

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Техничка дијагностика

Број индекса: 348/2010

Марко Д. Јевтић

**Анализа уља и продуката хабања на производној
опреми у Холдинг „Каблови“ Јагодина**
мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. проф. др Иван Мачужић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да

Препоручена литература:

[1] Тодоровић П., Јеремић Б., Мачужић И. : *Техничка дијагностика*, Машински факултет Крагујевац 2009.

[2] Бабић М. : *Мониторинг уља за подмазивање*, Машински факултет Крагујевац 2004.

Крагујевац, мај 2012

ментор:

Проф. др Иван Мачужић

ПРЕДГОВОР

Главни задатак овог мастер рада био је да приликом одрађивања практичне наставе у фабрици Холдинг Каблови Јагодина урадим рад који би се састојао из испитивања и анализе уља појединих машина у фабрици. То би била више него добра пракса и тест пред крај студирања и тражења радног места у блиској будућности.

Главна предност при изради мастер рада је то што сам имао велико знање о овој теми пре свега због многобројних предмета везаних за техничку дијагностику и одржавање система где наравно и спада испитивање и анализа уља. Једини проблем који се могао јавити при изради оваквог рада јесте како бих се снашао у фабрици што се тиче стручног дела овог мастер рада.

На своје велико изненађење ја сам имао потпуну сарадњу свих запослених у фабрици почев од директора па преко машинских ижињера па све до радника. Желим да се захвалим директору погона “опреме” Живадину Илићу који ме је примио на праксу и машинским инжењерима Драгану Симијоновићу и Ивану Вујичићу на стручној помоћи. Наравно и велику захвалност дугујем и свом ментору др Ивану Мачужићу који се трудио да ми помогне на сваки могући начин и да ми укаже на могуће грешке и пропусте у раду. И наравно на крају морам да поменем и свог колегу Матејић Милоша који је био задужен за исправку евентуалних правописних грешака.

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. АНАЛИЗА УЉА ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ И ПРОДУКАТА ХАБАЊА	3
2.1 САСТАВ УЉА ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ	3
2.2 АДИТИВИ БАЗНИХ УЉА	4
2.3 КАРАКТЕРИСТИКЕ УЉА ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ.....	5
3. УЗОРКОВАЊЕ УЉА	7
3.1 ЛОКАЦИЈА УЗОРКОВАЊА	8
3.1.1 Циркулациони системи.....	8
3.1.2 Нециркулациони системи	9
4. КОНТАМИНАЦИЈА УЉА ЧВРСТИМ ЧЕСТИЦАМА.....	11
4.1 ИЗВОРИ КОНТАМИНАЦИЈЕ.....	11
4.2 ПОСЛЕДИЦЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ ЧВРСТИМ ЧЕСТИЦАМА	12
4.3 КОНТРОЛА КОНТАМИНАЦИЈЕ ЧВРСТИМ ЧЕСТИЦАМА	12
4.3.1 Системи филтрирања.....	13
4.4 ЦЕНТРИФУГАЛНИ СЕПАРАТОРИ	14
4.5 ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ СЕПАРАТОРИ.....	14
5. ОДРЕЂИВАЊЕ БРОЈА ЧЕСТИЦА У УЉУ	15
5.1 СТАНДАРДИ ЗА ДЕФИНИСАЊЕ НИВОА ЧИСТОЋЕ УЉА	15
5.2 ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КОНЦЕНТРАЦИЈА ЧЕСТИЦА У УЉУ ..	17
5.3 ФЕРОГРАФИЈА	18
5.3.1 Тестови за испитивање густине фεροграфских честица	20
5.3.2 Аналитичка фεροграфија	20
6. КОНТАМИНАЦИЈА УЉА ВОДОМ.....	21
6.1 ИЗВОРИ И ВРСТЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ	21
6.2 ПОСЛЕДИЦЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ ВОДОМ	22
7.3 ОДРЕЂИВАЊЕ САДРЖАЈА ВОДЕ У УЉУ	23
7. ФИЛТЕРИ ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ УЉА И СЕПАРАТОРИ ВОДЕ ..	24
8. ПРОАКТИВНО ОДРЖАВАЊЕ ХИДРАУЛИЧКИХ СИСТЕМА	28
8.1 УТВРЂИВАЊЕ ДОПУШТЕНОГ НИВОА КОНТАМИНАЦИЈЕ ФЛУИДА	29
8.2 ДОСТИЗАЊЕ ДОПУШТЕНОГ НИВОА КОНТАМИНАЦИЈЕ ФЛУИДА	31
8.3 КОНТРОЛА И ОДРЖАВАЊЕ ДОПУШТЕНОГ НИВОА КОНТАМИНАЦИЈЕ РАДНОГ ФЛУИДА.....	31
9. УЗОРКОВАЊЕ УЉА У ФАБРИЦИ.....	32
7.1 УЗОРКОВАЊЕ УЉА ИЗ МАШИНЕ ЗА ГРУБО ИЗВЛАЧЕЊЕ БАКРА	33
7.2 УЗОРКОВАЊЕ УЉА ИЗ МАШИНЕ ЗА ПРЕВЛАКУ КАБЛОВА ОЛОВОМ	34
7.3 УЗОРКОВАЊЕ УЉА ИЗ МАШИНЕ ЗА НАНОШЕЊЕ ГУМЕ НА КАБЛОВЕ....	35
10. ИСПИТИВАЊЕ УЉА	36
11. АНАЛИТИЧКА ФЕРОГРАФИЈА	45
12. ПРЕДЛОГ ПЛАНА ОДРЖАВАЊА И ПОДМАЗИВАЊА	48
13. ЗАКЉУЧАК.....	50
ЛИТЕРАТУРА	52

ANALYSIS AND TESTING OF OIL IN INDUSTRY

АНАЛИЗА И ИСПИТИВАЊЕ УЉА У ИНДУСТРИЈИ

Јевтић Марко

Факултет инжењерских наука Крагујевац, сестре Јањић 6 Крагујевац

Резиме: Овај мастер рад приказује поступак анализе и испитивања уља у фабрици Холдинг Каблови Јагодина. Први део рада се састоји из теоријског дела где су објашњене карактеристике уља, начин узорковања, контаминација уља чврстим честицама и водом као и методе за пречишћавање уља. Други део рада је практичан део и ту је показан пример узорковања уља у фабрици, испитивање и анализа тог уља на факултету и дат је предлог одржавања уља у фабрици.

Кључне речи: уље, испитивање, анализа

Abstract: This master thesis presents methods of analysis and testing of oil at the factory Holding Kablovi Jagodina. The first part consists of a theoretical part where they explained the characteristics of oil sampling, oil contamination by solid particles and water as well as methods for refining oil. The second part is the practical part of the example shown here is a sampling of oil in the factory, testing and analysis of the oil at the university and a suggestion of maintaining oil at the factory.

Key words: oil, testing, analysis

ЛИСТА СЛИКА

Сл.		Стр.
5.1	Микроскопски снимци узорака уља	16
5.2	Уређаји светских произвођача за одређивање степена чистоће уља	17
5.3	Поступак идентификације честица	18
5.4	Принцип детекције честица фереографијом	19
7.1	Површински филтери	25
7.2	Дубински филтери	25
7.3	Мобилни агрегат за пуњење хидрауличких система	26
7.4	Секундарно филтрирање	26
7.5	Наливни филтер	26
7.6	Филтер са поклопцем	26
7.7	Сепаратори за издвајање воде из уља	27
8.1	Уштеде постигнуте увођењем система проактивног одржавања	28
8.2	Препоручене вредности чистоће радног флуида	30
9.1	Узорковано хидрауличко уље	32
9.2	Узорковање уља из машине за грубо извлачење бакра	33
9.3	Узорковање уља из машине за превлаку каблова оловом	34
9.4	Узорковање уља из машине за наношење гуме на каблове	35
10.1	Уређај за испитивање величине и количине честица у уљу	36
10.2	Уливање уља у уређај	37
10.3	Механизам за издвајање честица из уља - филтер	37
10.4	Испирање система новим (чистијим) уљем	38
10.5	Дијаграм контаминације уља машине за грубо извлачење бакра	40
10.6	Дијаграм зависности воде у уљу у односу на температуру	40

10.7	Дијаграм контаминације уљамашине за превлачење каблова оловом	42
10.8	Дијаграм зависности воде у уљу у односу на температуру	42
10.9	Дијаграм контаминације уља машине за наношење гуме на каблове	44
10.10	Дијаграм зависности воде у уљу у односу на температуру	44
11.1	Микроскоп	45
11.2	Микроскопски снимак уља машине за наношење гуме на каблове	46
11.3	Микроскопски снимак уља машине за наношење гуме на каблове	46
11.4	Одређивање облика хабања и контаминације уља	47

ЛИСТА ТАБЕЛА

Таб.		Стр.
5.1	ISO 4406	15
10.1	Вредности контаминације оловне пресе	39
10.2	Вредности контаминације машине за грубо извлачење бакра	41
10.3	Вредности контаминације миксера	43

1. УВОД

За одређивање врсте мазива, учесталост подмазивања и количину потребно је поштовати захтеве произвођача техничких система, искуство, лабораторијска испитивања или савете стручњака испоручилаца мазива. Рационализација потрошње мазива представља значајан задатак, који се успешно може остварити правовременом заменом мазива. Тиме се обезбеђује максимални период замене, уз истовремено довољно квалитетно подмазивање.

С обзиром на примарну улогу мазива да редукује негативне ефекте триболошких процеса у погледу трења, хабања и раста температуре у трибомеханичким системима, сви видови одржавања укључују подмазивање као веома важан део укупне процедуре. С друге стране, мазиво је, као контактни елемент система, носилац информација о стању целог система са аспекта триболошких и других процеса старења. Због тога анализа уља на бази правилно дефинисаног програма представља веома ефективан метод мониторинга стања техничких система који обезбеђује ране упозоравајуће знаке потенцијалних проблема, који воде ка отказу и застоју техничких система. У структури система, осим механичких компоненти, стање мења и само мазиво, што води губитку подмазајућих својства.

Постоје бројне могућности за контаминацију уља, а тиме и за њихову деградацију. Контаминација и деградација уља у експлоатацији не могу се потпуно спречити, али се могу знатно успорити, што је веома важно и за уље и за технички систем. Брзина и степен деградације уља управо су пропорционални брзини и степену контаминације. Због тога је важно спречити брзу контаминацију уља, пре и у току употребе.

Спектар контаминената уља је доста широк. Сваки контаминент утиче деструктивно на уље, умањујући му физичко-хемијске и радне особине, а коначне последице су скраћење века уља и техничког система.

У току експлоатације уља мењају се: хемијски састав и особине базног уља, хемијски састав и особине адитива, а то значи и хемијски састав уља у целини, као последица контаминације и деградације.

Најзначајнији контаминенти уља су: деградациони производи базног уља, деградациони производи адитива, честице метала услед процеса хабања, чврсте честице које у уље доспевају из околине, вода и продукти сагоревања горива.

У току експлоатације дешавају се следеће промене: контаминација уља производима сопствене деградације, несагорелим горивом, производима непотпуног сагоревања горива и контаминентима различитог порекла.

На основу анализе веома великог броја отказа сложених трибомеханичких система може се закључити да је код система код којег је дошло до отказа, такође и код мазива (односно уља за подмазивање) дошло до одређених промена. Наиме отказ

трибомеханичког система може наступити услед промене својства уља за подмазивање, као и услед отказа појединих осталих елемената трибомеханичког система. Многобројни уређаји и тестови за анализу уља су развијени и настављају се развијати, како би се омогућио што квалитетнији мониторинг и дијагностиковање проблема насталих у процесу подмазивања. Развојем рачунара и опреме, модерни програм анализе уља постаје једноставан за спровођење. Многе компаније користе софтвере за анализу уља.

У последње време много се говори о развоју нових техника за анализу подмазивања и повећању способности одређивања стања техничког система, мазива и нечистоћа у уљу.

Чињеница је да мазивно уље одмах по уливању у систем који подмазује бива механички, термички и хемијски оптерећено и напрезано. То постепено доводи до промене основне и првобитне структуре уља. Неопходно је истаћи да су ова оптерећења све оштрија, јер савремени агрегати имају све мање запремине, радне температуре су све више, а механичка оптерећења уља су све већа.

Због тога што су данас радни услови за уље све тежи, за новија контруктивна решења, препоруке за интервал замене уља се више не уклапају и не слажу са првобитним јер постоје бројне могућности за контаминацију уља, а тиме и за њихову деградацију.

2. АНАЛИЗА УЉА ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ И ПРОДУКАТА ХАБАЊА

Уље за подмазивање представља важан елемент бројних техничких система који обавља различите значајне функције у току дужег временског периода. Анализа уља за подмазивање обухвата веома велики број тестова чији је основни циљ да се утврди способност уља за вршење функција којима је намењено. Ови тестови такође омогућавају добијање значајних информација о стању самог техничког система и свих његових компоненти које долазе у контакт са уљем за подмазивање. Осим ове две димензије, анализа уља се последњих година користи и као незаменљива, основна активност у оквиру концепта проактивног одржавања при чему је стање самог уља основни фактор који дефинише поузданост и експлоатациони век читавог техничког система.

