

En jämförelse av onlinemätning och flaskprover vid mätning av partikelinnehåll

Partikelräkning är en vanligt förekommande metod för att bedöma föroreningsgrad i oljan. Mätningen sker oftast på flaskprover som tas i fält och sedan skickas in till analyslaboratorier. Inom ITHs EU-projekt för Tillståndsövervakning av hydraulsystem utvärderas onlinemätning av partikelinnehåll för att övervaka trender i föroreningsgraden och därigenom kunna förutsäga kommande haverier. Att mäta kontinuerligt online har flera fördelar och för att illustrera dessa har en jämförelse mellan onlinemätning och flaskprover gjorts. Jämförelsen visar på känsligheten i mättekniken, där flaskprovtagning är ett kritiskt moment. Onlinemätningen och oljeprover tagna med oljeprovtagare visar stabil partikelnivå genom testet medan prover tagna med slang från mätuttag kräver en lång spoltid (> 2 timmar) för att uppnå stabilt resultat. Partikelmätningen i sig visar också att rena prover tenderar att innebära signifikant ökad osäkerhet i mätresultatet.



Detta material är framtaget med stöd från EU:s regionala strukturfondsprogram för stärkt konkurrenskraft och sysselsättning och i samarbete med Länsstyrelsen Västernorrlands län, Örnsköldsviks kommun & Bosch Rexroth Mellansel AB.

Introduktion

Under arbetet med projektet i tillståndsövervakning ingår en hel del provtagning med analyser av partikelinnehåll. Det är känt att flaskprovtagning kräver mycket noggranna rutiner för att inte påverka resultatet och tillföra partiklar vid provtagningstillfället. Ett annat problem med att ta flaskprover via mätuttag är att det krävs en längre periods spolning för att säkerställa ett representativt prov. Detta på grund av att partikelföroreningar från slang och uttag skall spolas bort. För att förbättra provtagningsmetoden erbjuder flera tillverkare specialiserade provtagare som monteras i systemet och tillåter uppsamling av oljeprov direkt i ett analyskärl som sedan kan skickas för analys. Detta ska se till att representativa och repeterbara oljeprov tas vid varje tillfälle.

I detta försök jämför vi *online-mätning* med flaskprov från en *oljeprovtagare* samt flaskprov spolade via ett *mätuttag*, alltså:

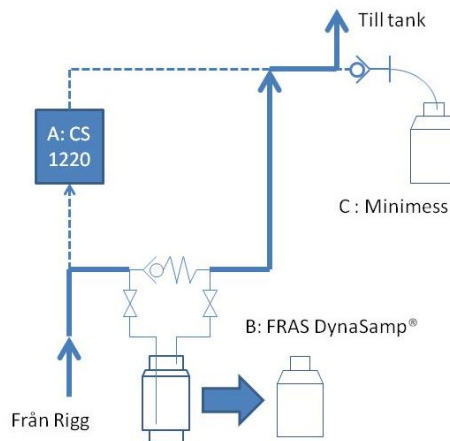
- A) Online partikelräkning (HYDAC CS1220)
- B) Flaskprover från provtagare (FRAS DynaSamp®)
- C) Flaskprover tagna via spolning från mätuttag ("Minimess")

I B och C görs partikelräkningen med laboratorieutrustning av *Laser Net Fines*-typ (SpectroInc LNF Q200).

Proven är tagna från dräneringskretsen på en lagerstrigg bestående av en Hägglunds motor modifierad för belastningstester på axiallager. Dräneringsoljan används eftersom den förväntas ge tidigast signal om förändring-

ar i nötningsituationen i riggen. Under tiden för testet, kördes riggen med låg belastning och utan justeringar för att uppnå en så stabil nivå av oljeföroreningar som möjligt. Systemet filtreras med 10 µm filter vid både matning och retur. Testriggen finns beskriven i detalj på annat håll [1]. Riggen arbetar med en relativt ren grundnivå, vilket vi får anledning att återkomma till senare.

Förväntningen på jämförelsen är att online-mätningen och proverna från oljeprovtagare skall stämma överens (i bästa fall) eller åtminstone visa på samma trend. Eftersom riggen under provtagningen gått vid låg belastning och utan justeringar bör denna trend visa *stabila* nivåer genom testet. Prov tagna via mätuttag förväntas ha initialt höga värden på partikelnivåer som därefter sjunker vartefter mätuttaget och provslangen spolas. Slutligen borde jämna nivåer nås som motsvarar systemets verkliga nivå.



