

Metoder för detektering av pittingskador i motorer.

Under de senaste två och ett halvt åren har det pågått ett projekt på Institutet för Tillämpad Hydraulik (ITH) i Örnsköldsvik. Projektet är genomfört med stöd från *EU:s regionala strukturfondsprogram för stärkt konkurrenskraft och sysselsättning* och i samarbete med Länsstyrelsen Västernorrlands län, Örnsköldsviks kommun, Hägglunds Drives AB, Hydac Fluidteknik AB och BAE System Hägglunds. I projektet har man gjort en jämförelse mellan optiska sensorer och magnetiska system för detektering av pittingskador i kamringsmotorer. Projektet hade sitt ursprung på Hägglunds Drives AB där man såg behovet av en automatiserad och kontinuerlig



tillståndskontroll för att upptäcka pittingskador i deras motorer.



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden

På Hägglund Drives AB används redan ett övervakningssystem baserat på en magnetplugg i oljan för att upptäcka pittingskador, men den ger inte en kontinuerlig övervakning. Metodens tillförlitlighet är dessutom beroende av vilken erfarenhet operatören har. Därför beslöts att man skulle undersöka alternativa/kompletterande övervakningssystem baserat på optisk partikelräkning, för att på detta sätt se om det kunde ge fördelar jämfört med det befintliga systemet. I projektet jämförde man metodernas känslighet för skador, antal falskalarm och dess användarvänlighet. För att man skulle anse optisk partikelräkning som en bättre metod än användandet av magnetplugg var därför de optiska sensorerna tvungna att ge bättre resultat på någon av dessa punkter (så länge som den gav lika bra resultat på resterande punkter). Den var antingen tvungen att kunna ge tidigare upptäckt av skador (större känslighet), ge färre falskalarm eller kräva mindre erfarenhet hos operatörerna.

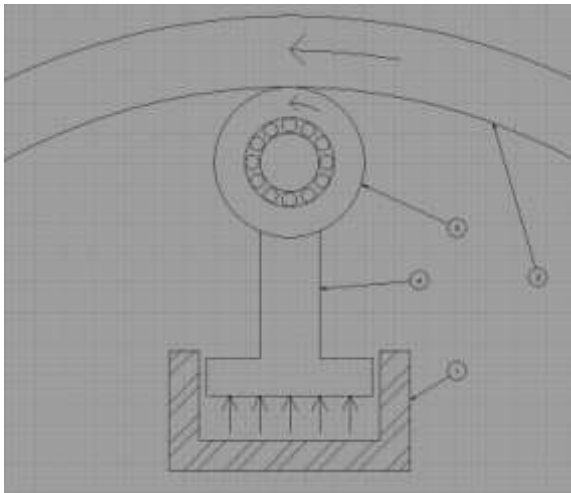
Val av metod

Studier som gjorts tidigare har visat att kumulativ partikelräkning, på ett effektivt sätt, har kunnat användas för att indikera uppkomsten och utvecklingen av pittingskador i växlar och lager. Efter att ha studerat möjliga metoder, vad andra har kommit fram till, existerande lösningar och inte minst konstruktionen av provriggen som användes, så valdes metoden; partikelräkning i dräneringsledningen. Detta var den lämpligaste metoden för riggen och andras forskning har visat lovande resultat med denna metod.

Alla tester i projektet utfördes i Hägglund Drives AB:s hydrauliska laboratorium i Mellansel. Testerna utfördes på deras testrigg för rullager, eftersom den ansågs lämplig då den byggts speciellt för att genomföra utmattningsprovning av rullager.

Vänstra bilden: en schematisk bild av kolvenheten i testriggen där 1: stationärt cylinderblock, 2: roterande kamring med cirkulär innerring (istället för den normalt "vågformade" profilen), 3: rullager och 4: kolven.

Högra bilden: kolvanordningen bestående av kolv, axel och lager.



Mätinstrument

Förutom mätinstrument för oljetillstånd, temperatur, tryck, flöde och RPM (som användes för att hålla konstanta förhållanden i systemet) så användes tre olika mätinstrument; en optisk partikelräknare, en induktiv partikelräknare och den magnetplugg som för närvarande används hos Hägglund's Drives AB.