2.1 САСТАВ УЉА ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ

Без обзира на велики број типова, уља за подмазивање која се користе у савременој индустрији и техници, сва она имају релативно сличан састав и заједничко порекло.

По свом саставу, уља за подмазивање представљају мешавину базних уља којој се додаје велики број различитих адитива у циљу добијања жељених експлоатационих карактеристика.

Базна (основна) уља по свом пореклу и начину добијања могу бити минерална или синтетичка.

Минерална базна уља воде порекло из сирове нафте и представљају један од производа у процесу рафинације нафте. По свом саставу представљају сложену комбинацију различитих угљоводоника. У зависности од основне сировине (нафте) и технологије добијања и прераде добијају се различите врсте минералних базних уља: парафинска, нафтенска или ароматска. Парафинска минерална базна уља су најчешће коришћена сировина за производњу уља за подмазивање. Нафтенска базна уља се користе знатно ређе, за специјалне услове примене, док се коришћење ароматских уља генерално не препоручује.

Синтетичка базна уља се добијају хемијским поступком синтезе и по саставу представљају синтетизоване угљоводонике органске полимере. Технолошки поступак добијања синтетичких базних уља веома је сложен. Најчешће коришћени типови синтетичких базних уља јесу полиалфаолефини, органски естри и полигликоли. Интересантно је напоменути да је интензивна производња синтетичких уља започела током Другог светског рата у Немачкој која није имала довољно залихе сирове нафте.

2.2 АДТИВИ БАЗНИХ УЉА

Антиоксиданти (инхибатори оксидације) – Оксидација уља представља процес у коме уља за подмазивање реагују са кисеоником посебно на вишим температурама. Антиоксиданти смањују интензитет ових процеса чиме се продужава период коришћења уља. Различите врсте антиоксиданата додају се готово свим уљима за подмазивање која се данас користе.

Инхибитори корозије – Вода је, у већој или мањој концентрацији, увек присутна у уљима за подмазивање и има штетан утицај како на само уље тако и на челичне површине које се подмазују јер узрокује развој процеса корозије. Ови адитиви формирају заштитни филм и тако штите металне површине од корозије.

Дисперзант и детерџенти – Ови адитиви спречавају настанак наслага тако што онемогућавају слепљивање честица контаминаната уља и њихово депоновање на површинама. На тај начин се делови система који се подмазују одржавају чистим. Нарочито се користе код уља за све врсте мотора са унутрашњим сагоревањем.

Антихабајући и адитиви за високе притиске – Ови адитиви имају функцију заштите елемената система који се подмазују у условима граничног подмазивања. Додавањем ових адитива постиже се побољшање карактеристике уља да носи оптерећење и смањује трење покретних делова система који се подмазује.

Антипенушавци (инхибитори пене) – Други адитиви (пре свега дисперзни и детерџенти) поспешују стварање пене на површини уља за подмазивање. Антипенушавци смањују површински напон и олакшавају разбијање ваздушних мехурова.

Деемулгатори – спречавају стварање стабилне емулзије воде и уља, а како вода остаје у слободном стању то олакшава њену елиминацију.

2.3 КАРАКТЕРИСТИКЕ УЉА ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ

Уља за подмазивање имају читав низ заједничких карактеристика, као и оне које су специфичне само за одређене области примене. Ове карактеристике представљају основ за избор типа уља за примену у одређеној области и избор дијагностичких параметара преко којих се може пратити стање уља.

Вискозност се дефинише као особина уља да се супротставља течењу, односно деформацији (клизању својих слојева). Вискозност представља величину унутрашњег трења које делује као отпор кретању честица флуида када су оне изложене смицајном напрезању. Разликује се динамичка вискозност $\eta = \tau/D$ која се изражава у паскал секундама (Pa · s), где је τ - напон смицања, а D брзина смицања. Однос динамичке вискозности и густине уља представља кинематску вискозност која се изражава у m^2/s или центистоксима ($1cSt = 10^{-6} m^2/s = 1mm^2/s$). Вискозност флуида се мери на температури од 40°C.

Индекс вискозности је бездимензионални број који дефинише брзину промене вискозности у функцији промене температуре. У процесу производње уљима се додају адитиви за повећање индекса вискозности (за смањење промене вискозности са променом температуре).

Густина представља однос масе и запремине уља (kg/dm^3). Ова карактеристика се користи за међусобно прерачунавање динамичке и кинематске вискозности.

Стишљивост представља промену запремине уља под дејством притиска. Ова карактеристика се изражава преко индекса стишљивости β који представља релативну промену запремине уља по јединици притиска $\beta = \Delta V/V \cdot \Delta p$.

Тачка стињавања је најнижа температура у којој охлађени узорак уља показује незнатна својства течности, а граница течења је она температура код које узорак потпуно престаје да тече. Додавањем адитива се врши побољшање тачке стињавања, односно снижавање температуре на којој уље прелази у чврсто стање.

Боја је карактеристика која зависи од структуре уља, вискозности и адитива. Промена боје уља указује на његово старење и деградацију.

Специфична топлота је количина топлоте потребна да се јединична маса уља загреје за 1°C.

Хидролитичка стабилност је карактеристика којом се дефинише склоност компоненти уља да се у присуству воде хидролизују.

Термичка стабилност се најчешће дефинише преко вредности температуре на којој долази до почетног процеса хемијског разлагања уља за подмазивање.

Оксидациона стабилност представља својство уља за подмазивање да се одупре хемијском подмазивању са кисеоником. Процесом оксидације уља, на

повишеним температурама, настају слободне и везане киселине и низ других секундарних једињења, а последице читавог процеса су издвајање смола у талог у уља, снижавање вискозности и образовање танког тврдог слоја на контактним површинама. Процес оксидације потпомажу повишена температура (интензитет оксидације се удвостручује за сваких 10°C), присуство чврстих честица и воде у уљу, као и интензитет пенушања уља чиме се повећава површина контакта уља за подмазивање и ваздуха. Због свега наведеног, антиоксиданти или инхибитори оксидације представљају веома важне адитиве који се додају уљима за подмазивање.

Деемузилбилност је способност уља за подмазивање да се не меша са водом. Вода у уљу може да се нађе у раствореном, емулгованом и слободном стању. Одређена (врло мала) количина воде раствара се и апсорбује одмах након што дође у контакт са уљем. Таква количина воде не утиче битније на основна својства уља за подмазивање. Међутим, уље треба да поседује својство да одвоји сваку количину воде већу од ове минимално дозвољене вредности. Ово својство уља се постиже додавањем одговарајућих адитива – деемулгатора. Деемулзибилност узорка уља се дефинише временом раздвајања узорка, мешавине истих количина радног флуида и воде.

Пенушавост представља брзину пуцања мехурића ваздуха који се издвајају на површини уља. Изражава се висином пене која се формира за време испитивања уља под условима дефинисаним одговарајућом процедуром. У циљу смањења пенушања уља, додају се одговарајући адитиви – антипенушавци.

Антихабајуће карактеристике представљају способност уља за подмазивање да смањи интензитет триболошких процеса. Антихабајуће карактеристике, односно подмазујућа својства, испитују се низом триболошких тестова, а побољшавају се додавањем одговарајућих адитива.

Неутрализациони број представља меру укупног степена киселости уља за подмазивање. Полазна вредност зависи од састава уља, количине и врсте додатих адитива с тим што вредност неутрализационог броја расте у процесу хемијске деградације уља. Неутрализациони број се исказује у количини калијум - хидроксида која се мора додати једном граму радног флуида да би се неутрализовало присуство свих киселина (mgKOH/g). [1]

3. УЗОРКОВАЊЕ УЉА

Анализа уља може бити спроведена:

1. на лицу места (on-site),
2. у лабораторији.

Дуго је анализа уља за подмазивање била заснована искључиво на коришћењу услуга специјалних лабораторија. Појава првих мобилних инструмената за on-site анализу уља за подмазивање представљала је веома значајан напредак који је донео бројне предности као што су:

- анализа у реалном времену,
- тренутни резултати спроведених процедура анализе уља,
- могућност неограниченог понављања мерења по потреби,
- мерења и анализе спроводе људи који добро познају опрему и машине,
- значајно смањење трошкова везаних за лабораторијске услуге, узорковање и слање узорака,
- смањивање могућности за настајање грешака и контаминацију узорака,
- могућност улазне контроле уља и
- значајно краће време између спровођења контроле контаминације и одговарајуће активности на одржавању.

Анализа уља на лицу места (on-site) може бити спроведена на два начина:

- In-line, односно директно, на комплетној количини уља или на пуном протоку уља. Број дијагностичких параметара који се овако могу анализирати је релативно ограничен.
- On-site, при чему се инструмент за анализу уља прикључује на погодан начин на технички систем са уљем за подмазивање. Одређена количина уља се узоркује из система, пролази кроз инструмент где се врши анализа, односно одређивање вредности дијагностичког параметра.

Коришћење преносних инструмената за on-site анализу уља представља велику помоћ у имплементацији концепта проактивног одржавања. Најважнији параметри који се могу анализирати на лицу места јесу број честица у уљу, концентрација воде у уљу и анализа вискозитета уља. Такође су веома присутни преносни инструменти за анализу стања уља за подмазивање базирани на испитивању диелектричних карактеристика уља. Сва остала испитивања физичко-хемијских карактеристика уља, као и специфична спектографска и форографска испитивања продуката хабања, врше се, по правилу, у лабораторијским условима.

3.1 ЛОКАЦИЈА УЗОРКОВАЊА

Проблем одабира места за издвајање узорка уља посебно је значајан уколико се ради о свеобухватној анализи стања уља којом су, поред основних карактеристика, обухваћени и параметри контаминације и стања похабаности елемената система. Његово решавање зависи генерално од система за подмазивање. Зато се основна правила дефинишу за циркулационе и нециркулационе системе подмазивања, као два генерална случаја.

3.1.1 Циркулациони системи

За избор локације узорковања у циркулационим системима за подмазивање важи одређени број правила. Прво правило је да се место узорковања бира циркулационом систему иза трибомеханичких система који се хабају и представљају извор контаминације продуктима хабања и влагом. Због тога повратне линије уља према резервоару обезбеђују најрепрезентативније узорке уља са становишта садржаја контаминената. Када уље стигне у резервоар губи се потребна концентрација и равномерна дистрибуција информација у јединици запремине, што га чини неадекватним за узорковање. Узорковање у повратном воду управо обезбеђује увид у активно генерисање контаминената, док се у резервоару врши њихова акумулација током недеља и месеци те узорак из резервоара уопште не репрезентује текуће стање система. Због свега тога не препоручује се узимање узорка из резервоара, осим ако нема других могућности. У том случају узорак уља треба узети из средине резервоара, тј. из средње трећине висине резервоара.

Постоје два типа система за подмазивање с аспекта повратних водова. Код првог типа повратни водови су под притиском и они су карактеристични за хидрауличке системе и циркулационе системе за подмазивање пумпом. Други тип система су системи за подмазивање са дренажним елементима који прикупљају уље и враћају га у резервоар под дејством гравитације.

Осим што је потребно уље узети пре повратка у резервоар потребно је то учинити и пре проласка кроз филтер, односно сепаратор, дехидратор или таложни резервоар. Ови елементи у систему за подмазивање уклањају контаминенте које носи уље и на тај начин уклањају валидне информације о активном стању система.

За циркулационе системе, који су обично сложене структуре, дефинишу се:

- примарна места узорковања
- секундарна места узорковања

Примарно место узорковања је место у систему одакле се рутински узима узорак уља. Овај узорак се обично користи за мониторинг физичких и хемијских карактеристика уља, контаминације уља и садржаја продуката хабања у уљу. За његов избор важе сва описана правила за место узорковања:

- Место узорковања мора бити иза критичног трибомеханичког система,
- Место узорковања мора бити на струјном путу пре филтера, где су честице контаминације и продуката хабања углавном концентрисане,
- Место узорковања не сме бити у мртвој зони, већ у турбулентној зони,
- Издвајање узорка из резервоара се не препоручује, осим ако нема других могућности.

Секундарна места узорковања обезбеђују да се на основу узорка дође до података који се с аспекта продуката хабања указују на одређени елемент у структури система. Она могу бити лоцирана било где у систему тако да изолују компоненте које су на струјном путу испред примарног места узорковања.

3.1.2 Нециркулациони системи

Најједноставнији начин узорковања је уклањање запушача за пражњење на дну резервоара и испуштање потребне количине флуида у боцу за узорак. Из много разлога ово није идеалан начин.

Проблеми су везани, пре свега, за постојање талога чврстих честица и издвојене воде на дну резервоара и њихово истакање са узорком.

Концентрација контаминената коју носи тако издвојен узорак није репрезентативна са становишта стања уља у окружењу контактних површина, односно уља која врши подмазивање. Због тога је увек када је то могуће потребно избегавати узорковање са дна резервоара преко испуста за пражњење.

За узорковање уља из резервоара нециркулационог система најчешће се користе вакуум пумпе. Црево вакуум пумпе може се прикључити на одговарајуће вентиле на резервоару, односно кућишту. Међутим овом методом присутни су поједини проблеми као што су:

- Повећан је ризик контаминације црева за извлачење уља, а тиме и узорка уља.
- Велика је количина уља која се узима да би се добио репрезентативан узорак. Код малих резервоара ово резултира променом стања уља.