Figur 1. Provtagningsmetoderna. A – kontinuerlig onlinemätning med ljusblokeringssensor. B – flaskprover tagna med FRAS DynaSamp® oljeprovtagare. C – flaskprov tagna via slang från minimess uttag.

Mer om mätmetoderna

A. Onlinemätning

Onlinemätningen utförs kontinuerligt (mätintervall 10 sek) i testriggens dräneringskrets. Tekniken som används i HYDAC CS1220 är ljusblocker. Flödet genom mätaren är begränsat till <math><0.3\text{ L/min}</math>, dvs. en bråkdel av det totala flödet (ca 20 L/min) och är beroende av tryckfallet över enheten. Det kalibrerade mätområdet för partikelräknaren är ISO 13/11/10 – ISO 23/21/18 och där förväntas en spridning på +/- 1/2 ISO-klasser. En översikt av ISO-klasser och partikeltäthet i hydraulvätskan finns i Tabell 2. Vi noterar att instrumentet rapporterar värden från ISO 5/6/7 men att värden under kalibreringsgränsen bör betraktas med viss försiktighet.

B. FRAS DynaSamp®

Provtagningen sker via en specialkonstruerad provtagningsflaska som tillåter genomströmmande flöde från dräneringskretsen (se Figur 1). Efter en kort genomspolning kan ett representativt oljeprov tas ut. Oljeprovet överförs därefter från provtagaren till en ren engångsflaska i plast. Provtagningen har skett vid vissa bestämda intervall under en 6-timmarsperiod (se Tabell 1).

C. Mätuttag

Genom en slang kopplad mätuttaget spolas oljan direkt till en engångsflaska för provtagning. Flödet i slangen har uppskattats till ca 15 mL/min och proven tas under 5 min vilket ger en provvolym på ca 75 mL. Provtagningen har skett vid vissa bestämda intervall under en 6-timmarsperiod (se Tabell 1). Mellan provtagninstillfällena spolas hydraulvätskan till slask.

Tabell 1. Provtagningschema

Tidpunkt	B: FRAS	C: Minimess
t = 0 min	Teststart	Teststart
5 min	Spoltid 5 min	Spoltid 5 min
10 min	*	Spoltid 10 min
30 min	Spoltid 10 min	Spoltid 30 min
60 min	Spoltid 20 min	Spoltid 60 min
120 min	Spoltid 5 min	Spoltid 120 min
240 min	Spoltid 10 min	Spoltid 240 min
360 min	Spoltid 20 min	Spoltid 360 min

* Av tidsskäl ej möjligt

Provberedning och analys

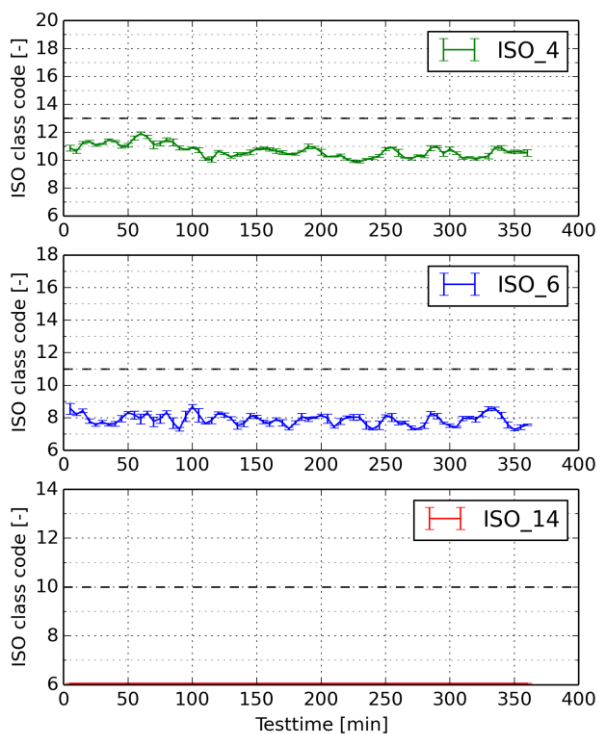
Provberedningen för flaskproverna består i att skaka upp, värma och avlufta proverna. Partikelräkning utförs sedan på alla flaskprover enligt en etablerad metod i en SpectroINC LNF Q200 partikelräknare. Denna procedur upprepas tre gånger för varje enskilt prov för att sedan ta medelvärdet av mätningarna.

