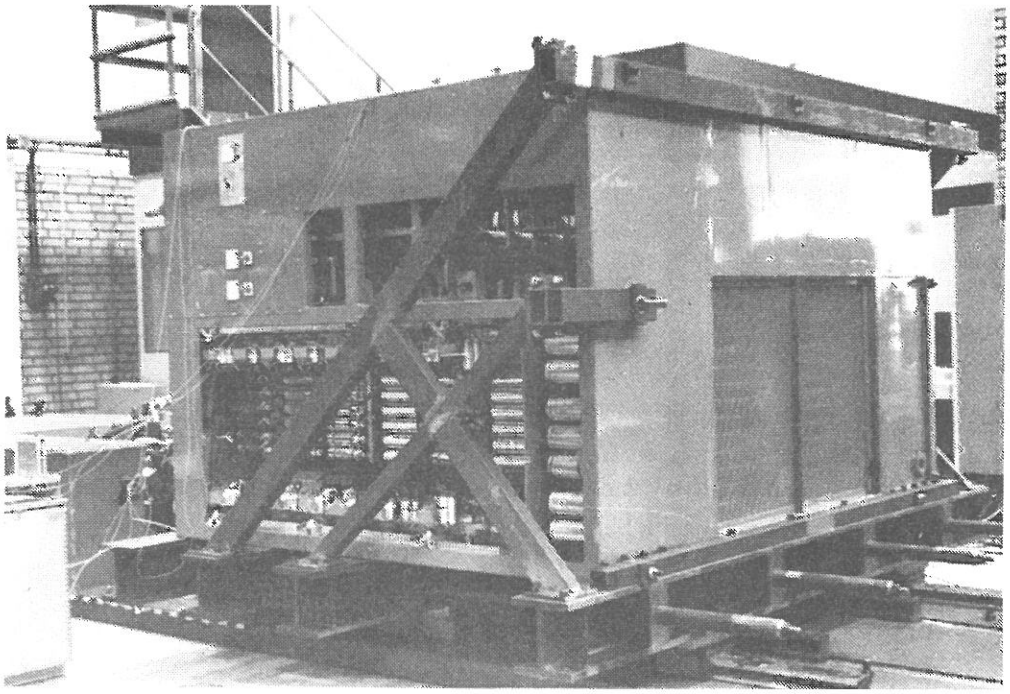
Detta innebär ett ständigt upprepat bombardemang av droppar med åtföljande momentan tryckstegring. Detta får till följd en utmattande inverkan på materialet. När denna process fortskrider, kommer material successivt att slitas loss ur de exponerade ytorna.

Bedömningen av erosionsskadorna i sig, blev att fortsatt drift utan speciella åtgärder kan ur hållfashetssynpunkt ske relativt riskfritt. På längre sikt kan eventuellt maskinernas balansering påverkas på grund av fortskridande erosionsskador. En konsekvens på kortare sikt kan vara, att kompressorns verkningsgrad försämras i någon mån.

En annan aspekt på fenomenet med icke förångade vätskedroppar i arbetsmediet, som inte tas upp till behandling i detta sammanhang, är risken för överbelastning av kompressormaskineriet som helhet.

3.4. Rörbrott på värmeväxlare i ellok.

Järnvägsutrustning utsätts ofta för höga transportvibrationer, som kan leda till skador på materielen. Detta belyses i följande utredning, där ett svensktillverkat lok, som levererats till USA, råkade ut för haveri med brand som följd. Den direkta orsaken till branden var, att het olja från en oljekylare läckt ut från ett brustet kylrör. Oljekylaren var avsedd för kylning av en strömriktare i loket.



Figur 10. Strömriktare till järnvägslok.

Kylaren var uppbyggd av ett antal kylpaket fästade till varandra med punktsvetsar. Det hela var monterat i en ram tillsammans med strömriktaren.

SP kopplades in för utredning av haveriet. Som trolig orsak misstänktes vibrationsutmattning. Man utgick också från denna hypotes vid den efterföljande utredningen. Det man var intresserad av att veta ,var orsaken till rörbrotten och vilka rör, som var mest utsatta för brottrisk. Man ville också mot bakgrunden av utredningsresultatet få möjlighet att på ett tekniskt riktigt sätt förebygga uppkomsten av ytterligare haverier.

Som utredningsmetod användes vibrationsprovning av hela strömriktaren med monterad kylare. Detta innebar att man simulerade hela skadeförloppet samtidigt som man härigenom förhoppningsvis kunde få verifierat antagandet om vibrationsutmattning.

För vibrationsprovningen användes ett servohydrauliskt skakbord, vilket påtvingades vibrationer av samma typ, som motsvarade skakningar på järnvägarna i USA. Till sammanhanget hör att svensk rälsstandard, för vilken loken ursprungligen konstruerades, är betydligt bättre än i USA.

Förutom accelerometrar instrumenterades provningsojektet med trådtöjningsgivare på ett antal rör i samma områden som konstaterade brott.

Vid provningen fann man, att provningsobjektet till att börja med hade en egenfrekvens av ca 9 hz. Efter en stunds körning sjönk emellertid egenfrekvensen till ca 7 hz samtidigt som trådtöjningsgivarna registrerade kraftiga spänningsökningar. Inspektion efter vibrationsprovning visade, att punktsvetsarna mellan två av kylpaketen skakat loss. När detta väl inträffat har kylpaketen erhållit stora inbördes rörelser, som i sin tur lett utmattningsbrott av de aktuella kylrören.

Följande åtgärder föreslogs:

- förbättring av skruvförband och svetsar,
- uppstyvning av ramen, vilket leder till höjning av egenfrekvensen till ett ofarligt område,
- införande av flexibla kopplingar mellan rör och kylpaket.

Lars Ekerfors

Figurer.

Figur 1. Regalskeppet Wasas förlisning.

Figur 2. Motivering till haveri- och skadeutredning

Figur 3. Grundläggande fysikaliska och kemiska ämnesområden.

Figur 4. Faktorer, som motiverar experimentell undersökning.

Figur 5. Spricka i lagerbock av gjutjärn.

Figur 6. Brottyta hos havererad motoraxel.

Figur 7. Impellerhjul till kompressor i värmepump.

Figur 8. Detaljbild av erosionsskador på impellerhjul.

Figur 9. Stöt mellan vätskedroppar och rörlig, hård yta.

Figur 10. Strömriktare till järnvägslok.

SAMMANFATTNING

En översiktlig presentation ges av bakgrund och motivering till haveri- och skadeutredningar. Här påpekas bl a att skadeutredning utgör ett viktigt medel att förhindra upprepande av inträffade haverier. Därefter görs en genomgång av de metoder, som används vid utredningsarbetet. Dessa kan indelas i analytiska och experimentella metoder. Avslutningsvis exemplifieras det beskrivna tillvägagångssättet med fyra praktikfall av utförda haveriutredningar, där orsakssammanhangen kan härledas till grundläggande fysikaliska samband.

VASASTADENS BOKBINDERI AB
1989