- У неким случајевима неопходно је прекинути функцију да би се обавило узорковање. Перкид рада изазива смиривање уља што није добро због таложења честица на дну.
- Метода носи ризик контаминације уља у систему, као и изазивања сметњи у функционисању. [2]

4. КОНТАМИНАЦИЈА УЉА ЧВРСТИМ ЧЕСТИЦАМА

Абразивне честице присутне у уљу за подмазивање представљају примарни узрок интензивног хабања контактних елемената и отказа система. Тежина последица контаминације абразивним честицама зависи од крупноће, облика, тврдоће и хемијског састава честица. Присуство абразивних честица мора бити контролисано у сваком систему који се сматра критичним за обављање техничке функције или у систему чија је цена оправке висока.

4.1 ИЗВОРИ КОНТАМИНАЦИЈЕ ЧВРСТИМ ЧЕСТИЦАМА

Чврсти контаминенти вребају на различитим местима. Ваздух представља најприсутнији извор контаминације у виду прашине која продира у трибомеханичке системе или системе за складиштење и чување уља за подмазивање. То је посебно изражено у прашњавим условима експлоатације у којима раде постројења за прераду руда.

Абразивне честице продиру углавном на местима интерфејса са окружењем. Тако на пример отворени отвори у уљном систему представљају слободан пролаз за улаз честице из ваздуха. Такође, одушци у систему који су израђени од грубог филтерског материјала често не успевају да ефектно контролишу ситне честице које узрокују оштећење система, док некавалитетне и оштећене заптивке омогућавају улазак абразива у уље за подмазивање.

Лежаји такође представљају места продирања чврстих екстерних контаминената. Услед градијента притиска који се развија циркулацијом уља, лежај се понаша као пумпа и показује тенденцију увлачења честица из окружења. Ово свакако доприноси хабању заптивки, што олакшава даљу контаминацију прашином.

У набрајању потенцијалних извора абразивних честица не сме се изоставити и ново уље. Наиме, насупрот мишљењу да је ново уље чисто, оно је веома често контаминирано у фазама производње и паковања, транспорта и складиштења.

Филтери у уљном систему прикупљају присутне абразивне честице (у складу са финоћом филтера). Међутим сатурацијом филтера стварају се услови у којима они не могу да обављају ефективно пречишћавање уља, па чак могу постати извори абразива, јер долази до ослобађања прикупљених честица.

Осим из ваздуха, чврсте честице потичу и из локалног окружења а и из самог техничког процеса који систем обавља.

Чврсти контаминенти могу бити и интерног карактера. Они неминовно настају у сваком трибомеханичком систему током експлоатације одвијањем прогресивног хабања контактних елемената, али у и радном процесу.

4.2 ПОСЛЕДИЦЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ ЧВРСТИМ ЧЕСТИЦАМА

Чврсте контаминирајуће честице, екстерног или интерног порекла, имају низ негативних ефеката на уље за подмазивање и на механички систем.

Честице доспеле у уље, посебно од каталитичких метала, као што су бакар, гвожђе и олово, како је раније поменуто, доприносе порасту интензитета оксидационих процеса који лагано нападају уље узрокујући стварање киселих форми и нерастворљивих продуката, који такође имају улогу интерних контаминената.

Поред тога, оне лишавају уље поларних молекула адитива, укључујући антихабајуће ЕП адитиве, инхибиторе корозије и дисперзанте. Такође, веома fine честице у стабилној уљној суспензији могу узроковати пораст вискозности уља.

Абразивне честице присутне у зазорима између контактних површина су одговорне за већину хабањем изазваних преурањених отказа механичких компоненти система. Ефекти честица испољавају се кроз различите механизме хабања у зависности од релативног кретања и услова контакта. Увлачење честица у зону контакта већих димензија од димензија зазора, тј. дебљине уљног филма, могуће је код конформног типа контакта.

4.3 КОНТРОЛА КОНТАМИНАЦИЈЕ ЧВРСТИМ ЧЕСТИЦАМА

Побројани негативни ефекти контаминације уља, као мазивног и као хидрауличког флуида, чврстим честицама намећу захтеве за њеном поузданом контролом. Идеално би било елиминисати контаминацију на самим местима генерисања. Међутим, то је немогуће до краја спровести и реално је код великог броја техничких система постоји потреба за пречишћавањем уља. У ту сврху користе се бројни уређаји базирани на различитим механизмима издвајањем честица, као што су:

- Коришћење филтерског медијума,
- Центрифугална сепарација и
- Електростатичка сепарација.

Независно од врсте уређаја, њихове перформансе се одређују на бази стабилности, капацитета и ефикасности.

4.3.1 Системи филтрирања

Постоје три базна система филтрирања која се данас примењују.

Систем са укупним протоком. Ови системи су веома чести и користе се код највећег броја техничких система. Они су дизајнирани тако да целокупни проток флуида пролази кроз филтер пре него што доспе у лежаје или друге трибомеханичке елементе. Најчешће се у овим системима користе површински филтерски медијуми и by-pass вентили.

By-pass систем. Ови системи се често означавају као паралелни или бочни. Дизајнирани су тако да се целокупна количина уља из резервоара иницијално усмерава према лежајима или другим трибомеханичким елементима, али се део протока одваја и континуално пролази кроз филтер и прећишћен враћа у резервоар. Користе се дубински филтери без by-pass вентила. Очигледно, основни недостатак је у томе што нефилтрирано уље пролази кроз систем.

Комбиновани систем. Овај систем је комбинација претходна два система. Са заштравањем захтева за обезбеђивањем чистоће уља расте и популарност ових система. То је посебно изражено код система који имају fine толеранције, као што су хидраулички системи високог притиска, који користе серво вентиле или соленоиде.

Ови системи садрже примарне стандардне површинске филтре пуног протока, као и секундарне дубинске филтре. Филтери са дубинским дубинским филтерским медијумом су постављени паралелно са примарним и екстремно фино пречишћавају 10 – 15 % укупног уља које протиче кроз систем.

За поуздано обављање функције пречишћавања веома је битно да се пројектоване перформансе филтера одржавају стабилним током употребе. На стабилност филтера утичу многи фактори, укључујући падове притиска у систему, хладне стартове, варирање протока, пулсирање пумпе и механичке вибрације, хладно уље и уље високе вискозности, варирање температура, колебања притиска и механичке вибрације.

4.4 ЦЕНТРИФУГАЛНИ СЕПАРАТОРИ

Издајање суспендованих честица овим уређајима заснива се на дејству центрифугалних сила које настају због ротационог кретања флуида. Центрифугални сепаратори генерално су ефективни у издавању крупних честица велике густине из уља ниже вискозности.

4.5 ЕЛЕКТРОСТАТИЧКИ СЕПАРАТОРИ

Ови уређаји прикупљају честице дејством електростатичких сила. Формирањем високонапонског потенцијала честице са електричним набојем бивају привучене плочама уређаја са супротним наелектрисањем. Погодни су за издавање ситних честица и нерастворљивих суспензија оксида и полимера који доводе до стварања лакова на функционалним површинама.

Перформансе уређаја зависе од диелектричних својстава уља, а погоршава их присуство воде.

Са становишта одржавања опреме потребно је знати да уколико се дозволи пораст нивоа садржаја самогенерисаних контаминената то неминовно доводи до великих абразивних оштећења контактних површина. Испуштање и промена уља неће решити настали проблем похабаности површина. [2]

5. ОДРЕЂИВАЊЕ БРОЈА ЧЕСТИЦА У УЉУ

Одређивање броја честица у узорку уља за подмазивање представља технологију са најинтезивнијим развојем. Првенствено се користи у системима са интезивним триболошким процесима (хидраулички, турбински, запчасти преносници). Основне смернице за спровођење ове врсте испитивања произилазе из одговарајућих стандарда за класификацију нивоа чистоће (контаминације) уља за подмазивање преко броја и величине честица.

5.1 СТАНДАРДИ ЗА ДЕФИНИСАЊЕ НИВОА ЧИСТОЋЕ УЉА

Општеприхваћена и најчешће коришћења метода за одређивање нивоа чистоће уља за подмазивање дефинисана је стандардом **ISO 4406**. Овај стандард је примарно био намењен за коришћење у хидрауличким системима, али се његова употреба проширила и на многе друге техничке системе са уљима за подмазивање.

ISO 4406 је ознака нивоа чистоће уља која се састоји од три броја међусобно одвојена косом цртом (/). Ови бројеви представљају класе (кодове) за одређивање укупног броја чврстих честица у 100 ml уља, уз коришћење табеле 5.1. Свака следећа класа чистоће садржи двоструко више чврстих честица од претходне.

Broj čestica u 100 ml		
Klasa	od	do
24	8×10^6	16×10^6
23	4×10^6	8×10^6
22	2×10^6	4×10^6
21	1×10^6	2×10^6
20	500×10^3	1×10^6
19	250×10^3	500×10^3
18	130×10^3	250×10^3
17	64×10^3	130×10^3
16	32×10^3	64×10^3
15	16×10^3	32×10^3
14	8×10^3	16×10^3
13	4×10^3	8×10^3
12	2×10^3	4×10^3
11	1×10^3	2×10^3
10	500	1×10^3
9	250	500
8	130	250
7	64	130
6	32	64
5	16	32
4	8	16
3	4	8
2	2	4
1	1	2
00	0	1

ISO 4406 XX / XX / XX

>4μm >6μm >14μm

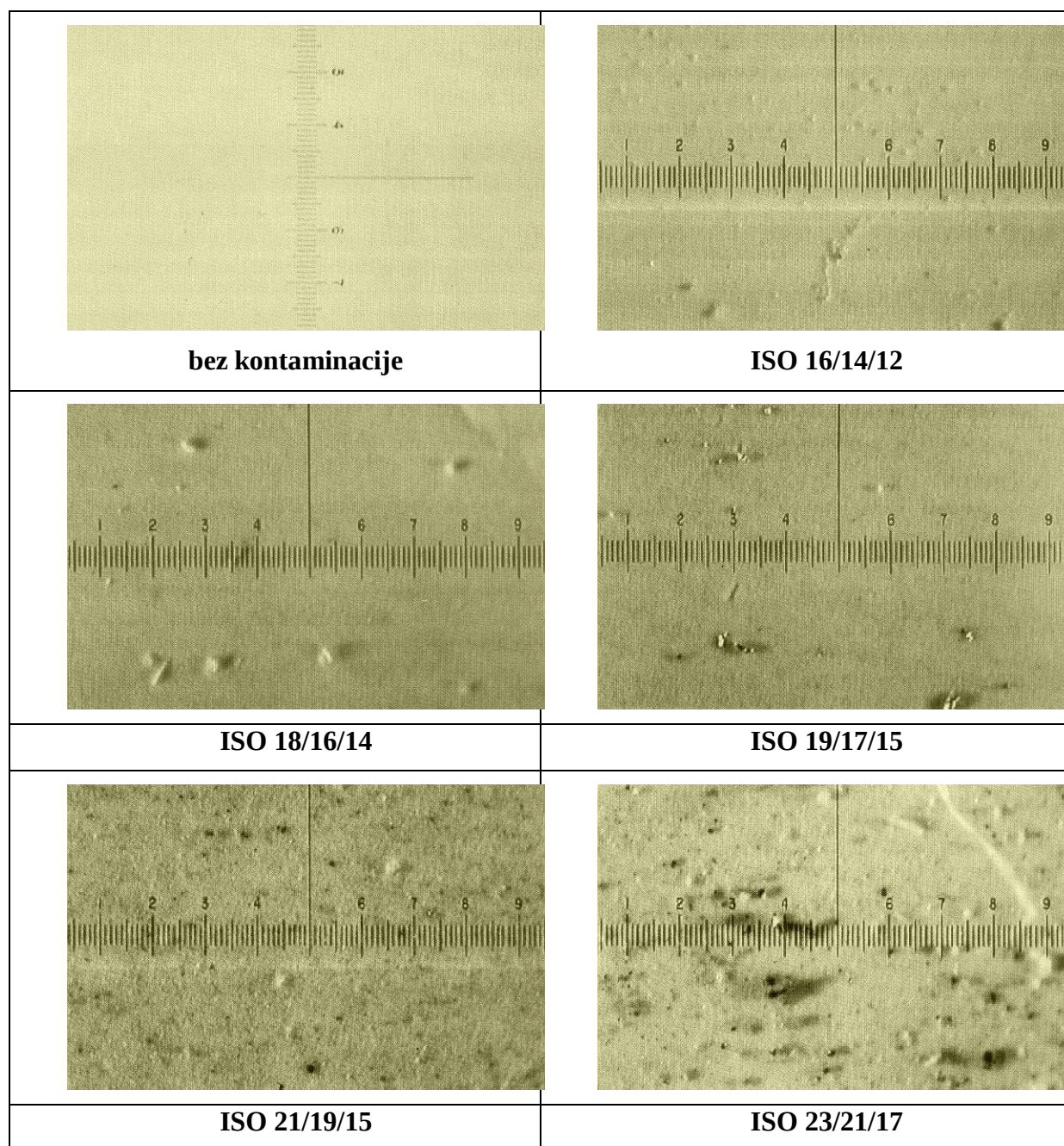
ПРИМЕР: Узорак радног флуида означен класом чистоће ISO 4406 18/14/12

То значи да у 100 ml овог флуида постоји највише до:

- 250000 честица већих од 4 μm
- 16000 честица већих од 6 μm
- 4000 честица већих од 14 μm

Табела 5.1 ISO 4406

Првобитно се користила ISO 4406 ознака од само два броја који представљају честице веће од 5 μm и 15 μm . Убрзо је уследило и увођење трећег броја, који је указивао на број честица већих од 2 μm . Ова модификација је уведена како би се у ознаку нивоа чистоће уља укључила и концентрација сасвим малих честица које, углавном, пролазе кроз стандардне системе за филтрирање, али њихово слеplивање и нагомилавање може имати значајног штетног утицаја на систем. Недавно је извршена још једна модификација овог стандарда тако да се сада први број односи на честице веће од 4 μm , други на честице веће од 6 μm а трећи на оне чија величина прелази 14 μm . На слици 1.2 приказани су микроскопски снимци (увећање 100x) узорка са различитим нивоима чистоће.