Onlinemätningens data sammanställs som 5 min medelvärden. Alla resultat plottas sedan mot testtid. Testet pågick under 360 min och flaskprover togs enligt intervall i Tabell 1.

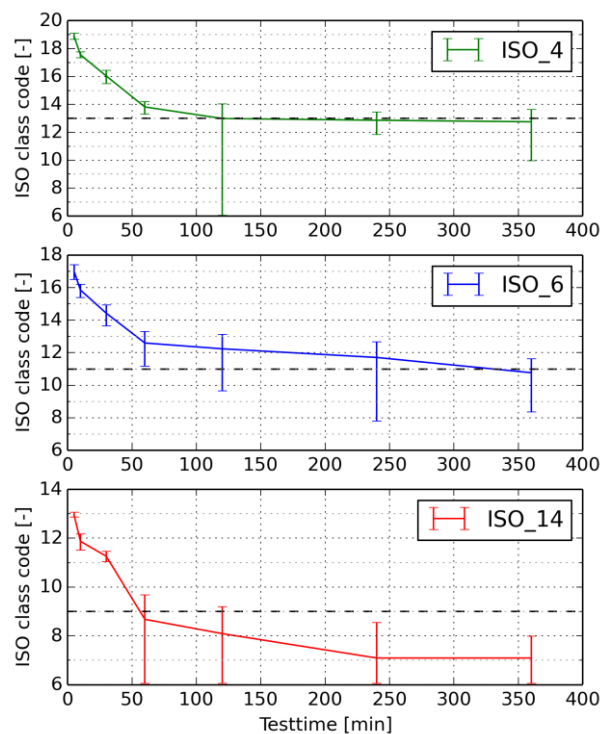
Resultat

Online-mätning

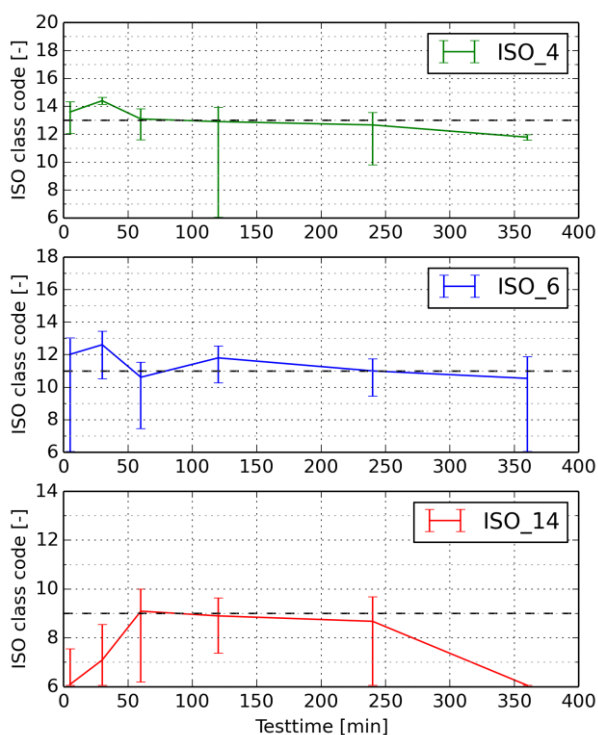
Resultatet från onlinemätningen visas i Figur 2. En viss variation i resultatet är tydlig. För klasserna >4 μm och >6 μm rör det sig om +/- 1 ISO klass. För partiklar >14 μm har inga detektioner gjorts vilket är konsekvent med filtreringsgraden. Den tydliga variationen är inte oväntad då ISO värdena konsekvent befinner sig tydligt under nivåerna för vilka instrumentet är kalibrerat. Ett renare prov innebär färre partiklar att mäta på och därigenom större osäkerhet i mätresultatet. Variationen kan dessutom bero av en sann variation i föroreningsgraden vid tidpunkten för mätning, dvs. en naturlig variation i ett dynamiskt system. Om man godtar variationen som sådan visar trenden under testtiden på en stabil situation. Eventuellt kan testets första 100 minuter visa en något högre nivå. Nu kan vi gå vidare och jämföra med resultaten från flaskproverna.



Figur 2. Partikelnivåer enligt onlinemätning



Figur 4. Partikelnivåer enligt flaskprover från mätuttag.



Figur 3. Partikelnivåer enligt prover från oljeprovtagare.

