

Bruno Antolović

ISSN 0350-350X

GOMABN 43, 6, 331-345

Stručni rad / Professional Paper

UDK 665.765 : 621.892-822 : 665.765.035 : 681.518.52 : 620.193.13 : 543.81 : 543.81

## UPRAVLJANJE KVALITETOM ULJA U ENERGETSKIM POSTROJENJIMA

### Sažetak

*Kao dio ukupne proaktivne strategije, posljednjih se godina u energetskim postrojenjima uvodi on-line praćenje kvalitete ulja (senzori onečišćenja čvrstim česticama i vodom) koji omogućuje pravodobno upozoravanje korisnika na probleme u sustavu.*

*Kruženje čvrstih čestica u hidrauličkom sustavu dovodi do oštećenja površine uzrokujući osnovna mehanička trošenja (abrazija, erozija i površinski zamor). Vlaga, kada prodre u hidraulička ulja, ali i općenito u ulja za podmazivanje, ima degradirajući efekt istodobno i na ulja i na stroj. Onečišćenje hidrauličkog ulja vodom izaziva brojne teškoće kao što su: istrošenost aditiva, starenje i oksidacija ulja, pojava korozije na elementima sustava, pojava pjenjenja ulja, smanjenje debljine uljnog filma, pojava kiselih produkata starenja ulja, uljni mulj ... Ove teškoće se lako smanjuju ili u potpunosti isključuju primjenom kontinuiranog nadzora koji upućuje na pravodobno poduzimanje mjera za njihovo otklanjanje.*

*Program upravljanja kvalitetom ulja u primjeni uvažava aktualne tehničke standarde i mjerne metode iz područja dijagnostike stanja hidrauličkih sustava. On-line monitoring kvalitete ulja samo je dio sveobuhvatnog programa upravljanja kvalitetom ulja u primjeni, koji je podijeljen na nekoliko specifičnih elemenata, podjednako bitnih za njegovo uspješno provođenje.*

### 1. UVOD

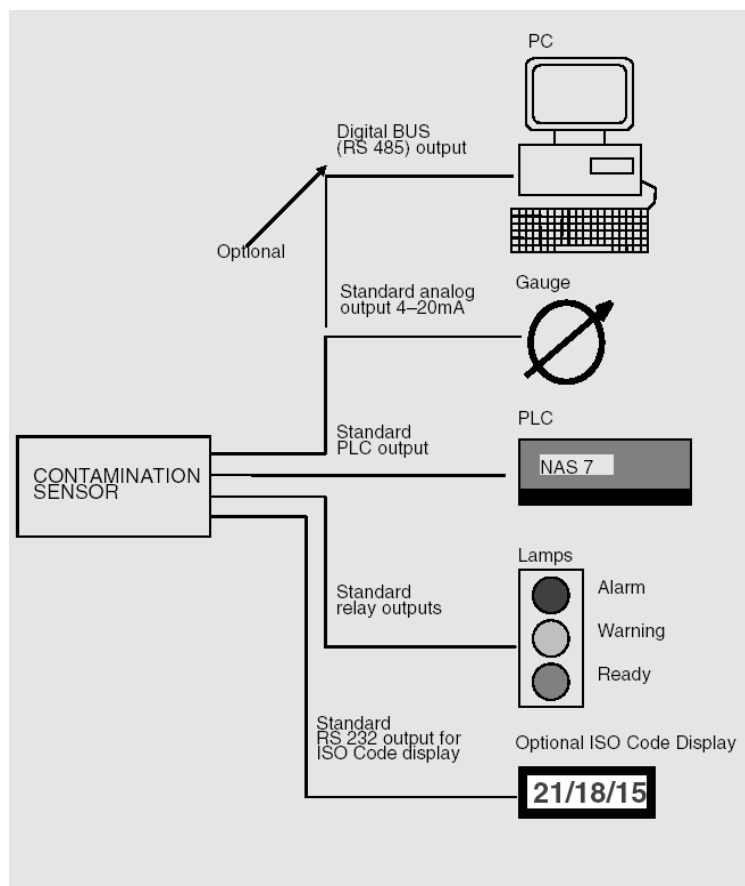
U radu su prikupljena i prikazana dugogodišnja iskustva održavatelja, proizvođača hidrauličke opreme i ulja, serviseri i znanstvenika različitih profila i ugrađena najnovija tehnička rješenja koja se iz dana u dan potvrđuju u praksi. Brzi napredak dijagnostičke i servisne opreme uvjetovan je upravo zahtjevima industrije za povećanjem raspoloživosti i pouzdanosti postrojenja. Brojna istraživanja i znanstveni

radovi potvrđuju da se sustavnim pristupom ovoj problematici ostvaruju značajne uštede u pogonskim troškovima. Posljednjih godina svjedoci smo uvođenja različitih programa praćenja kvalitete ulja razvijenih u skladu s pojedinačnim potrebama. Iskustva pokazuju da primjena tehnologije praćenja kvalitete hidrauličkih ulja i ulja za podmazivanje u kratkom vremenu omogućuje stvaranje uvjeta za postizanje značajnih ušteda tijekom dužeg razdoblja eksploatacije ulja. Kombinacijom poznatih iskustava moguće je stvoriti optimalan program upravljanja kvalitetom ulja u primjeni.