Слика 5.1 Микроскопски снимци узорка уља

Водећи произвођачи опреме за одређивање концентрације чврстих честица у уљу дали су, и још увек дају, велики допринос дефинисању и развоју овог и пратећих стандарда. Тако је један од произвођача усвојио чак и прецизнију ISO 4406 децималну скалу (свака класа чистоће је подељена на десете делове)

5.2 ИНСТРУМЕНТИ ЗА ОДРЕЂИВАЊЕ КОНЦЕНТРАЦИЈЕ ЧЕСТИЦА У УЉУ

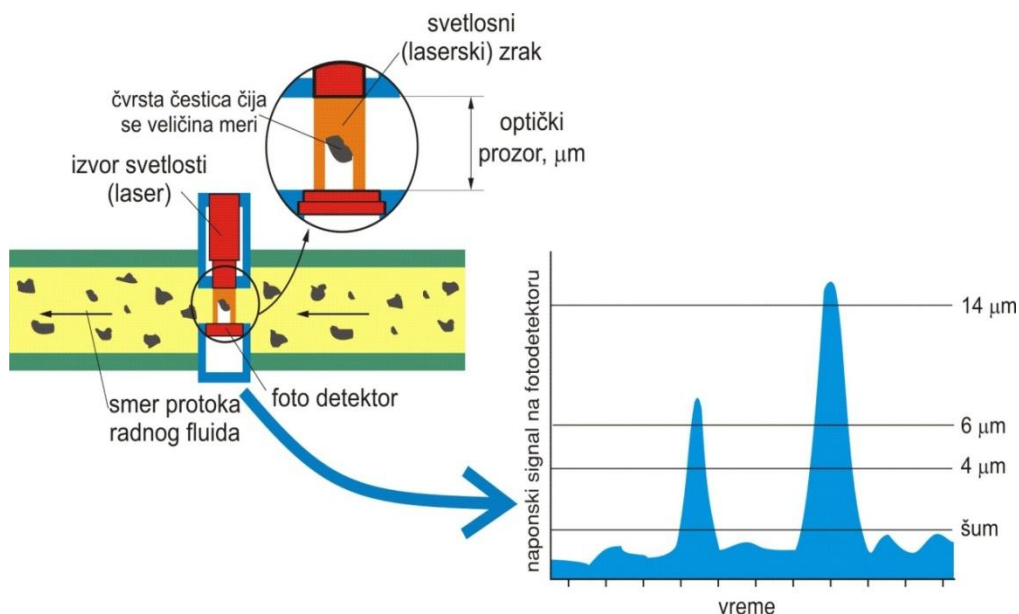
Када је 1987. године, стандардом ISO 4406, дефинисана метода за одређивање чистоће уља преко садржаја чврстих честица, њени основни недостаци су били време и цена обраде појединачних узорака. Први инструменти су били веома гломазни, скупи и недоступни ширем кругу корисника. Испитивања су обављале само специјализоване лабораторије.

Пре отприлике 15 година на светском тржишту су се појавили први преносни уређаји за on-site одређивање нивоа чистоће уља преко броја и концентрације честица. Временом су се њихове перформансе побољшавале, цена падала, постајали су мањи и лакши тако да данас ови инструменти, познати и као APC (Automatic Particle Counter), несумњиво представљају основни алат који се користи у оквиру концепта проактивног одржавања.

Ови инструменти се састоје од сензора који се на посебно одређеном месту прикључује на уљну инсталацију и дела за обраду сигнала и приказивање резултата. Сензорски део се састоји од извора ласерског зрака и фото-детектора између којих пролази струја уља за подмазивање. Честице у уљу заклањају фото-детектор што за последицу има стварање напонског сигнала који је пропорционалан величини, односно броју честица. Излаз из инструмента је бројна вредност кода за квантифицирање чистоће уља према стандарду ISO 4406.



Слика 5.2 Уређаји водећих светских произвођача за одређивање степена чистоће уља



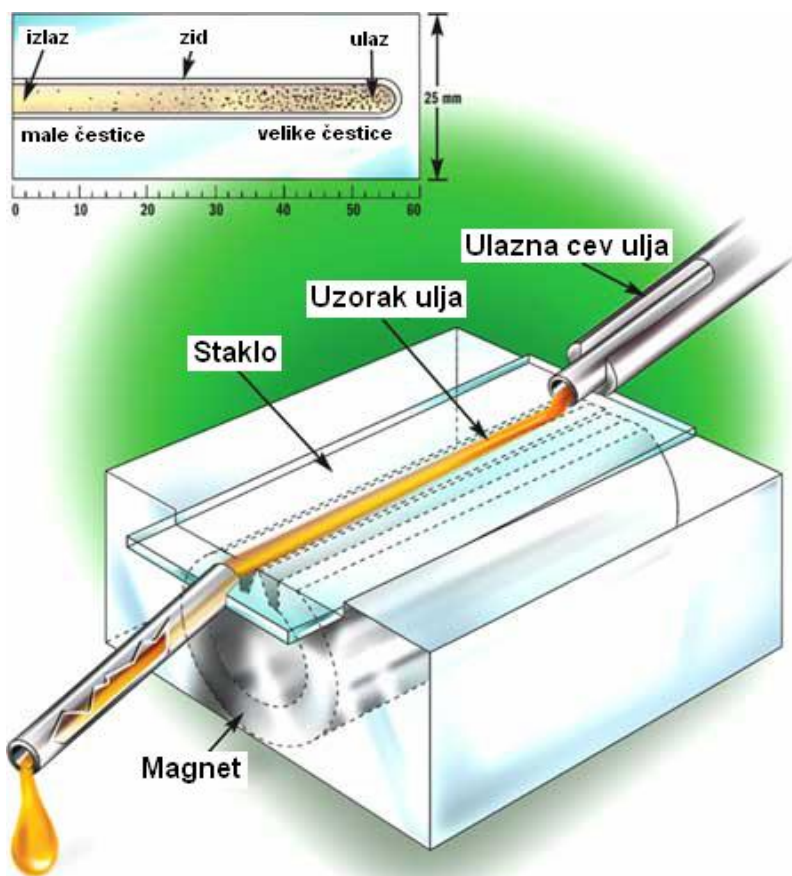
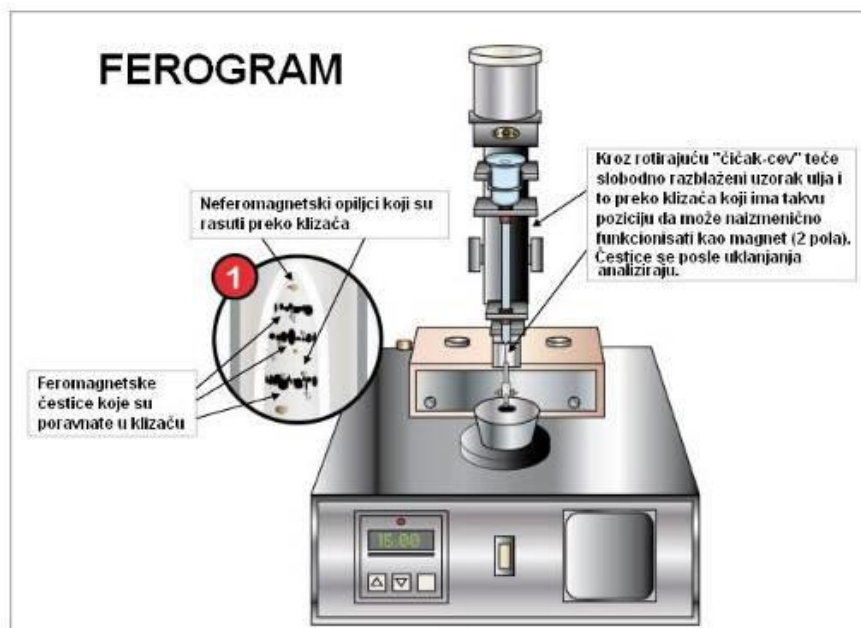
Слика 5.3 Поступак идентификације честица

Даљи развој ових инструмената ишао је у правцу дизајнирања компактних и јефтиних уређаја – сензора за контролу контаминације који би били стално монтирани на машинама и вршили перманентан мониторинг чистоће уља за подмазивање. Резултат ових развојних пројеката јесте најновија генерација компактних in-line/on-line уређаја – монитора чистоће.

5.3 ФЕРОГРАФИЈА

Ферографија представља заједнички назив за скуп тестова који се пре свега користе у процесу квалитативне, али и квантитативне анализе продуката хабања у уљима за подмазивање. Ова неинвазивна метода је, у основи, базирана на одвајању и груписању различитих продуката хабања, а затим и њиховој микроскопској анализи у циљу утврђивања типа, облика, величине, порекла и броја. Резултати ферографске анализе продуката хабања омогућавају да се у раној фази уоче проблеми везани за развој триболошких процеса у техничким системима са уљима за подмазивање, односно да се лоцирају компоненте и места у систему где су триболошки процеси најинтензивнији.

Ферографија се начелно дели у две групе тестова за анализу продуката хабања. Прву чине тестови за испитивање густине ферографских честица, а другу аналитичка ферографија. На слици 5.4 може се видети принцип детекције честица у уљу ферографијом.



Слика 5.4 Принцип детекције честица фереографијом

5.3.1 Тестови за испитивање густине фεροграфских честица

Ово су, пре свега, квантитативни тестови који се свODE на одвајање честица феромагнетног порекла од осталих честица, а затим на анализу њихове величине и бројности. Полази се од чињенице да технички систем који нормално функционише веома ретко емитује честице феромагнетног порекла веће од 5 до 10 μm . Појава већих фero-честица тумачи се као сигнал ненормалних триболошких процеса унутар система и рани показатељ могућег отказа.

Ови тестови се углавном користе за рутинско праћење стања техничких система при чему појава крупнијих честица или повећања њихове бројности, као симптома интензивирања триболошких процеса, обично представља сигнал за увођење напреднијих и сложенијих метода и техника за анализу уља, како би се утврдили и прецизно лоцирали узроци проблема.

5.3.2 Аналитичка фeroграфија

Представља напредну технику за дијагностику стања техничких система преко продуката хабања у уљу за подмазивање. Заснива се на издвајању појединачних честица из уља и детаљној квалитативној микроскопској анализи њихових облика, величине, структуре, текстуре и састава у циљу одређивања њиховог порекла и узрока настајања. Ово омогућава добијање изузетно значајних информација по врстама и интензитету триболошких процеса у посматраном техничком систему. Узорак уља се прво третира одговарајућим растварачима, а затим се у посебним апаратима излаже дејству магнетног поља. На тај начин се добија такозвани фeroграм-слајд са депозитом феромагнетних и неферомагнетних честица који је предмет даљих анализа. У процесу припреме фeroграм се може додатно третирати термички или коришћењем киселина, односно база.

Промене у структури и боји честица, пре и после термичког третирања фeroграма могу да помогну да се утврди њихов састав и порекло. Са друге стране, третирање киселинама или базама користи се приликом анализе порекла и врсте честица и неферомагнетног порекла. [1]

6. КОНТАМИНАЦИЈА УЉА ВОДОМ

Вода представља најчешћи течни контаминент уља за подмазивање и потиче из окружења или је резултат кондезације. Њено присуство у подмазаном систему изазива низ проблема, како с аспекта деградације уља за подмазивање тако и с аспекта деградације механичког система.

6.1 ИЗВОРИ И ВРСТЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ

Као и чврсте честице, вода продире у систем на његовим интерфејсима са окружењем или се уноси са новим уљем које је било изложено контаминацији приликом манипулације и складиштења. Машине које раде у условима фреквентних стартовања и искључења изложене су појави кондезације воде. Када радна температура расте, расте и сатурациона тачка, што омогућава растварање присутне воде у уљу. Насупрот томе, хлађењем опада ниво сатурације и долази до појаве кондезације.

Вода као контаминент егзистира у систему у три основна стања, и то као:

- растворена,
- емулгована и
- слободна.

Уље може, захваљујући хемијским процесима, растворити мале количине присутне воде. Ради се о индивидуалним молекулима воде који су дисперговани у уљу. Количина растворене воде зависи од врсте и стања базног уља, пакета адитива и температуре.