Den optiska partikelräknaren som användes var Hydac CS1000. Detta är en partikelräknare enligt ljusblockeringsmetoden. Ett litet flöde (30-300 ml/min) leds av och analyseras (on-line), sensorn anger mängden partiklar i oljan enligt ISO 4406:1999. Antalet partiklar ≥ 4 , ≥ 6 och ≥ 14 μm per milliliter anges som heltal enligt intervaller från en tabell. Fördelar med sensorn är att den är relativt vanlig i industrin och att standarden är välkänd, den detekterar små partiklar, den övervakar kontinuerligt, man kan använda sig av samplingsintervall och den lämnar en signal som kan tas emot av PLC eller liknande. Nackdelar med sensorn är att den inte kan skilja på nötningspartiklar och ickepartiklar t.ex luftbubblor. Att den inte mäter på hela systemflödet skulle också kunna ses som en nackdel, likaså att den bara levererar ISO-kod och inte rådata från partikelräkningen.



Den Induktiva partikelräknaren som användes var Hydac MCS1000. Fördelarna med den här typen av sensor är att den inte är känslig för ickepartiklar, t.ex luft och vatten, den mäter på hela systemflödet och kan skilja på ferro- och icke ferromagnetiska partiklar. Den levererar mätdata som kumulativt räknar antal partiklar i tre storleksintervall. Nackdelar är att det krävs relativt stora partiklar för att den skall reagera.

Gemensamt för båda sensorerna är att man inte får någon information om partiklarnas form, partiklarna fångas heller inte för analys under t.ex mikroskop.



Magnetpluggen som användes kontrollerades dagligen och kontrollerna följde de rutiner som normalt används vid Hägglund's Drives AB:s hydrauliska laboratorium. Kontrollerna bestod av att avlägsna pluggen, inspektera den visuellt med avseende på slitagepartiklar och att rengöra den före ominstallation. Pluggen som användes var utformad så att man kunde avlägsna den utan att testet stoppades. Tolkningen av magnetpluggen var komplicerad pga slitagepartiklar som fanns även under normala driftförhållanden.

Förmågan att skilja normala slitagepartiklar från partiklar som orsakats av pittingskador grundar sig på praktisk erfarenhet hos operatören.



Datansamlingen från mätinstrumenten skedde med Hydac CMU1000. Målet var att både efterbehandling och tolkning av data skulle ske automatiskt i realtid med loggern och på så vis få en övervakning som var helt oberoende av operatören. Försök gjordes även att via loggers reläutgång stoppa provet när larmnivåer i tolkningen av mätdata triggades. Data från alla sensorerna samlades var 5 minut och sparades som en .txt-fil, efter det laddades data ner från CMU1000 och exporteras till Microsoft Excel för utvärdering och efterbearbetning. Samplingsintervallet (på 5 minuter) baserades på

hur lång tid körningar hade tagit förr och hur många datapunkter Excel kunde hantera.

Resultat

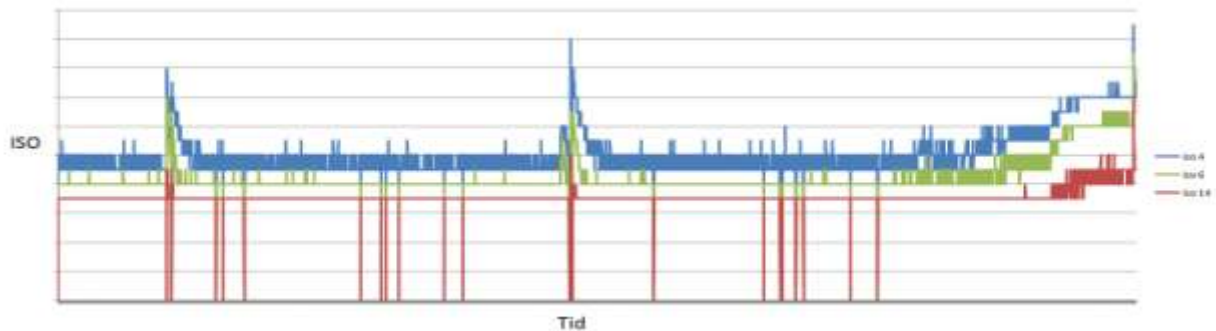
Testet kördes totalt i 4301 timmar, under denna tid stoppades testet 6 gånger med 7 fall av pittingskador (vid ett av stopen hade det skett pittingskador hos två kolvpartier). Tiden från att testet startades till att det uppstod ett fel på enskilda kolvaggregat varierade från 839 timmar till 3166 timmar, med ett medianvärde och en medeltid på 1808 timmar respektive 1770 timmar. I slutet av testet återstod två kolvaggregat av de åtta ursprungliga kolvaggregaten som fanns i riggen i början av testet. De andra kolvaggregaten hade skadats och ersatts.