Oljeprovtagare

Resultaten från mätningarna på prover från oljeprovtagare (FRAS DynaSamp®) visas i Figur 3. Spridningen är relativt stor mellan individuella mätningar vilket visas av den höga standardavvikelsen (felstaplar). ISO-nivåerna ligger precis vid mätmetodens rapporteringsgränser (ISO-kod 13/11/9), se streckade linjer i graferna. Därför ser vi denna signifikanta spridning, framförallt nedåt i

resultaten. Detta är särskilt tydligt för de största partiklarna (>14 µm) då det endast handlar om enstaka partiklar i den analyserade mängden. I och med den stora osäkerheten bör det bortses från denna klass när man diskuterar trenden. Medelvärden för >4 µm och >6 µm visar på en svag trend av sjunkande nivå, dock är osäkerheten stor pga. spridningen. Det överensstämmer dock väl med utvecklingen i onlinemätningen som också ligger högst under de första 100 minuterna.

Prov via mätuttag

Resultaten från mätningar på flaskprover tagna via mätuttag visas i Figur 4. Här kan man tydligt se trenden av minskande partikelnivåer ju längre spoltiden är. Man kan också notera hur spridningen mellan mätningar ökar markant ju renare provet är och blir signifikant när man är vid metodens rapporteringsgräns (streckade linjer). De första tre proverna sprider +/-1 ISO-klass medan efterföljande prov ökar kraftigt i spridning (se Figur 4). Med tanke på spridningen då resultaten ligger vid metodens rapporteringsgräns (se ovan) är det svårt att säga säkert när provtagningen är stabiliserad. Från och med 120 min är den avtagande trenden dock inom mätosäkerheten och får betraktas som stabil.

Diskussion

Det som framförallt kräver diskussion när dessa resultat skall utvärderas är den stora spridningen vid mätning på flaskprover. Spridningen hänger samman med provets renhet och mätinstrumentets kapacitet (se ASTM standard D7596-10). Det är viktigt att vara medveten om att vid mätning med partikelräknaren (**SpectroInc LNF Q200**) utvärderas < 1mL provvolym för att bestämma värdet av antalet partiklar per mL. När det rör sig om rena prover av den nivå som testriggen i detta experiment uppvisar handlar det om enstaka till några tiotal partiklar per mL. I och med att partiklarna i provet inte kan vara perfekt fördelade i provvolymen kommer enskilda mätningar att visa på variation beroende på hur fördelningen ser ut. Det vill säga att en mätvolym innehåller slumpmässigt antal partiklar inom en viss normalfördelning. Hur fördelningen ser ut kan man inte riktigt säga utan att göra en större mängd mätningar, dock är det klart att ju lägre antal partiklar per mL, desto högre blir osäkerheten. Vid 3 mätningar där två prov visar 1 partikel/mL >14µm och ett prov visar 6 partiklar/mL >14µm skulle klassen sammantaget vara 9, men mätningarna kommer att rapportera klass 7 och klass 10 (Tabell 2). Det enda sätt man skulle kunna undvika denna problematik för rena prover vore att kraftigt öka den analyserade volymen.

Dessutom finns en inverkan av slumpfördelning även vid själva provtagningen, då man tar en begränsad provvolym (50-100 mL) som får representera den totala oljevolymens kondition (10-tals till 1000-tals liter). Resultaten från kontinuerlig online-mätning indikerar en variation med tiden som skulle innebära att flaskprover tagna vid olika tidpunkter skulle få olika grad partikelinnehåll trots att systemet är stabilt.

Sammantaget innebär detta att:

- 1) Flaskproverna är individer och kan skilja signifikant trots att de representerar samma system.
- 2) Mätningarna är individuella och kan skilja signifikant trots att det representerar samma oljeprov.

Hur det kommer sig att online-mätningen i detta försök visar på betydligt renare hydraulvätska än flaskproverna är ännu osäkert. Eftersom mätvärdena befinner sig under nivåerna för vilka instrumentet är kalibrerat ger vi oss inte in i någon utökad diskussion av detta. En förklaring skulle till exempel kunna vara att ett noggrannare mätförfarande av flaskproverna, t.ex med ett system som har en rapporteringsgräns vid ISO 9/7/6, skulle bekräfta den lägre nivån. Bortser man från mätfel, skulle en annan

förklaring kunna vara att det är en korrekt representation av verkligheten och att hydraulvätska av denna renhetsgrad är oerhört svår att ta ut för flaskprov utan att viss kontaminering sker. I syftet tillståndsovervakning är det dessutom så att den absoluta nivån förorening inte är det avgörande utan möjligheten att identifiera förändringar och trender. Ur det hänseendet är det alltså av ringa vikt vad som är den ”sanna” föroreningsgraden.