Растворена вода у уљу се може упоредити са влагом у ваздуху током влажног дана. Влага, дакле, постоји, али диспергована молекул по молекул, тако да се не може видети. На исти начин уље може садржати одређену количину растворене воде без видљивих знакова њеног присуства.

Тачка сатурације било ког уља за подмазивање зависи од температуре. Са порастом температуре количина растворене воде расте, и супротно. Уколико температура падне испод тачке кондезације, део растворене воде мења стање у слободну или емулзирану.

Типични нивои сатурације раствореном водом различити су код различитих врста уља:

- Хидраулична уља – 200 до 400 ppm (0,02 до 0.03 %)
- Уља за подмазивање – 200 до 750 ppm (0.02 до 0.075%)
- Трансформаторска уља – од 30 до 50 ppm (0.003 до 0.005%)

Када се слободна (нерастворена) вода у уљу нађе у условима вртложења изазваног механичким кретањем елемената пумпи, зупчаника, лежаја стварају се услови за дисперговање воде и формирање ситних капи које опстају суспендоване и

стабилном стању у уљу. При томе, адитиви, оксиди и контаминенти потпомажу процес емулгације воде у уљу. Присуство емулговане воде у уљу препознатљиво је по замућењу које може бити и млечно зависно од количине воде.

Вода се појављује у слободном стању када се издваја из уља због немогућности растварања и разлика у специфичним тежинама. У минералним уљима слободна вода се издваја на дну резервоара. Међутим, нека синтетичка уља имају специфичну тежину већу од специфичне тежине воде, што условљава издвајање слоја воде на површини уља.

6.2 ПОСЛЕДИЦЕ КОНТАМИНАЦИЈЕ ВОДОМ

Присуство воде у уљу за подмазивање скопчано је са низом негативних ефеката на уље и механички систем, као што су:

- Слабљење издржљивости и разарање уљног филма између контактних површина,
- Појава рђе,
- Убрзавање површинског замора контактних елемената,
- Хидролиза појединих адитива,
- Стварање нежељених емулзија,
- Губљење диелектричних својстава изолаторских уља,
- Појава мржњења слободне воде,
- Допринос биолошком загађењу.

Ови ефекти неминовно се одражавају на експлоатацијске карактеристике система који се подмазује. Испитивања показују да повећано присуство воде у уљу за подмазивање може утицати на драматично смањење века трајања трибомеханичких система.

Осим на контактне елементе, контаминација водом има погубне последице и на деградацију уља услед појачане оксидације. Истовремено присуство металних честица (продуката хабања) и воде у уљу се испољава појачаним процесом оксидације уља за подмазивање. Негативних последица нису лишени ни адитиви. Наиме поједини адитиви као и неки оксиданти подложни су хидролизи водом, што резултира губитком адитива и формирањем киселих продуката. Кисели продукти могу узроковати корозионо хабање, посебно код трибомеханичких елемената који садрже меке метале, као што су рђе подложни су испирању водом, која је присутна у недопуштеној концентрацији. То доприноси стварању муља и наслага, зачепљењу филтера и низа других последица, каква је и смањење деемулзивности воде у уљу.

6.3 ОДРЕЂИВАЊЕ САДРЖАЈА ВОДЕ У УЉУ

За одређивање садржаја воде у уљу користи се више метода и техника, које се пре свега разликују по осетљивости, неопходним инструментима и цени испитивања узорка. До недавно се испитивање садржаја воде у уљу вршило искључиво off-line на узорцима (у лабораторији или применом једноставних комаративних тестова на лицу места), али је приметан интензиван развој метода и инструмената за спровођење in-line/on-line анализа. У складу с тим, ови тестови заузимају веома значајно место и представљају незаобилазни елемент сваког програма за мониторинг уља за подмазивање.

Садржај воде, који доводи до засићења, различит је за различите типове уља, па се према томе и одређују тестови, методе и инструменти који ће се користити за спровођење анализе у конкретном случају.

Када се детектује присуство воде у уљу веома је битно истражити примарни узрок, тј. извор контаминације. Уколико физичка и хемијска својства уља нису промењена (уље није оштећено) вода се може у принципу уклонити и уље остати у употреби.

7. ФИЛТЕРИ ЗА ПРЕЧИШЋАВАЊЕ УЉА И СЕПАРАТОРИ ЗА ИЗДВАЈАЊЕ ВОДЕ

Постоје два базна типа дизајна филтерских елемената који се користе у системима за подмазивање:

- Површински филтери (слика 7.1) и
- Дубински филтери (слика 7.2).

Површинске филтере карактерише постојање слоја филтерског медија кроз који пролази уље. Дејство овог типа филтера аналогно је дејству сита на коме се задржавају честице крупноће веће од димензија пора коришћеног медија. Финоћа уклоњених честица обично је у распону од 10 до 40 μm . За израду површинских филтера најчешће се користи папир и фиберглас.

Папирни (целулозни) филтери генерално су ефективни за уклањање крупнијих честица и подложни су негативном утицају воде и повишених температура. Фиберглас филтери су супериорнији у односу на папирне захваљујући тањим влакнима, већој густини пора (мањим димензијама пора) и отпорности на дејство воде и повишених температура.

Поред папира и фибергласа као филтерски медиј за површинску филтрацију користе се и мреже (сита) плетене од финих жица од нерђајућег челика. Филтери са жичаном мрежом се користе за грубље пречишћавање, најчешће у распону од 25 до 80 μm .

Површински филтери се нормално користе у системима у којима укупна количина флуида пролази кроз филтер. Међутим, то не значи и да укупна количина флуида пролази кроз сам филтерски медијум. Наиме, захваљујући by-pass вентилу, који се отвара у одређеним околностима могућ је пролазак нефилтрираног уља.

Конструкција дубинских филтера је таква да је уље принуђено да пролази “тежак” и дужи пут кроз много гушћи медијум. На тај начин се обезбеђује издвајање знатно финијих честица у односу на површинске филтере.

Елементи ових филтера се израђују од две групе материјала. Једна група материјала су абсорбенти. Они представљају неактивне материјале, као што су отпадни памук, вуна, папир и слично. Ови филтери своју функцију обављају абсорпцијом контаминирајућих честица из уља на дугом путу проласка кроз медијум. Уклањају честице крупноће у распону од 1-10 μm и обично се постављају у хидрауличким системима.

Друга група материјала који се користе код неких дубинских филтера су адсорбенти и представљају хемијски активне материјале као што су су активне глине. Ови филтери уклањају контаминенте хемијском реакцијом са уљем за подмазивањем, што може довести до уклањања одређених адитива.

Финоћа филтера изражава се као номинална и апсолутна. Номинална финоћа је вредност изражена у микрометрима која одговара датој крупноћи честица које филтер издваја у задатом тежинском проценту. Апсолутна финоћа представља пречник најкрупније чврсте сферичне честице која пролази кроз филтер под одређеним условима.



Слика 7.1 Површински филтери



Слика 7.2 Дубински филтери

Пошто обично радни флуид није довољно чист да би се директно применио у неком просечно осетљивом хидрауличком систему, препоручљиво је да се пуњење врши преко мобилних филтерских агрегата.

То су хидраулички уређаји, који се састоје из погонског дела да хидрауличком пумпом и филтерског елемента великог капацитета, чија се финоћа филтрирања поставља у складу са захтевима конкретне система.

Филтерски агрегати могу имати више фаза филтрирања (од грубљег ка финијем) чиме се постиже висока ефикасност.

На слици 7.3 приказана је примена мобилних агрегата за пуњење хидрауличких система и за секундарно филтрирање једног хидрауличног система (слика 7.4).



Слика 7.3 мобилни агрегат за пуњење хидрауличких система



Слика 7.4 секундарно филтрирање

Када је реч о наливним отворима са филтером, они су прилично једноставни и веома јефтини елементи хидрауличног система али имају изузетан утицај на чистоћу радног флуида и самим тим на експлоатациони век целог система.

Наливни филтер служи да елиминише нечистоће из новог радног флуида када се пуњење или доливање врши без филтерског агрегата. Када се систем налази у експлоатацији наливни отвор мора бити херметички затворен (сем ако истовремено не служи као отвор одушку). На сликама 7.5 и 7.6 може се видети наливни филтер односно филтер са поклопцем.



Слика 7.5 Наливни филтер



Слика 7.6 Филтер са поклопцем

За уклањање воде из уља користе се:

- Гравитациони сепаратори,
- Центрифугални сепаратори,
- Вакуумска дестилација и
- Полимерни фултери.

Слободна вода се из уља у принципу може издвајати гравитационо уколико се у систему обезбеди повољно место за то (таложни резервоари) и довољно дуго време за одвијање процеса. Свакако резултати зависе од специфичне тежине и вискозности уља, односно разлика ових карактеристика у односу на воду. При томе, треба имати у виду да раст температуре смањује ефекте примене овог поступка сепарације воде. Такође, њиме се не може елиминисати вода у емулгованом и раствореном стању. Ефектније издвајање слободне воде из уља у односу на гравитациони поступак омогућава центрифугално дејство у одговарајућим сепараторима.

У принципу воду из уља је могуће елиминисати загревањем уља до температуре које достижу 100 °С. Међутим, овакве температуре термички и оксидационо деградирају уље. Овај принцип елиминисања воде примењује се у вакуумским дестилаторима, али без штетних последица на карактеристике уља, јер се загревање врши постепено, а у условима вакуума редукује се тачка кључања воде.

За издвајање растворене и слободне воде из уља могу се користити и полимерни филтери. Ови филтери по свом дизајну одговарају конвенционалним, али користе филтерски медијум импрегниран полимерима веома велике апсорбционе способности. Полимери апсорбују слободну и емулговану воду и формирају гел који се скупља на филтерском медију. [2]

Последњих година развијени су специјални адитиви намењени редуковању негативних последица присуства воде у уљу. Заснивају се на различитим механизмима заштите од површинског замора контактних површина, као што су неутрализација водоникових јона и спречавање њихове реакције у површинским микропукотинама, стварање дугих ланаца угљоводоника за заштиту површина и спречавање апсорпције воде дејством детергента. Пример сепаратора дат је на слици 7.7.



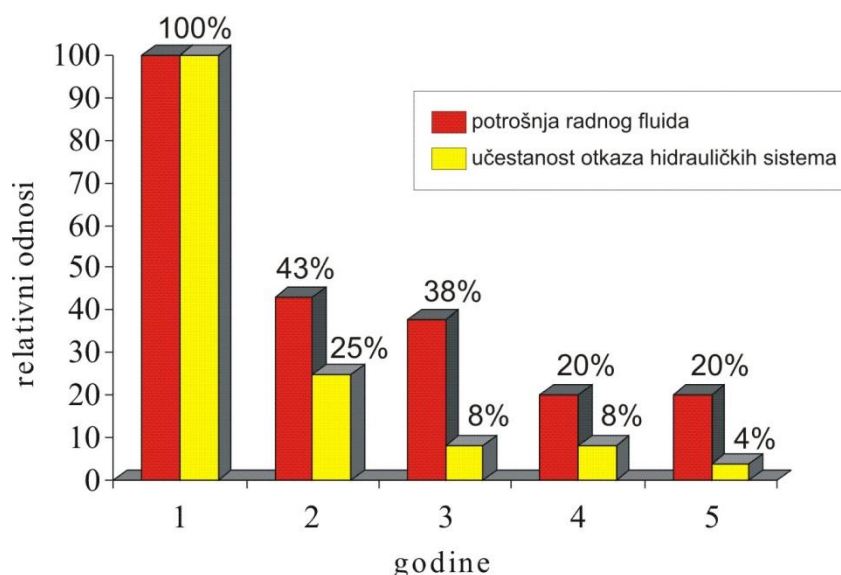
Слика 7.7 Сепаратори за издвајање воде из уља

8. ПРОАКТИВНО ОДРЖАВАЊЕ ХИДРАУЛИЧКИХ СИСТЕМА

Проактивни концепт не прихвата отказ као нормално и могуће решење, већ се спроводи низ адекватних мера да до отказа уопште не дође. Једноставно речено тежи се да сваки технички систем “води здрав живот” и да му се на тај начин максимално продужи век експлоатације.

Основни принцип у проактивном одржавању је идентификација и елиминација узрочника отказа. Јасно је да је контаминација радног флуида примарни ризик за правилан и дуговечан рад хидрауличног система и да њој треба посветити највећу пажњу. У најширем смислу речи контаминација радног флуида обухвата присуство чврстих честица, влаге, ваздуха, микроорганизама, хемикалија и промену његових физичко-хемијских особина.

На следећој слици 8.1 је дат пример уштеде увођењем система проактивног одржавања за 5 година примене.



Слика 8.1 Уштеде постигнуте увођењем система проактивног одржавања

Да би се увео у праксу концепт проактивног одржавања хидрауличких система потребно је спровести низ активности које се могу сврстати у три групе:

- утврђивање допуштеног нивоа контаминације радног флуида,
- спровођење активности у циљу достизања нивоа контаминације радног флуида и
- редовна контрола и одржавање достигнутог нивоа контаминације.