Observationer

Genomgång av mätdata visade att ISO värdena från CS1000 reagerade vid en skada. Ökningen i ISO tidigt i skadeprocessen var dock svår att skilja från brus i signalen, därför krävdes någon form av efterbehandling. Vid start av riggen blev det stora spikar i ISO nivåerna, om detta berodde på att sedimenterade partiklar sköljdes loss eller pga att det bildades bubblor i oljan är inte känt. I vilket fall som helst så var man tvungen att ta hänsyn till dessa spikar i efterbehandlingen av data om man skulle kunna undvika falskalarm vid stop och start av riggen. Mätsignalens beteende var i alla fall tämligen konsekvent och förutsägbart.

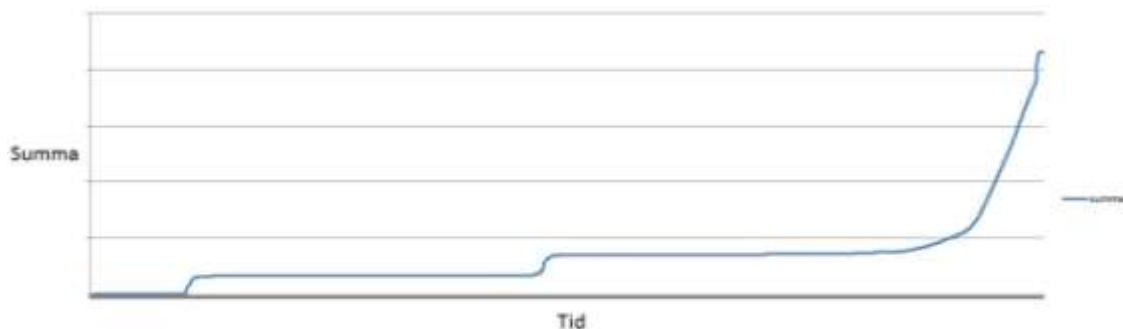
MCS1000 reagerade inte på partiklarna, en hypotes är att det bero på konstruktionen av kolvpartiet; där rullagrets gavlar ligger kloss mot kolvstång och gejdlager. Detta medförde att stora partiklar inte tog sig ut ur lagret, istället maldes de ner och blev då för små för att MCS1000 skulle klara av att detektera dem.

Utvärdering av mätdata



När data utvärderades efter ett haveri var det enkelt att se vart förändringarna i ISO började och att skilja spikar från förändringar orsakade av skada. I realtid medans provet rullade var det däremot svårare att skilja förändringarna åt, och att skilja en begynnande skada från bruset i steady state-signalen. Indikationen fanns där, men man behövde göra den tydligare för att underlätta tolkningen av data. Bästa vore om loggern själv kunde konvertera rådata till en mer lättolkad form, och sen också utföra själva tolkningen. Därför togs två enkla algoritmer fram.