Vrednovanje postojećih programa dovodi do izrade specifičnih preporuka za poboljšanje – od nabave ulja do faze testiranja, uvođenja i primjene novih mjera – iz kojih će nastati efikasan i koristan program.

Slika 1: Mjerna oprema s osjetnikom onečišćenja

Figure 1: Contamination measuring equipment with sensor



## 2. PRAĆENJE ILI MONITORING ONEČIŠĆENJA

Kruženje čvrstih čestica u hidrauličkom sustavu dovodi do oštećenja površine uzrokujući osnovna mehanička trošenja (abrazija, erozija i površinski zamor). Trošenje izaziva formiranje velikog broja novih čestica ako se «lančana reakcija trošenja» ne drži pod nadzorom. Povećavaju se zračnost, gubici strujanja (leakage) i upravljačka nepreciznost, te smanjuje operativna učinkovitost (na primjer: crpki). Lančana reakcija trošenja svakodnevno prisutna u hidrauličkim sustavima mora se prekinuti i staviti pod kontrolu uvođenjem pravilno projektiranih i dimenzioniranih filtarskih sustava. Na taj način korisnik dobiva još jedno jamstvo da neželjene čestice neće prodrijeti u sustav za vrijeme montaže i instalacije sustava. Prodor nečistoća ne samo da može izazvati prethodna oštećenja sustava, nego i prerano dovesti do loma i ispada. Uvođenjem praćenja ili monitoringa onečišćenja (osjetnik onečišćenja ili senzor kontaminacije - slika 1) može se pod kontrolu staviti najveći dio onečišćenja čvrstim česticama nastalim za vrijeme proizvodnje, montaže i/ili remonta. Praćenje onečišćenja širi se do provjere čistoće svih proizvoda i postupaka koji mogu biti povezani s nekim proizvodnim procesom.

### 1.1. Uspostavljanje specifikacija čistoće

U specifikacijama čistoće obuhvaćeni su sljedeći parametri:

1. Ciljevi specifikacije čistoće
2. Primjenjivost (obilježja sustava)
3. Širenje inspekcije i testiranja, inspekcijski i testni ciklusi
4. Uzorkovanje
5. Metoda analize
6. Metoda vrednovanja
7. Točnost
8. Analiza korištenih fluida
9. Dokumentacija
10. Granične vrijednosti

Ovakva specifikacija mora se načiniti individualno za svaki sustav, pri čemu će se u obzir uzeti najbitniji razmatrani parametri. Upute za rad koje se bave uzorkovanjem, analizama i vrednovanjem metoda moraju biti detaljno opisane, tako da se uvijek osigura uniformno uzorkovanje. Dodatno, rezultati analiza ovise o analitičkoj metodi. Dokumentaciju treba ustrojiti na način koji će osigurati laku dostupnost rezultata.

Primjer specifikacije čistoće:

**Ciljevi specifikacije čistoće.** Cilj uvođenja specifikacija čistoće je postići konstatntnu razinu čistoće u sustavu x.

**Primjenjivost (obilježja sustava).** Specifikacije se primjenjuju na sustav x uključujući njegove dijelove a, b i c. Šire se na sve komponente bez obzira na izvor dobavljača. Također specificira radne tekućine uzimajući u obzir njihovu čistoću.

**Širenje inspekcije i testiranja, inspeksijski i testni ciklusi.** Analiza čistoće cjelokupnog sustava nakon montaže provodi se nekoliko dana prije puštanja u pogon kako bi se ostavilo dovoljno vremena za poboljšanje stanja. Optimalna kontrola čistoće fluida trebala bi se provoditi kontinuirano, što povećava investicijske troškove.

**Uzorkovanje.** Uzorci trebaju biti uzeti na mjestima utvrđenim inspeksijskim planom ili direktnim priključivanjem opreme u sustav.

**Metoda analize.** Za kontrolu čistoće komponenata sustava koristi se metoda ispiranja («flushinga»), pri čemu se komponente i cijeli sustav zagrijavaju iznad normalne radne temperature, kako bi se osiguralo što bolje odvajanje nečistoća i taloga zaostalih u sustavu nakon montaže. Površine komponenata koje su u kontaktu s uljem ispiru se (cirkuliraju) uljem poznatog razreda čistoće, kako bi se početne i naknadno izmjerene vrijednosti mogle uspoređivati i davati ocjena o stanju čistoće nakon montaže. Reprezentativni uzorci uzimaju se na točno specificiranim mjernim točkama. Ako se radi o statičkom uzorkovanju (bez tlaka), treba voditi računa da je na tom mjestu već postignut efekt ispiranja, odnosno da je statički test određivanja količine čestica ispranih iz sustava uslijedio nakon kvalitetno provedenog dinamičkog ispiranja. Na primjer, uzimanje uzorka iz spremnika na mjestu povratnog voda, nakon što je sustav cirkuliran zagrijanim uljem nekoliko sati.