8.1 УТВРЂИВАЊЕ ДОПУШТЕНОГ НИВОА КОНТАМИНАЦИЈЕ РАДНОГ ФЛУИДА

Први корак у увођењу система проактивног одржавања представља утврђивање допуштеног нивоа контаминације радног флуида. Границе које се дефинишу односе се пре свега на основне проактивне параметре – концентрацију чврстих честица, присуство воде и вискозности радног флуида а затим и на све остале карактеристике радног флуида које указују на процесе који се одвијају у систему односно на деградацију и старење флуида.

Приликом дефинисања жељене чистоће радног флуида у погледу садржаја чврстих честица треба испоштовати следећу процедуру:

❖ Ниво чистоће се дефинише према **ISO 4406** стандарду. Основу за постављање вредности представља препорука произвођача за најосетљивију компоненту у систему.

Други фактор који има значајан утицај на ниво дозвољене контаминације радног флуида чврстим честицама јесте и максимални радни притисак у хидрауличком систему.

На слици 8.2 приказане су опште препоруке за нивое чистоће радног флуида у зависности од врсте хидрауличке компоненте и радног притиска.

❖ Даље подешавање примарног дефинисаног нивоа жељене чистоће врши се према карактеристикама радног флуида. У системима у којима се користе радни флуид који нису 100% минералног порекла, ниво чистоће се поставља за један степен ниже за сваку величину честица (17/15/13 постаје 16/14/12).

❖ На крају треба узети у обзир експлоатационе услове и значај хидрауличког система, односно последице које би отказ имао на целокупни технички процес. Уколико су у експлоатацији неког хидрауличког система присутна бар два од следећих услова, препоручује се постављање критеријума чистоће радног флуида за један степен ниже за сваку величину честице:

- Присуство хладног старта, при амбијеталним температурама нижим од -10°C,
- Повремен рад при температурама радног флуида већим од 70 °C,
- Повећане вибрације и удари при раду система,
- Велики значај конкретног система са аспекта одвијања комплетног технолошког процеса.

Pumpe radni pritisak, bar	< 210	210 - 300	>300
Zupčaste	20/18/15	19/17/15	18/16/13
Krilne, konstantne radne zapremine	20/18/15	19/17/14	18/16/13
Klipne, konstantne radne zapremine	19/17/15	18/16/14	17/15/13
Krilne, promenljive radne zapremine	19/17/15	18/16/14	17/15/13
Klipne, promenljive radne zapremine	18/16/14	17/15/13	16/14/12
Ventili radni pritisak, bar	< 210	>210	
razvodni ventili	20/18/15	19/17/14	
ventili za regulaciju pritiska	19/17/14	19/17/14	
strujni ventili	19/17/14	19/17/14	
ventili sigurnosti	20/18/15	20/18/15	
ugradni ventili	20/18/15	19/17/14	
regulacioni razvodni ventili	18/16/13	17/15/13	
ventili u sistemima za daljinsku kontrolu	18/16/13	17/15/13	
proporcionalni razvodni ventili	18/16/13	17/15/12	
proporcionalni pritisni ventili	18/16/13	17/15/12	
proporcionalni strujni ventili	18/16/13	17/15/12	
ugradni proporcionalni ventili	18/16/13	17/15/12	
servo ventili	16/14/11	15/13/10	
Motori i cilindri radni pritisak, bar	< 210	210 - 300	>300
hidraulički cilindri	20/18/15	20/18/15	20/18/15
krilni motori	20/18/15	19/17/14	18/16/13
klipno aksijalni motori	19/17/14	18/16/13	17/15/12
zupčasti motori	21/19/17	20/18/15	19/17/14
klipno radijalni motori	20/18/14	19/17/13	18/16/13

Слика 8.2 Препоручене вредности чистоће радног флуида

8.2 ДОСТИЗАЊЕ ДОПУШТЕНОГ НИВОА КОНТАМИНАЦИЈЕ РАДНОГ ФЛУИДА

Када се заврши поступак дефинисања допушеног нивоа контаминације за сваки појединачни хидраулички систем, активности се усмеравају ка достизању тог нивоа. Битно је нагласити да је, према светским искуствима, поступак елиминисања нечистоћа из хидрауличног система, десет пута скупљи од адекватних мера које спречавају да до контаминације уопште дође.

У том смислу треба предузети следећи низ активности, од којих свака за себе носи изразиту корист и сама себе отплаћује:

- Веома је битно да се одмах при постизању нових количина радног флуида изврши детаљно испитивање узорака у циљу раног уочавања евентуалних већих поремећаја до којих може доћи у процесу производње и транспорта.
- Врло се ретко дешава да се ново испоручени флуид одмах употребљава. То значи да у оквирима производног система треба обезбедити чување на начин који неће изазвати контаминацију.
- Свако нефункционално отварање посуда са радним флуидом, пресипање и мешање се апсолутно не препоручује.
- Пуњење хидрауличног система новим радним флуидом треба извести са посебном пажњом. Сваки контакт радног флуида са ваздуха представља потенцијални извор контаминације.
- Посебан проблем представља температура радног флуида и околине у којој систем ради. Превисока температура изазива снажне деградационе процесе у радном флуиду и у таквим случајевима се мора прибећи постављању система за хлађење.
- Све интервенције које подразумевају отварање хидрауличног система вршити пажљиво и у што је могуће чистијим условима.

8.3 КОНТРОЛА И ОДРЖАВАЊЕ ДОПУШТЕНОГ НИВОА КОНТАМИНАЦИЈЕ РАДНОГ ФЛУИДА

Када се мерама појачане заштите и побољшањем система филтрирања достигне допуштени ниво контаминације радног флуида, прелази се на активности редовне контроле и одржавања достигнутог нивоа.

Приликом успостављања програма морају се дефинисати одговори на следећа важна питања, која директно утичу на ефикасност и на уштеде које ће се постићи:

- инструменти и методе испитивања,
- однос између лабораторијских и "on site" испитивања,
- процедура испитивања и
- временски рокови за спровођење испитивања.

9. УЗОРКОВАЊЕ УЉА У ФАБРИЦИ

Циљ ових узорковања јесте да се узоркују уља са оних машина у фабрици за које се сматра да су веома важне у процесу производње, ако не директно, онда индиректно, затим да се уље односе на испитивање које се врши одређивањем величине честица (контаминената) у уљу по стандарду ISO 4406, и на крају ако је то потребно (ако је превелик бој честица у уљу) и на микроскопско испитивање којим ће се установити шта је тачно узрок толиког броја честица у уљу.

Узорковање уља се извршило на:

- Машины за грубо извлачење бакра (флашица бр.1)
- Машины за превлачење каблова оловом (флашица бр.2), и
- Машины за наношење гуме на каблове (флашица бр.3).

Разлог што се баш узорковало уље на овим машинама је као што је пре напоменуто у тексту, због важности те машине за производњу али и због тога што је у блиској прошлости особље одржавања имало велике проблеме због сталних кварова и ломова делова машина у виду зупчаника, лежајева и сличног. Још један ваљан разлог који је мало мање битан је и да се у последње време није правилно мењало уље, пре свега се није контролисала његова количина и стање у систему. Узорковано уље се може видети на слици 9.1.



Слика 9.1 Узорковано хидрауличко уље

Као што се може видети на следећим сликама узорковање уља се извршило на најједноставнији начин а то је медицинским шприцем и цревом које је је намонтирано на шприц. Суштина узорковања је да се једноставно шприц напуни уљем а затим се уље депонује у флашицу која је пре тога стерилисана. Наравно и шприц и црево морају бити чисти и некоришћени јер у супротном не би се добили валидни и реални резултати. Због тога су се при сваком узорковању уља користили нов шприц и црево како не би дошло до контаминације уља при узорковању.

9.1 УЗОРКОВАЊЕ УЉА ИЗ МАШИНЕ ЗА ГРУБО ИЗВЛАЧЕЊЕ БАКРА

На слици 9.2 може се видети узорковање хидрауличког уља из машине за прераду бакра. Ова машина је једна од најбитнијих машина у фабрици јер извлачи бакарну жицу која је главна сировина у производњи каблова поред алуминијума и због тога редовно се мора мењати уље како не би дошло до нежељених проблема изазваних лошим уљем.



Слика 9.2 Узорковање хидрауличког уља из машине за грубо извлачење бакра

9.2 УЗОРКОВАЊЕ УЉА ИЗ МАШИНЕ ЗА ПРЕВЛАЧЕЊЕ КАБЛОВА ОЛОВОМ

На слици 9.3 може се видети узорковање хидрауличког уља из машине за превлачење каблова оловом. Машина служи за додавање танког слоја олова на каблове ради заштите каблова од утицаја спољашње средине. Машина за превлачење каблова оловом је једна од веома битних машина јер велики проценат производње каблова од укупне производње не би могао да се користи без ове заштитне превлаке, и због тога се редовно мора испитивати уље како не би дошло до отказа неког елемента машине узрокованим лошим одржавањем уља.



Слика 9.3 Узорковање хидрауличког уља из машине за превлачење каблова оловом

9.3 УЗОРКОВАЊЕ УЉА ИЗ МАШИНЕ ЗА НАНОШЕЊЕ ГУМЕ НА КАБЛОВЕ

На слици 9.4 може се видети узорковање хидрауличног уља из машине за наношење гуме на каблове. Машина служи за умрежавање (прављење) гуме са додавањем разних адитива ради побољшавања њених особина и добијања жељених карактеристика. Без правилног подмазивања дошло би до нежељених последица које аутоматски утичу на саму производњу гумених каблова. На слици се може видети величина ове машине и она је једна од највећих машина у фабрици. Зато је веома битна редовна контрола уља и правилно одржавање миксера.



Слика 9.4 Узорковање хидрауличног уља из машине за наношење гуме на каблове

10. ИСПИТИВАЊЕ УЉА

Када се завршило са узорковањем уља на сликама које су претходно приказане, узорци су однети на факултет где је извршена анализа уља (која мери број и величину честица по стандарду ISO 4406) на следећем уређају који се види на слици 10.1.



Слика 10.1 Уређај за испитивање величине и количине честица у уљу

У левом и десном углу се налази по један мали монитор. Десни монитор показује резултате у виду стандарда ISO 4406 тј, број честица за четири вредности ($> 4\mu\text{m}$, $> 6\mu\text{m}$, $> 12\mu\text{m}$, $> 20\mu\text{m}$) док леви монитор приказује дијаграм тих вредности, температуру и количину воде у уљу у зависности од времена. Када се заврши са испитивањем резултати се могу електронски пренети на рачунар преко USB улаза.

На слици 10.2 приказан је поступак испитивања уља тако што се уље из флашице доводи у уређај. Принцип је једноставан тако што се у флашицу стави крај цева које усисава и испушта уље помоћу пумпе које видимо на слици. Уље се тако одводи у уређај које га испитује и поново враћа у флашицу и све тако изнова док не прође неки временски период и добију неки резултати.



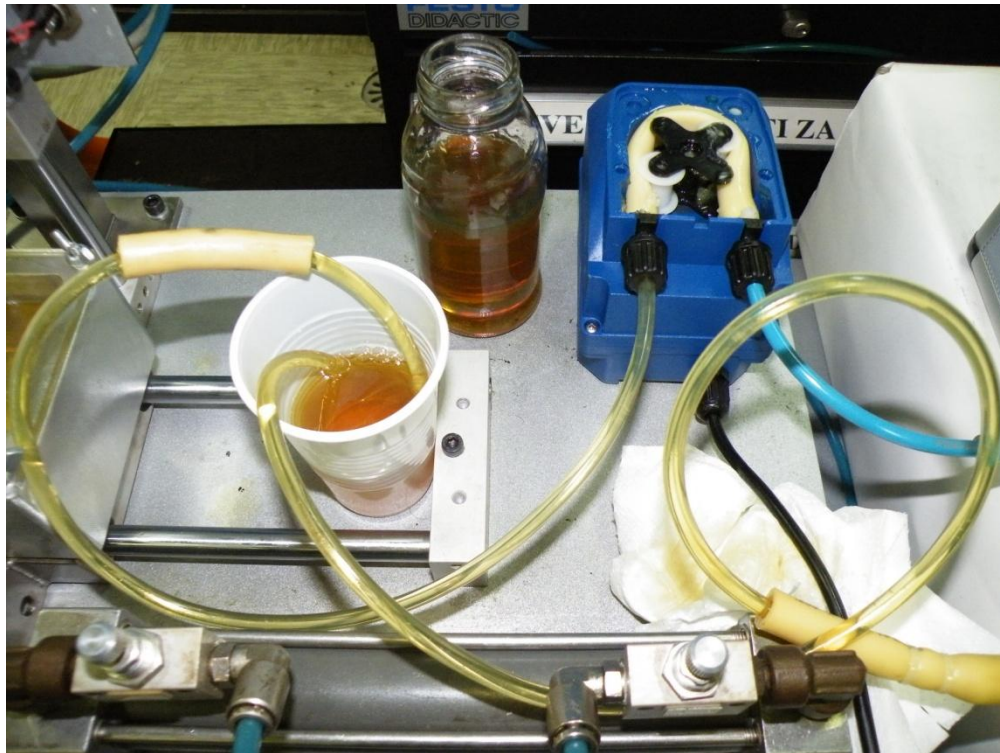
Слика 10.2 Уливање уља у уређај

Када се заврши са испитивањем једног уља, систем тј. цева и пумпа се морају очистити за следеће испитивање како се не би угрозила тачност мерења. То се може урадити на више начина као што је постављање филтера на систем (слика 10.3) или још једноставнија метода је пуштање новог уља кроз систем.