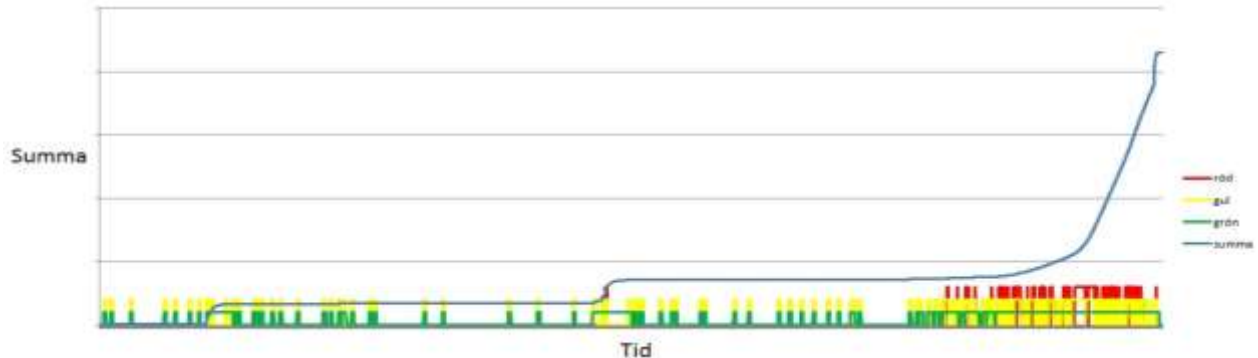
Efterbehandling



Algoritmen från utvärderingen av mätdata bearbetar varje ISO klass var för sig. För att ge en mer lättjobbad trendkurva med betydligt mindre brus summerades ISO-spikarna ihop till en "summa kurva" att basera tolkningen på. Algoritmen tar rådata från den optiska sensorn och genererar en kurva som efterliknar vad man skulle ha fått med kumulativ partikelräkning. Denna metod användes eftersom andra personer förut, har fått lovande resultat med kumulativ partikelräkning. CS1000 kan inte leverera det faktiska antalet partiklar, utan bara ISO nivåer. Att skapa en algoritm blev alltså ett sätt att jobba sig runt begränsningen hos sensorn.

Traditionell tolkning av trendkurvor bygger ofta på absolutvärden, "tröskelvärden", för olika larmnivåer, men med den här typen av trendning kan absolutvärdena variera kraftigt pga spikar i ISO vid stopp och start. Detta gör det svårt att använda absolutvärden för aktivering av larm. Neurala nät skulle antagligen kunna användas för mönsterigenkänning för att upptäcka förändringar i trendvärdet med den karakteristik som indikerar skada, men loggern klarar inte av sådana beräkningar. En algoritm skapades därför som analyserar trendkurvans form och aktiverar larm utifrån den.

Automatisk tolkning



Om man studerar trendkurvorna från flera haverier ser man att kurvan beter sig liknande vid varje haveri. Från steady state-värdet börjar värdet sakta öka för att sedan öka fortare och fortare. Vid en spik i ISO får man istället en plötslig snabb ökning som sedan avtar och stannar upp på ett nytt, högre, steady state värde. Algoritmen för tolkning måste ta hänsyn till detta, därför faller tröskelvärdena baserade på kurvans absolutvärde bort. En enkel algoritm utvecklades därför som var femte minut (vid varje samplingstillfälle) analyserade kurvans form och reagerade på den typ av förändring som orsakas av en begynnande skada.

Jämförelse

Syftet med denna studie var att undersöka effektiviteten hos en optisk partikelräknare jämfört med den befintliga magnetpluggen. Effektiviteten bedömdes efter hur tidigt sensorn påvisade skador, hur många falsklarm den gav, och hur användarvänlig den var.

Detektering av skada: Vid alla tillfällen det skedde en pittingskada förutom en gång, reagerade CS1000 före magnetpluggen, dvs. CS1000 gav larm innan testet avbröts pga att magnetpluggen hade detekterat en skada.

Falsklarm: Under hela testperioden som gjordes producerade magnetpluggen ett falsklarm, i motsats till CS1000 med efterbehandling, som producerade ett flertal falsklarm.

Användarvänlighet: Magnetpluggen kräver erfarna operatörer som har förmåga att tolka ökningen av slitpartiklar på magneten. Detta medför att tolkningen kommer variera beroende på vilken operatör som utför tolkningen. I CS1000 är utgående data, från efterbehandlingen av ISO-nivåerna, digital och indikerar antingen "skada" eller "ingen skada", således är metoden inte beroende av erfarenheten hos operatören.

Slutsatser

Sammanfattningsvis kan man säga att CS1000 med efterbehandling tidigare kan upptäcka skador och den är lättare att använda än magnetpluggen, men den producerar däremot många fler falsklarm än vad magnetpluggen gör, om den används av en erfaren operatör.

Den optiska partikelräknaren i kombination med efterbehandling har visat lovande resultat, som ett sätt att automatiskt tidigt upptäcka pittingskador, men det höga antalet falsklarm är ett problem, som kräver mer arbete för att minskas, utan att för den sakens skull kompromissa med mätningens känslighet. Det krävs också mer arbete för att undersöka hur ISO-nivåer beter sig i ett system med varierande driftförhållanden. En annan försvärande aspekt som kan ställa till problem är att en verklig applikation kan ha andra typer av nötning förutom pitting som genererar mer partiklar än pitting gör. Det innebär att det blir än svårare att identifiera att det just är en pitting skada. CS1000 bör ses som ett komplement snarare än en ersättare till magnetpluggen, eftersom de olika metoderna erbjuder olika fördelar. En kombination av partikelräknare med efterbehandling + besiktning/utvärdering av magnetplugg ger möjlighet till säkrare tillståndsövervakning.

Larmalgoritmen kan även utgå från ISO värden från oljeanalyser. Försök har påbörjats och kommer att slutföras i steg 2 av projektet som pågår i ytterligare 3 år.