**Metoda vrednovanja.** Odabir metode vrednovanja nužno je vezan uz stupanj razvoja mjerne metode koja se primjenjuje. Razlika težine između osušene, čiste i onečišćene mikrofiltarske membrane koju uzimamo kao kriterij kod gravimetrijske metode (ISO 4405) ne govori nam ništa o veličini i porijeklu onečišćenja ili kontaminacije, već samo o njezinoj ukupnoj količini. Sljedeći stupanj je brojanje zadržanih čestica pod mikroskopom (ISO 4407) po njihovoj najvećoj dimenziji (izmjeri).

Današnje vrednovanje stupnja onečišćenja ili kontaminacije ulja i kodiranje razreda čistoće provodi se najčešće u skladu sa standardima ISO 4406:1999, NAS 1638 ili SAE AS 4059, primjenom automatskih elektroničkih brojača čestica.

**Točnost.** Točnost i ponovljivost rezultata mjerenja kod gravimetrijske (ISO 4405) i mikroskopske (ISO 4407) metode može biti uvjetovana subjektivnom pogreškom mjeritelja. Kod automatskih brojača čestica ova pogreška gotovo je isključena. Za postizanje što višeg stupnja pouzdanosti potrebno je redovito provoditi rekalibriranje uređaja umjeravanjem s referentnim uređajima certificiranim od Državnih ureda za normizaciju i mjeriteljstvo. Izvor pogreške može biti jedino loše uzorkovanje, ako se provodi statički.

**Analiza korištenih fluida.** Podrazumijeva redovite analize fizikalno-kemijskih svojstava fluida (viskoznost, neutralizacijski broj, sposobnost izdvajanja zraka, ic spektroskopija...). Upravljanje onečišćenjem bez ovih analiza je besmisleno. Iz prakse je poznat katalitički utjecaj čvrstih čestica i vlage na degradaciju aditiva i starenje ulja, pa je ove mehanizme potrebno staviti u uzročno-posljedični slijed.

**Dokumentacija.** Rezultate analiza potrebno je unositi u unaprijed definirane obrasce, koji će omogućavati brz i jednostavan pristup povijesnim podacima.

**Granične vrijednosti.** Za sva mjesta primjene potrebno je utvrditi granične vrijednosti razine onečišćenja u hidrauličkom sustavu koje su još prihvatljive za dugotrajan rad opreme. U razmatranje svakako treba uzeti zahtjeve najosjetljivijih komponenata u sustavu, ali i mogućnosti postojeće opreme i troškove.

### 3. ONEČIŠĆENJE HIDRAULIČKE TEKUĆINE VODOM

Hidrauličko ulje se vrlo lako onečisti vodom. Do onečišćenja dolazi zbog različitih, brojnih razloga koji su povezani sa samim proizvodnim procesom.

Najveći izvor opasnosti predstavlja voda, koja u sustave prodire na različite načine:

- kroz odzračne filtre,
- zbog oštećenih i nefunkcionalnih elemenata proizvodnog sustava,
- zbog nastanka kondenzata u spremniku hidrauličkog sustava, kao posljedice razlike temperature u atmosferi i proizvodnoj okolini.

Onečišćenje hidrauličkog ulja, tlačnog ili onog za podmazivanje, vodom izaziva brojne teškoće kao što su: istrošenost aditiva, starenje i oksidacija ulja, pojava korozije na elementima sustava, pojava pjenjenja ulja, smanjenje debljine uljnog sloja, pojava kiselih produkata starenja ulja, uljni mulj... Ove teškoće se lako smanjuju ili u potpunosti isključuju povremenim ili stalnim nadzorom.