Слика 10.3 Механизам за издвајање честица из уља - филтер

Метода која је спроведена у овом случају ради чишћења система од претходног уља је испирање система новим уљем. Једноставно се ново уље које је бољег квалитета и чистије од испитиваног, пусти кроз систем и тај начин се очисти систем. Тај поступак може се видети на слици 10.4



Слика 10.4 Испирање система новим (чистијим) уљем

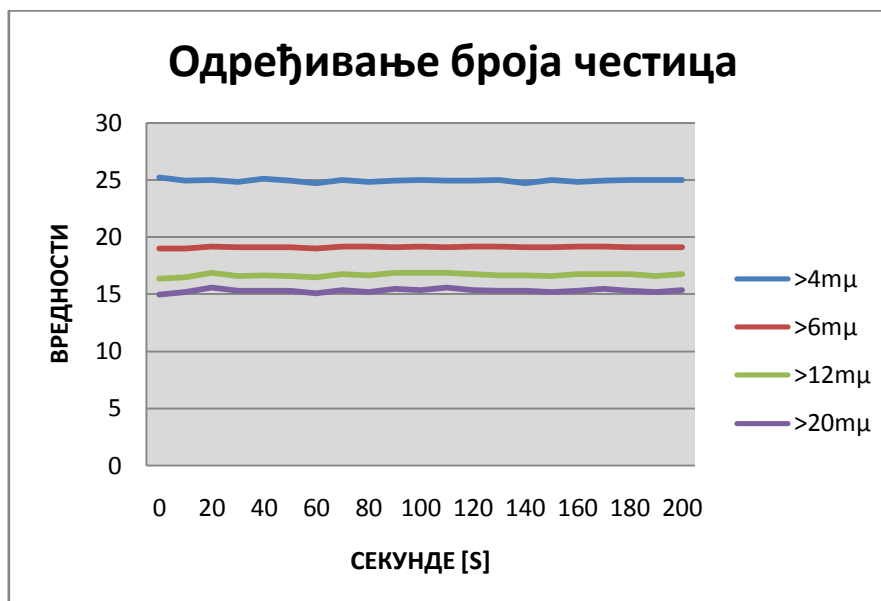
Када се заврши са овим поступком, добијени резултати могу се показати на дијаграмима где се може видети и температура уља и количина воде коју садржи уље и наравно сви резултати се могу узети и пренети на рачунар преко USB улаза где се могу правити разни дијаграми и табеле ради боље анализе уља.

У табели 10.1 (машина за грубо извлачење бакра) можемо видети број честица за све четири димензије честица, температуру уља и проценат воде у уљу на сваких десет секунди мерења.

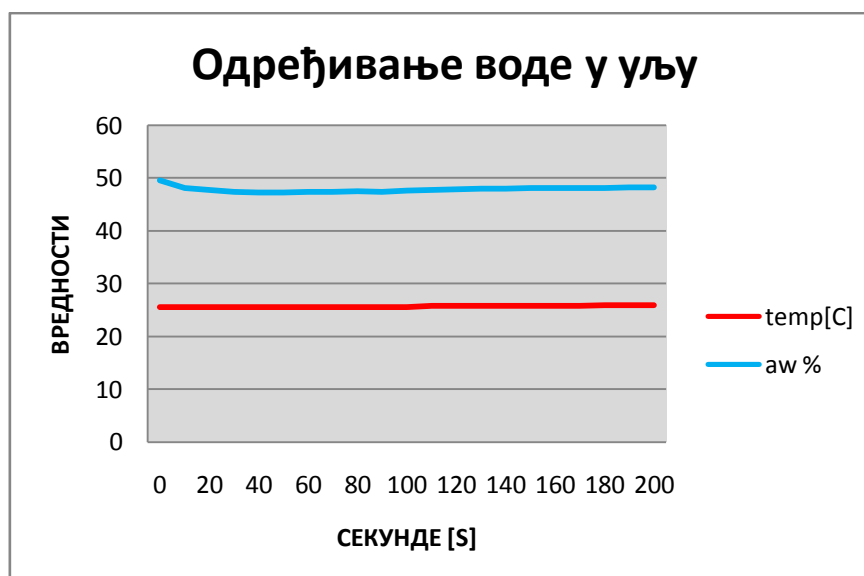
s	>4mμ	>6mμ	>12mμ	>20mμ	temp[C]	aw %
0	25.2	19	16.4	15	25.57	49.55
10	24.9	19	16.5	15.2	25.57	48.15
20	25	19.2	16.9	15.6	25.57	47.77
30	24.8	19.1	16.6	15.3	25.57	47.38
40	25.1	19.1	16.7	15.3	25.57	47.26
50	24.9	19.1	16.6	15.3	25.57	47.26
60	24.7	19	16.5	15.1	25.57	47.38
70	25	19.2	16.8	15.4	25.57	47.38
80	24.8	19.2	16.7	15.2	25.57	47.51
90	24.9	19.1	16.9	15.5	25.57	47.38
100	25	19.2	16.9	15.4	25.57	47.64
110	24.9	19.1	16.9	15.6	25.73	47.77
120	24.9	19.2	16.8	15.4	25.73	47.89
130	25	19.2	16.7	15.3	25.73	48.02
140	24.7	19.1	16.7	15.3	25.73	48.02
150	25	19.1	16.6	15.2	25.73	48.15
160	24.8	19.2	16.8	15.3	25.73	48.15
170	24.9	19.2	16.8	15.5	25.73	48.15
180	25	19.1	16.8	15.3	25.89	48.15
190	25	19.1	16.6	15.2	25.89	48.24
200	25	19.1	16.8	15.4	25.89	48.24

Табела 10.1 Вредности контаминације машине за грубо извлачење бакра

При испитивању уља које је узорковано из система машине за грубо извлачење бакра добијени су следећи резултати који су приказани на дијаграму (слика 10.5). Као што се види на дијаграму, највише су присутне честице реда величине већих од 4 μm , а најмање честице величине већих од 20 μm . На основу добијених резултата долази се до закључка да је потребна филтрација филтерима мале финоће која би се обавила за кратко време али и без филтрације ово уље се може користити без проблема у индустрији. На слици 10.6 може се видети зависност воде у уљу у односу на температуру.



Слика 10.5 Дијаграм контаминације уља машине за грубо извлачења бакра



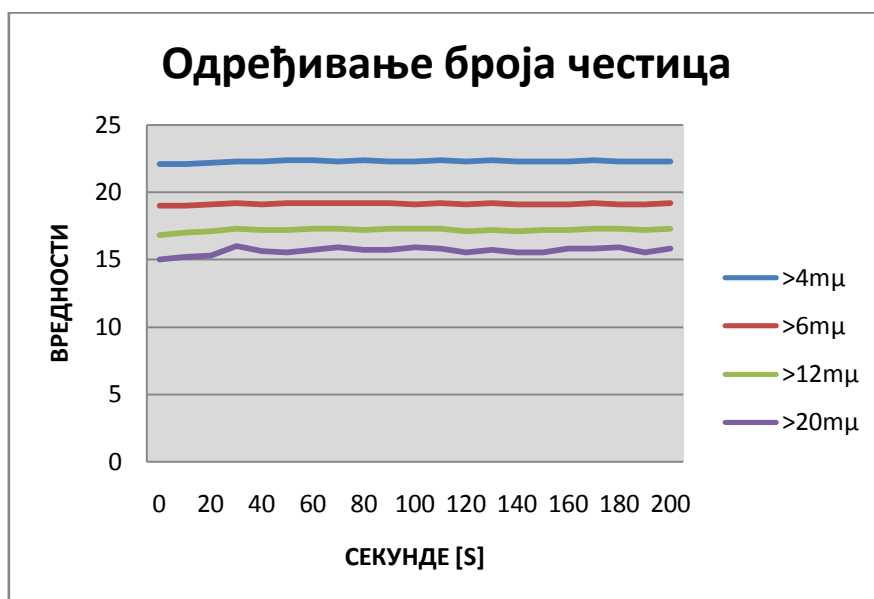
Слика 10.6 Дијаграм зависности воде у уљу у односу на температуру

У табели 10.2 (машина за превлачење каблова оловом), може се видети број честица за све четири димензије честица, температуру уља и проценат воде у уљу на сваких десет секунди мерења.

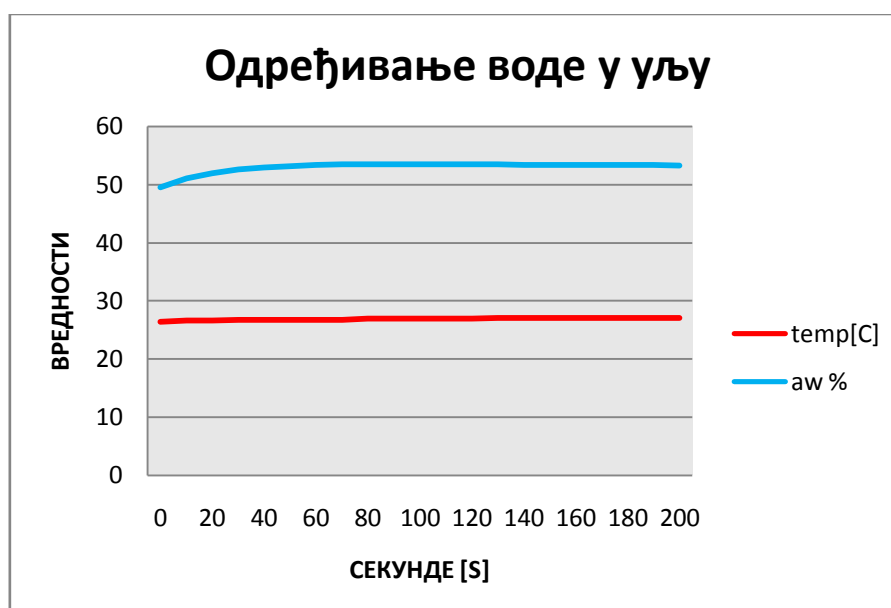
s	>4 μ	>6 μ	>12 μ	>20 μ	temp[C]	aw %
0	22.1	19	16.8	15	26.36	49.55
10	22.1	19	17	15.2	26.52	51.07
20	22.2	19.1	17.1	15.3	26.52	51.96
30	22.3	19.2	17.3	16	26.68	52.6
40	22.3	19.1	17.2	15.6	26.68	52.98
50	22.4	19.2	17.2	15.5	26.68	53.11
60	22.4	19.2	17.3	15.7	26.68	53.36
70	22.3	19.2	17.3	15.9	26.68	53.49
80	22.4	19.2	17.2	15.7	26.84	53.49
90	22.3	19.2	17.3	15.7	26.84	53.49
100	22.3	19.1	17.3	15.9	26.84	53.49
110	22.4	19.2	17.3	15.8	26.84	53.49
120	22.3	19.1	17.1	15.5	26.84	53.49
130	22.4	19.2	17.2	15.7	27	53.49
140	22.3	19.1	17.1	15.5	27	53.36
150	22.3	19.1	17.2	15.5	27	53.36
160	22.3	19.1	17.2	15.8	27	53.36
170	22.4	19.2	17.3	15.8	27	53.36
180	22.3	19.1	17.3	15.9	27	53.36
190	22.3	19.1	17.2	15.5	27	53.36
200	22.3	19.2	17.3	15.8	27	53.23

Табела 10.2 Вредности контаминације машине за превлачење каблова оловом

При испитивању уља које је узорковано из система машине за превлачење каблова оловом добијени су најбољи резултати што се тиче количине честица од 3 узорка који су мерени, и који су приказани на дијаграму (слика 10.7). Може се рећи да је ово уље на основу искуства о уљима које се користи у нашој индустрији добро и може се без проблема користити. Наравно, ово уље би се требало филтрирати филтерима мале финоће и за врло кратко време би могло да се исфилтрира на ниво чистоће који је бољи него када је било ново уље. На слици 10.8 се може видети зависност воде у уљу у односу на температуру.



Слика 10.7 Дијаграм контаминације уља машине за превлачење каблова оловом



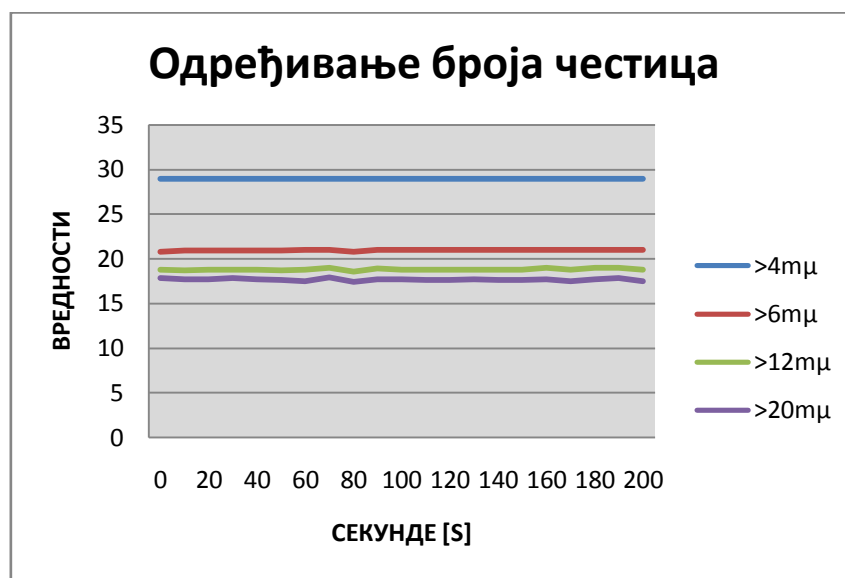
Слика 10.8 Дијаграм зависности воде у уљу у односу на температуру

У табели 10.3 (машина за наношење гуме на каблове), може се видети број честица за све четири димензије честица, температуру уља и проценат воде у уљу на сваких десет секунди мерења.