Tabell 2. ISO 4406. Klasser och motsvarande intervall för partikelinnehåll. För varje ökning i ISO-klass fördubblas antalet partiklar.

ISO 4406		
ISO-klass	Partiklar per milliliter	
	Fler än	Upp till och inklusive
24	80 000	160 000
23	40 000	80 000
22	20 000	40 000
21	10 000	20 000
20	5 000	10 000
19	2 500	5 000
18	1 300	2 500
17	640	1 300
16	320	640
15	160	320
14	80	160
13	40	80
12	20	40
11	10	20
10	5	10
9	2,5	5
8	1,3	2,5
7	0,64	1,3
6	0,32	0,64

Slutsatser

Som förväntat visar resultat från oljeprovtagaren och onlinemätningen liknande trend och denna är relativt stabil under testets genomförande. Dock är variationen mellan individuella mätningar på flaskprover stor vilket försvårar tolkningen av trender. Detta beror delvis på mätnoggrannheten vid så pass rena prover som det rör sig om i detta fall.

Flaskprover tagna genom spolning från mätuttag visar att det krävs långa spoltider, i detta fall 120 min eller motsvarande ca 2 L vätska, innan ett representativt prov kan tas. Analysen av dessa prov illustrerar också hur smutsigare prover, med fler partiklar, innebär bättre repeterbarhet i mätningen.

Online-mätningens stora fördelar är den höga frekvensen av mätningar och den snabba återkopplingen till användaren. Genom att hålla en hög mätfrekvens kan pålitligare resultat utvinnas eftersom individuella mät-

ningars spridning blir mindre viktig. Mätresultatet kan dessutom utvärderas kontinuerligt och finnas tillgängligt för användaren som återkoppling på maskinstatus eller för larmfunktioner som identifierar onormalt slitage.

Flaskprover lider av osäkerhet, dels genom provtagningsförfarandet där risken för kontaminering finns och dels genom att endast enstaka mätningar görs på en begränsad volym som får representera systemet. Risken för feltolkningar av trender blir därmed större. En olycklig följd skulle kunna innebära att ett system bedöms vara på väg mot haveri trots att så inte är fallet, eller att ökade partikelnivåer inte med säkerhet identifieras. Resultaten visar att användandet av oljeprovtagare minskar risken för kontaminering av provet och kortar ner provtagningstiden betydligt.

Fördelarna med att ta flaskprover är mängden av tillgängliga analyser. Ett oljeprover kan analyseras med en rad analysinstrument som kan ge oerhört detaljerad information om oljans kondition. Föroreningens natur kan bedömas både genom dess form (LNF, mikroskopi) och beståndsdelar (ICP, ferrografi). Tillsatsinnehållet kan bedömas (FTIR, RULER) likaväl som oljans kondition (viskositet, vattenhalt) grad av åldring och nedbrytning (TAN, FTIR,). Alla dessa faktorer är relevanta om en helhetsbedömning av systemhälsa skall göras.

Det är sannolikt att med tillståndsövervakade system kommer flaskprover fortfarande att spela en stor roll för detaljerad analys av oljekonditionen. Fler och fler fak-

torer kan nu övervakas kontinuerligt, så att flaskprover kommer att tas då indikation från övervakningssystemen finns och man vill gå vidare med djupare analys. Då, liksom nu, är det avgörande att flaskprover tas med största möjliga renhet och minsta möjliga risk för kontaminering.

Resultat från projektet finns publicerade i referenserna [2] och [3].

Referenser

- [1] Olofsson, U., Sjöström, H., & Sjödin, U. (2000). Increased Wear Resistance of Roller Bearings Using Me-C: H Coated Rollers. *Transactions of the ASME*, 122(October), 682–688.
- [2] Sjödin, E., & Westin, P. (2013). Comparison of optical and magnetic particle detection systems for detection of pitting damage in low speed hydraulic motors. In Proceedings of The 13th Scandinavian International Conference on Fluid Power, SICFP2013, June 3-5, 2013, Linköping, Sweden.
- [3] Westin, P., Marklund, P., & Sandström, J. (2013). Wear detection by monitoring hydraulic oil contamination – an experimental comparison between on-line and off-line measurements. In Proceedings of World Tribology Congress, WTC'13, Torino, Italy.