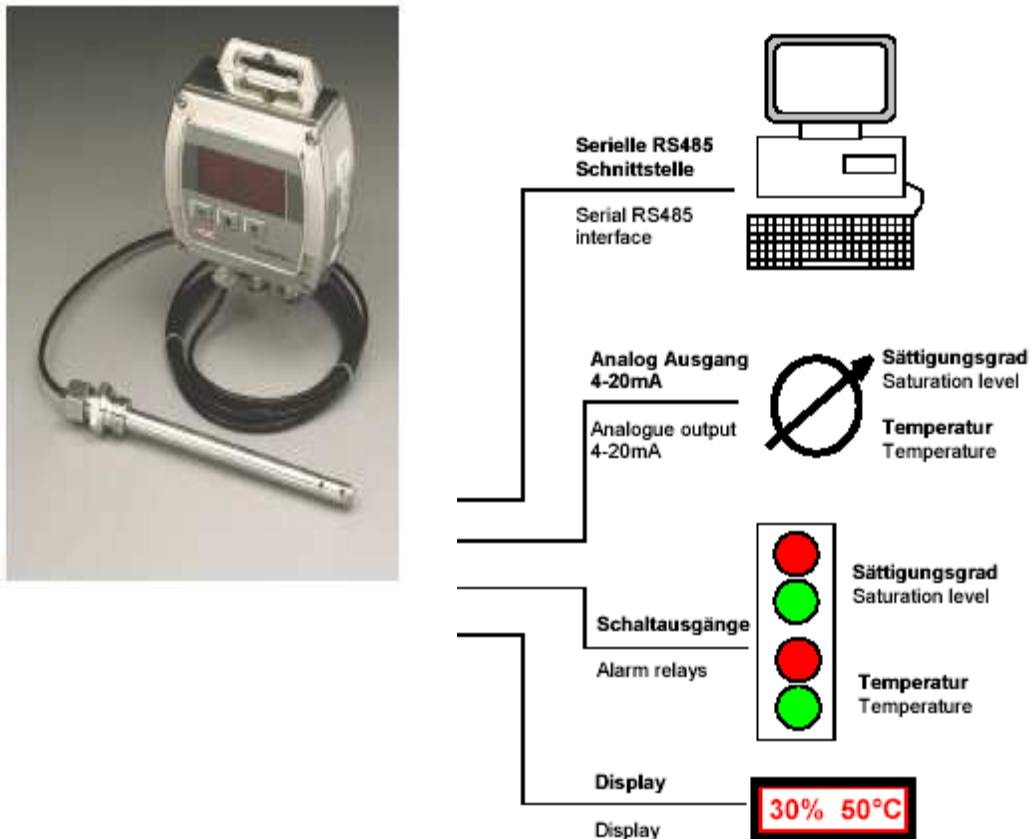
#### 3.1 Točka zasićenja – fizikalno svojstvo iskorišteno za on-line praćenje sadržaja vode u ulju

Kao dio ukupne proaktivne strategije, posljednjih se godina u energetskim postrojenjima uvodi on-line monitoring sadržaja vode u ulju koji omogućuje pravodobno upozoravanje korisnika na probleme u sustavu (Aqua Sensor - slika 2). Vlaga, kada prodre u hidraulička i maziva ulja ima degradirajući efekt istodobno i na ulja i na stroj. Neki aditivi vežu na sebe vodu i izdvajaju se zajedno s vodom pri njezinom odvajanju iz ulja. Na životni vijek ostalih aditiva utječu kemijske reakcije uzrokovane vodom. Voda izaziva oksidaciju ulja, koroziju površina stroja u dodiru s uljem i smanjuje kritičnu debljinu nosivog uljnog sloja kod ležaja. U cjelini, voda predstavlja stvaran rizik za opremu i njezina prisutnost mora se bezuvjetno staviti pod kontrolu.

Voda koegzistira s uljem u otopljenom i slobodnom stanju. Kada su pojedine molekule vode raspoređene u ulju, zbog samog afiniteta ulja za privlačenjem vode, voda je u otopljenom stanju. Brojni faktori kao viskoznost, vrsta i stanje baznog ulja, mehaničke nečistoće i vrsta aditiva određuju koja će se količina ulja «otopiti» u vodi. Kada je ulje «otopilo» svu količinu vode pri određenoj temperaturi, ono je zasićeno. Otopljena voda ne stvara značajnije negativne učinke na stroj i ulje. Kada ulju zasićenom vodom pada temperatura, dolazi do kondenzacije vode koja se pojavljuje u slobodnom stanju. Ova točka zove se rosište. Slobodna voda je drugo stanje u kojem voda koegzistira s uljem. Voda je u slobodnom stanju kada su neotopljene, kuglaste nakupine vode fizički suspendirane u ulju. Velike nakupine imaju tendenciju

taloženja na dnu spremnika. Emulzije su stabilna stanja fizičke koegzistencije kemijski netopljivih supstancija, kao ulja i vode. Aditivi i mehanička onečišćenja koja snižavaju površinsku napetost ulja mogu poslužiti kao agensi koji će stabilizirati emulziju. Slobodna i emulgirana voda predstavlja najveću opasnost za stroj i ulje i mora se staviti pod strogi nadzor.

Slika 2: Uređaj Aqua senzor  
Figure 2: Aqua Sensor



Postoji više načina određivanja prisutnosti vode u ulju, no većina njih je složena, skupa i neprikladna za primjenu u terenskim uvjetima. Posljednjih godina u primjenu se uvodi nova tehnologija mjerenja postotka zasićenja ulja kao kvantitativna metoda praćenja sadržaja vode u ulju. Većina laboratorija provodi mjerenja sadržaja voda u ppm (parts per million) ili volumnim postocima koristeći Karl Fischer metodu, koja ne

može utvrditi razliku između vezane, slobodne i emulgirane vode. Korisnici postavljaju granične vrijednosti koristeći Karl Fischer metodu i poduzimaju aktivnosti kada ih dosegnu. Upravo zbog činjenice da najviše štete prouzroči slobodna i emulgirana voda, moderni pristupi uvode opremu koja mjeri postotak (%) zasićenja ulja vodom, kako bi se prisutnost vode u ulju održavala u koncentracijama koje odgovaraju njezinom, relativno neškodljivom, vezanom ili otopljenom stanju.

#### 4. KONCEPCIJA PROGRAMA UPRAVLJANJA KVALITETOM ULJA U PRIMJENI

Program upravljanja kvalitetom podijeljen je na nekoliko specifičnih elemenata, koji su svi podjednako bitni za njegovo uspješno provođenje. U početku se analiziraju postojeći programi praćenja podmazivanja. Nakon toga slijedi vrednovanje svakog elementa, kako bi se odredile dobre i loše strane postojećeg programa. Rangiranje pojedinih elemenata provodi se na način da se elementi uspoređuju jedan s drugim međusobno, odnosno kako se pojedini od njih odnosi s najboljim potvrđenim primjerom iz prakse. Ključni elementi koji se vrednuju, s kratkim opisom svakog od njih, navedeni su u nastavku.

**Norme, pribavljanje, uvođenje i osiguranje kvalitete.** Tehničke norme koje se odnose na sve aspekte uvođenja i primjene ulja revidiraju se i vrednuju kako bi se utvrdila njihova primjenjivost. Također, broj različitih vrsta ulja treba zadržati u razumnim granicama zbog efikasnosti sustava kontrole kvalitete (qa).

**Skladištenje i rukovanje.** Praktični aspekti skladištenja, čuvanja i rukovanja uljima uključeni su kako bi se jasno pokazalo kakve se uštede mogu ostvariti kada je ulje odgovarajuće kvalitete pravodobno dostupno, odnosno kako izbjeći primjenu kontaminiranih ulja koja mogu dovesti do oštećenja opreme.

**Tehnike uzorkovanja.** Pregled tehnika uzorkovanja potreban je kako bi se osiguralo uzimanje reprezentativnih uzoraka. Mjesto uzorkovanja, način uzimanja uzorka, smjernice, obučavanje i pravilna uporaba posuda za uzorkovanje također su uključeni u vrednovanje.

**Kontrola onečišćenja.** Često su ulja uskladištena u prostorima ili se koriste u uvjetima u kojima su lako podložna utjecaju prljavštine i vlage. Briga u cilju zaštite ulja od ovih i drugih onečišćivača brzo se opravdava u praksi.

**Obučavanje, osposobljenost, certifikacija.** Program upravljanja kvalitetom traži sposobne pojedince kako bi se osigurala njegova efikasnost. Metode obučavanja, osposobljavanja i certifikacije moraju biti nedvosmisleno određene.

**Analiza fizikalno-kemijskih svojstava ulja.** Za svako uljno punjenje koje će biti podvrgnuto monitoringu potrebno je odabrati ispitni laboratorij koji će provoditi analize fizikalno-kemijskih svojstava ulja. Uzorci se moraju redovito analizirati u suradnji s proizvođačima ulja ili drugim odabranim laboratorijima, a rezultati moraju biti pravilno vrednovani. Moraju se uspostaviti odgovarajući ciljevi i granice.

**Upravljanje programom.** Za dobro upravljanje programom istovremeno je potrebno tehničko znanje i dobra komunikativnost angažiranih pojedinca ili grupe. Jasno

definirane uloge i odgovornost zajedno s točno fokusiranim ciljevima, opsegom i mjerama osigurati će dobre rezultate.

**Procedure, smjernice.** Razvoj i aplikacija procedura i smjernica pomoći će osiguranju pravilne i konzistentne primjene programskih elemenata.

**Ciljevi i odrednice programa.** Važno je da program ima točne ciljeve i odrednice do koje mjere se ostvaruju postavljeni ciljevi. Primjeri ciljeva su: tražena razina onečišćenja (razred čistoće), smanjivanje zastoja, izbjegavanje zamjene ulja...

**Sigurnosne postavke.** Sigurnost je uvijek ključni faktor koji se mora uzeti u obzir u svakom programu. Sigurnosni listovi za ulja moraju biti prisutni, gubici ulja se moraju sigurno prihvatiti (skupiti), moraju se poduzeti sve mjere kako se ne bi pojavila opasnost za zdravlje zbog nepravilnog rukovanja uljima.

**Kontinuirano unapređenje.** Unapređenje programa se može provoditi primjenom kontinuirane samokontrole i upravljanja ciljevima programa. Kada se postignu ciljevi kao na primjer: razina kontaminacije, smanjenje zastoja ili neki drugi, mogu se postaviti još oštriji zahtjevi. Pri provedbi programa temeljenog na proaktivnom razmišljanju lakše će se razumjeti očekivanja korisnika i neprekidno podizati kvaliteta usluge.

## 5. ZAKLJUČAK

On-line praćenje kvalitete ulja samo je dio sveukupnog programa upravljanja kvalitetom ulja u primjeni i podijeljen je na nekoliko specifičnih elemenata, podjednako bitnih za njegovo uspješno provođenje.

Jedan od elemenata je izbor tehničkih normi koji se odnose na sve aspekte uvođenja i primjene ulja. Odabir standardnih analitičkih metoda koje će se koristiti za praćenje stanja ulja u sustavima nužno je vezan uz stupanj razvoja mjerne metode koja se primjenjuje i dostupnost opreme kojom se analize provode. Unapređenje programa se može provoditi primjenom kontinuirane samokontrole i upravljanja ciljevima programa.



## OIL QUALITY MANAGEMENT IN ELECTRIC POWER PLANTS

### *Abstract*

*As a part of total proactive maintenance strategy, last few years on-line oil quality monitoring systems (contamination and water sensors) were successfully introduced in electric power plants. They enable user to be warned in time to problems in system.*

*Particulate contamination - presence and circulation of particles in a hydraulic system leads to surface damages causing basic mechanical wear (abrasion, erosion and material fatigue). When moisture penetrates into hydraulic and lubricating oils, it has degradable effect, both to the oil and to the machine. Contamination of hydraulic oil with water causes numerous difficulties such as: additives degradation, oil oxidation and ageing, corrosion, oil foaming, oil film thickness decrease, oil sludge... These problems can be easily solved by implementation of continuous control which warns maintenance staff to perform activities which eliminate cause.*

*Oil quality management programme in praxis takes into consideration actual technical standards and measuring methods in the field of hydraulic systems analysis. Through effective management of the root causes of failure, including a major focus on on-line monitoring, we can substantially reduce the frequency of unscheduled shutdowns.*

### 1. INTRODUCTION

The paper encompasses and presents long-term experience of maintenance staff, producers of hydraulic equipment and oils, servicing staff and scientists of various profiles, building it into the latest technical solutions being daily confirmed in practice. Fast development of diagnostic and service equipment has been conditioned by requirements on the part of the industry for expanding plant availability and reliability. Numerous researches and scientific papers confirm that a systematic approach to the issue enables major savings of plant expenditures. Over the past years, we have witnessed the introduction of various programs of monitoring the quality of oils developed in keeping with individual needs. Experience has shown that the application of technology of monitoring the quality of hydraulic and lubricating oils enables over a short period of time the creation of conditions for reaching major savings over a prolonged period of oil service. Through a

combination of known experience, it is possible to create an optimal program of oil quality management in application.

Evaluation of existing programs leads to the elaboration of specific improvement recommendations – from oil purchase to the phase of testing, introduction and application of new measures – evolving into an efficient and useful program.

## 2. CONTAMINATION MONITORING

The circulation of solid particles within a hydraulic system leads to surface damage by causing basic mechanical wear (abrasion, erosion and surface fatigue). Wear causes the formation of a large number of new particles unless the «wear chain reaction» is kept under control. Increased are aeration, leakage and management imprecision, while the operational efficiency (of e.g. the pipes) is reduced. The wear chain reaction present daily within hydraulic systems must be stopped and put under control through the introduction of properly designed and dimensioned filtering systems. In this way the user obtains another guarantee that the unwanted impurities will not penetrate into the system during its assembly and installation. Penetration of impurities may not only cause preliminary system damage, but also a premature breakdown and shutting off. By introducing contamination monitoring (Contamination sensor - Figure 1 - page 332.) it is possible to put under control the major part of contamination caused by solid particles generated during production, assembly and/or overhaul. Contamination monitoring spreads to the testing of the cleanliness of all products and procedures that may be connected to a given production process.

### 2.1 Establishing Cleanliness Specifications

Cleanliness specifications include the following parameters:

1. Cleanliness specification objectives
2. Applicability (system properties)
3. Expanding inspection and testing, inspection and testing cycles
4. Sampling
5. Analysis method
6. Evaluation method
7. Accuracy
8. Analysis of used fluids
9. Documentation
10. Limit values

This kind of specification must be made for each system individually, taking into account the most significant parameters considered. Instructions for operation dealing with sampling, analyses and evaluation of methods must be described in detail, so that a uniform sampling is always ensured. In addition, analysis results depend on the analytical method. Documentation needs to be organized in a way ensuring an easy availability of results.

An example of cleanliness specification:

**Cleanliness specification objectives:** The purpose of introducing cleanliness specification is to achieve a constant cleanliness level in system x.

**Applicability (system properties).** Specifications are applied on system x including its parts a, b and c. They spread to all components, regardless of the supply source. Also specified are the operating fluids, by taking into account their cleanliness.

**Expanding inspection and testing, inspection and test cycles.** Cleanliness analysis of the entire system after assembly is performed several days before putting on stream in order to leave enough room for possible improvements. Optimal control of fluid cleanliness should be performed continuously, which increases the investment costs.

**Sampling.** Samples should be taken on spots identified by inspection plan or by direct inclusion of equipment into the system.

**Analysis method.** For the cleanliness control of system components the flushing method is used, heating components and the entire system above the normal operating temperature, in order to ensure as good as possible a separation of impurities and deposits left over in the system after assembly. The surfaces of components in contact with oil are flushed (circulated) with oil of a known cleanliness grade, enabling comparison of values measured and evaluation of cleanliness after assembly. Representative samples are taken on precisely specified measuring points. If it is a static sampling (without pressure), one must keep in mind that the flushing effect has already been achieved on that spot i.e. that the static test of determining the volume of particles flushed from the system followed after a good quality dynamic flushing. For instance, taking samples from the reservoir on the spot of relay outlet, after the system was circulated by heated oil for a few hours.

**Evaluation method.** Choice of evaluation method is strictly associated with the development level of the measuring method applied. Weight difference among dried, clean and contaminated microfilter membrane taken as criterion with the gravimetric method (ISO 4405) does not reveal anything about the size and origin of contamination, but only its total volume. The next degree is the counting of particles using the microscope (ISO 4407) after their greatest dimension (measuring result).

Today's evaluation of oil contamination degree and coding of cleanliness grades is performed mostly in keeping with standards ISO 4406:1999, NAS 1638 or SAE AS 4059, by applying automatic electronic particle counters.

**Accuracy.** Accuracy and repeatability of measurement in gravimetric (ISO 4405) and microscopic (ISO 4407) method may be conditioned by subjective error on the part of the one performing the measurement. In case of automatic particle counters, this error is practically excluded. In order to achieve a higher reliability degree, one must regularly re-calibrate the device through gauging with referential devices certified by the State Offices for Standardization and Metrology. The source of error may be only bad sampling, if it is performed statically.

**Analysis of used fluids.** It includes regular analyses of physico-chemical properties of fluids (viscosity, neutralization number, air separation capability, infrared spectroscopy...). Managing contamination without these analyses is futile. Practice reveals the catalytic impact of solid particles and moisture on degradation of additives and oil ageing, which is why these mechanisms need to be viewed in terms of cause and effect.

**Documentation.** Results of analyses need to be entered into specified forms, enabling fast and simple approach to historic data.

**Limit values.** For all application spots one must determine limit values of contamination level in the hydraulic system still acceptable for a long-term equipment operation. One must take into consideration requirements of the most sensitive components in the system, along with the possibilities of the existing equipment and expenses.

### 3. CONTAMINATION OF THE HYDRAULIC MEDIUM BY WATER

Hydraulic oil is very easily contaminated by water. Contamination is caused by various numerous reasons associated with the production process itself. The greatest source of danger is water, penetrating into the systems in various ways:

- through aeration filters,
- due to damaged and non-functional elements of the production system,
- due to creation of condensates in the reservoir of the hydraulic system, as the result of temperature difference between the atmosphere and the production environment.

Contamination of hydraulic oil (pressure or lubricating) by water causes many difficulties, such as: additive wear, oil ageing and oxidation, corrosion appearance on system elements, oil foaming, oil film thickness reduction, appearance of acid products of oil ageing, oil sludge... These difficulties are easily reduced or eliminated by occasional or permanent control.

#### 3.1 Saturation Point – Physical Property Used for On-line Monitoring of the Oil Water Content

As a part of the total proactive strategy, over the past years, on-line oil water content monitoring has been introduced into power plants, enabling a timely user warning of the problems within the system (Aqua Sensor - Figure 2). Moisture, after penetrating into hydraulic and lubricating oils, has a degrading effect on both oils and machinery. Some additives bind water onto themselves and are isolated together with water during its separation from oil. Service life of other additives is influenced by chemical reactions caused by water. Water causes oil oxidation, corrosion of machinery surfaces in contact with oil and reduces critical thickness of the bearing oil film. All in all, water represents a genuine risk for the equipment and its presence must absolutely be placed under control.

Water coexists with oil in dissolved and free form. When certain water molecules are distributed in oil, due to the very oil's affinity for attracting water, water is in dissolved

state. Numerous factors, such as viscosity, type and condition of base oil, mechanical impurities and additive type determine the volume of oil to be dissolved in water. Once the oil has dissolved all the volume of water at a given temperature, it becomes saturated. Dissolved water does not bear any major negative impacts on machine and oil. When the temperature of oil saturated with water drops, water condensation appears in free state. This point is called the dew point. Free water is another state in which water coexists with oil. Water is in free state when the undissolved, ball-like accumulations of water are physically suspended in oil. Large accumulations have the tendency of depositing on the bottom of the reservoir. Emulsions are stable states of physical coexistence of chemically insoluble substances, such as oil and water. Additives and mechanical impurities lowering surface oil tension may serve as agents that will stabilize the emulsion. Free and emulgated water represent the greatest danger for the machine and the oil and must be placed under strict control.

There are several ways of determining water presence in oil, most of them being complex, costly and improper for application under field conditions. Lately a new technology has been introduced of measuring the percentage of oil saturation as a quantitative method of monitoring the oil water content. Most laboratories perform water content measurements in ppm (parts per million) or volume percentage using the Karl Fischer method incapable of differentiating among bonded, free and emulsified water. The users set limit values by using the Karl Fischer method and undertake certain activities once they are reached. Due to the fact that most damage is caused by free and emulsified water, modern approaches are introducing the equipment measuring the percentage (%) of oil saturation by water, in order to keep the oil presence in oil within concentrations matching its relatively unarmful bonded (dissolved) state.

#### **4. THE CONCEPT OF THE OIL QUALITY MANAGEMENT PROGRAM IN APPLICATION**

The quality management program is divided into several specific elements, all bearing approximately the same importance for its successful implementation. At the beginning, analyzed are the existing programs of lubrication monitoring. This is followed by the evaluation of each element, in order to determine both good and bad sides of the existing program. The ranking of individual elements is performed by comparing the elements among themselves, i.e. by checking their individual relations with the best confirmed example from practice. The key elements evaluated are listed below, with short descriptions.

**Quality standards, acquisition, introduction and assurance.** Technical standards referring to all the aspects of oil introduction and application are revised and evaluated in order to determine their applicability. Also, the number of different oil types needs to be kept within reasonable limits to ensure the efficiency of the quality assurance (QA).

**Storage and handling.** Practical aspects of storage, keeping and handling of oils are included in order to clearly show the savings enabled by timely availability of the correct quality oil, i.e. how to avoid the application of contaminated oils which may lead to equipment damage.

**Sampling techniques.** The review of sampling techniques is necessary in order to ensure the taking of representative samples. The sampling spot, the manner of taking samples, guidelines, training and correct use of sampling vessels are also included into the evaluation.

**Contamination control.** Oils are often stored in spaces or used under conditions in which they are easily prone to the impact of dirt and moisture. Care directed towards protecting oils against these and other contaminants is quickly justified in practice.

**Training, professionalism, certification.** Quality Management Program requires capable individuals in order to ensure its efficiency. Methods of training and certification must therefore be unequivocally specified.

**Analysis of the physico-chemical properties of oil.** Each oil fill which will be subjected to monitoring must be assigned a test laboratory which will perform the analyses of the physico-chemical properties of oil. Samples must be analyzed regularly in co-operation with oil manufacturers or other selected laboratories, while the results must be properly evaluated. Specific objectives and limits must be set.

**Program management.** Good program management requires both technical know-how and good communication of the involved individuals or group. Clearly defined roles and responsibility together with precisely focused objectives, scope and measures shall ensure good results.

**Procedures, guidelines.** Development and application of procedures and guidelines shall help ensure a proper and consistent application of program elements.

**Program objectives and guidelines.** It is important for the program to have precise guidelines. Examples of objectives are: requested contamination level (cleanliness grade), standstill reduction, oil replacement avoidance...

**Safety issues.** Safety is always the key factor to be taken into account in any program. Safety forms for oils must be available, oil losses must be safely collected, all measures need to be undertaken in order to avoid any health hazards caused by improper handling.

**Continuous advancement.** Program advancement may be performed through continuous self-control and program objectives management. When certain objectives are reached, such as: contamination level, standstill reduction or some other, still more stringent ones may be set. While implementing the program based on proactive thinking, it will be easier to understand user expectations and continuously raise service quality level.

## 5. CONCLUSION

On-line oil quality monitoring is merely a part of the entire program of managing the quality of oil in application, and it is divided into several specific elements of approximately the same importance for its successful implementation.

One of the elements is the choice of technical standards referring to all aspects of oil introduction and application. The choice of standard analytical methods to be used for the monitoring of oil condition in systems is strictly associated with the development level of the measuring method applied and the availability of the method used to perform the analyses. Program advancement may be achieved through the application of continuous self-control and management of the program objectives.

### Literatura / References:

- [1] HYDAC Filtrertechnik GmbH: Practical Contamination Management From Processing to Delivery – HYDAC Filtrertechnik GmbH – Sulzbach/Saar, I/2003.
- [2] Frank Jung: HYDAC Service Technology, Filtersystems Sales Meeting 2003 - HYDAC Filtrertechnik GmbH –Sulzbach/Saar – II/2003.
- [3] Electric Power Research Institute: Lubricating Oil Management & Analysis Program Assessment – EPRI, Palo Alto, California, USA – 2002.
- [4] Steve Mitchell: Cook Nuclear Develops Successful Onsite Oil Analysis Program – Cook Nuclear Generating Station, American Electric Power – 2002.
- [5] Ron Parrett: Water Saturation as a Screening Method for On-site Oil Analysis – Ontario Power Generation, Pickering Nuclear Generating Station – 2002.
- [6] Scott Mizell: Proactive Maintenance at Weyerhaeuser – Putting the Theory to Test – Weyerhaeuser Flint River Operations – 2002.

### ključne riječi / key words:

665.765 : 621.892	mazivo ulje	lubricating oil
621.892-822	hidrauličko ulje	hydraulic oil
665.765.035	primjenska svojstva maziva tijekom uporabe	lubricant application properties in use
681.518.52	automatski sustav nadzora	automatic supervisory system
620.193.13	onečišćenje krutim česticama	hard particle contamination
543.81	razina zasićenja (uljne tekućine) vodom	water saturation level
543.81	onečišćenje emulgiranom vodom	emulsified watter contamination

### Autor / Author:

Bruno Antolović, dipl.ing.  
Hydac Hydraulik GmbH - Predstavništvo u Hrvatskoj, Zagrebačka 33/II, Velika Gorica, E-mail: hydac.hr@zg.htnet.hr

### Primljeno / Received:

04.9.2003.