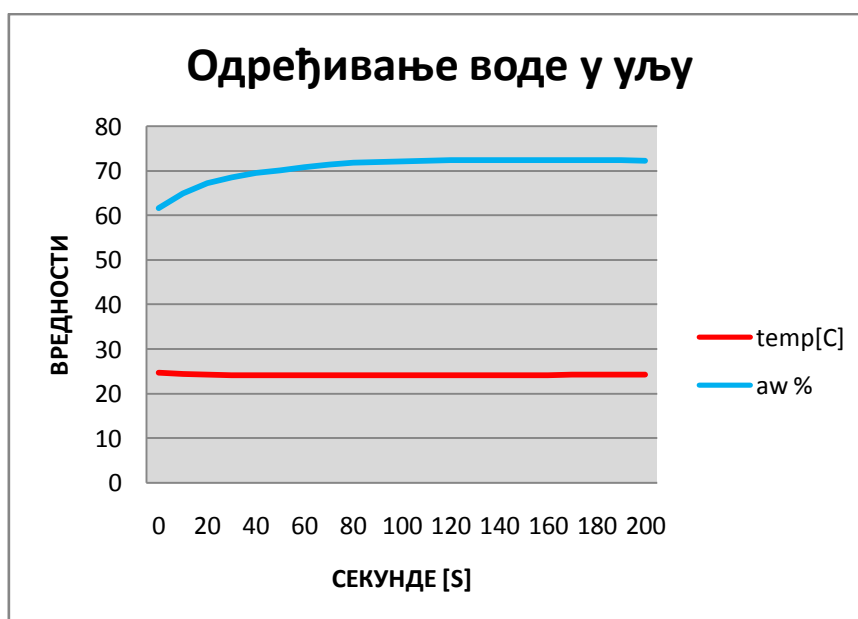
s	>4mμ	>6mμ	>12mμ	>20mμ	temp[C]	aw %
0	29	20.8	18.8	17.8	24.77	61.56
10	29	20.9	18.7	17.7	24.45	64.87
20	29	20.9	18.8	17.7	24.3	67.16
30	29	20.9	18.8	17.8	24.14	68.43
40	29	20.9	18.8	17.7	24.14	69.45
50	29	20.9	18.7	17.6	24.14	70.08
60	29	21	18.8	17.5	24.14	70.72
70	29	21	19	17.9	24.14	71.35
80	29	20.8	18.6	17.4	24.14	71.73
90	29	21	18.9	17.7	24.14	71.99
100	29	21	18.8	17.7	24.14	72.12
110	29	21	18.8	17.6	24.14	72.24
120	29	21	18.8	17.6	24.14	72.37
130	29	21	18.8	17.7	24.14	72.37
140	29	21	18.8	17.6	24.14	72.37
150	29	21	18.8	17.6	24.14	72.37
160	29	21	19	17.7	24.14	72.37
170	29	21	18.8	17.5	24.3	72.37
180	29	21	19	17.7	24.3	72.37
190	29	21	19	17.8	24.3	72.37
200	29	21	18.8	17.5	24.3	72.24

Табела 10.3 Вредности контаминације машине за наношење гуме на каблове

Када је реч о узоркованом уљу из машине за наношење гуме на каблове добијени резултати нису добри и добијени су најлошији резултати од укупно 3 система из којих је узорковано уље. Као што се види на дијаграму (Слика 10.9) број честица већих од $4\mu\text{m}$ је веома велик и ово уље би морало да се филтрира филтерима велике финоће како би се уље очистило и довело на жељени квалитет. Ово уље би требало да се испита и под неким микроскопом како би се утврдио разлог овако великог броја честица у уљу. На слици 10.10 може се видети зависност воде у уљу у односу на температуру.



Слика 10.9 Дијаграм контаминације уља машине за наношење гуме на каблове



Слика 10.10 Дијаграм зависности воде у уљу у односу на температуру

11. АНАЛИТИЧКА ФЕРОГРАФИЈА

Испитивање уља микроскопом своди се на издвајању појединачних честица из уља и детаљној микроскопској анализи њихових облика, величине, структуре, текстуре и састава у циљу одређивања њиховог порекла и узрока настајања. Ово омогућава добијање изузетно значајних информација по врстама и интензитету триболошких процеса у посматраном техничком систему. На тај начин се добија такозвани фεροграм-слајд са депозитом феромагнетних и неферомагнетних честица који је предмет даљих анализа.



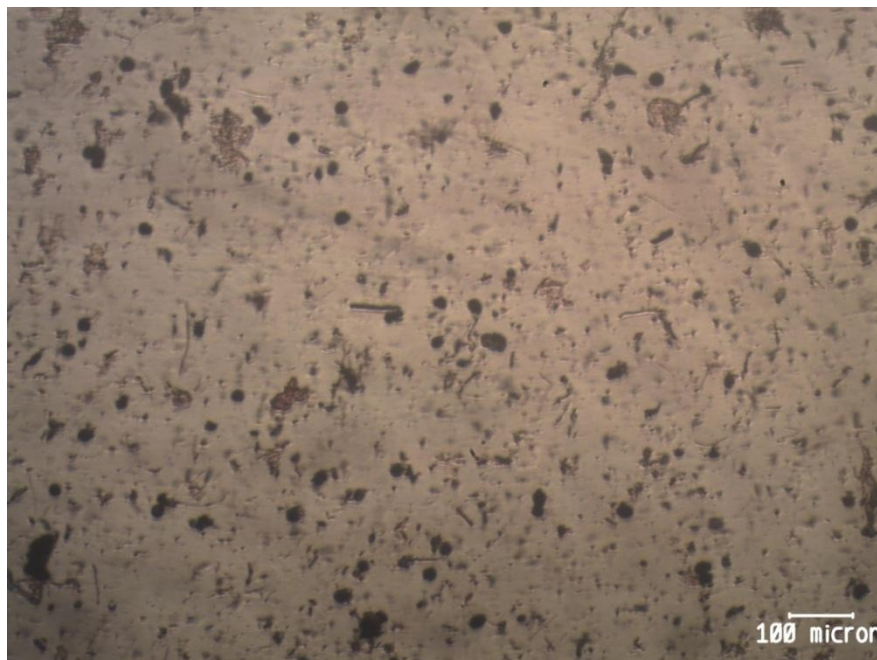
Слика 11.1 Микроскоп

На слици 11.1 може се видети микроскоп на којем се испитивало уље узорковано из машине за наношење гуме на каблове. Разлог испитивања овог уља је то што су се при испитивању броја и величина честица добили најлошији резултати и потребно је открити ако је могуће узрок толико лоших резултата.

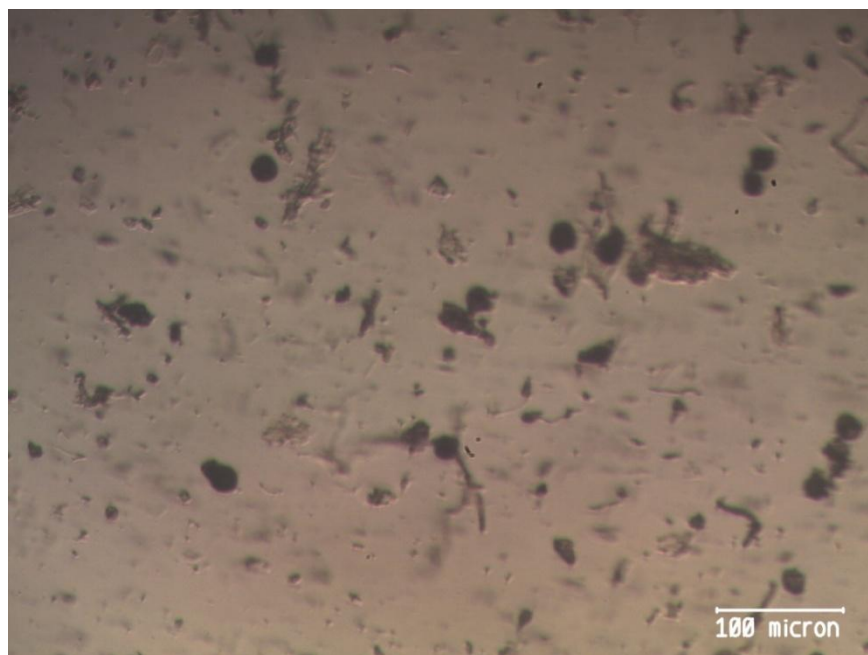
Поступак испитивања се спроводи тако што се на стакленој плочици размаже мала количина контаминираног уља и стави на микроскоп где се честице увећају (могуће је до 1000x) и сликају.

На следећим сликама могу се видети резултати узоркованог уља из машине за наношење гуме на каблове, добијени микроскопском анализом. Резултати су представљени у 2 размере као што се може видети на следећим сликама 11.2 и 11.3.

Ове слике међутим нису довољно увећане да би се одредио узрок настанка честица и извор контаминације овог уља, тако да су се ове слике још увећале.



Слика 11.2 Микроскопски снимак уља машине за наношење гуме на каблове

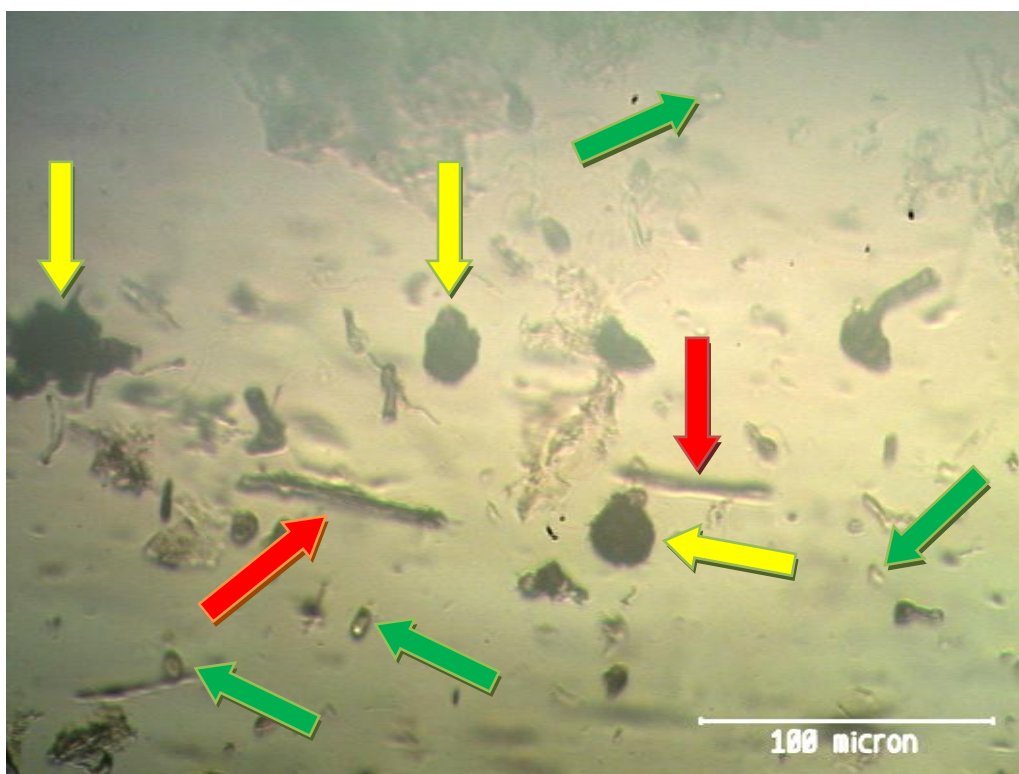


Слика 11.3 Микроскопски снимак уља машине за наношење гуме на каблове
(дупло увећан у односу на претходну слику)

На слици 11.4 може се водети микроскопски снимак уља машине за наношење гуме на каблове и облици хабања и контаминације овог уља.

Ради лакшег препознавања облика хабања и контаминације стављене су стрелице са раличим бојама и свака од боја представља:

-  Честице ситног песка
-  Крупније честице прашине
-  Интезивно хабање при клизању
(равне издужене честице веће од 20 μm)



Слика 11.4 Одређивање облика хабања и контаминације уља

Највећи проблем на овој слици су наравно равне издужене честице веће од 20 μm које су последице интезивног хабања. Узроци оваквог хабања је недовољно подмазивање машине односно подмазивање се не врши редовно и могуће је и да је уље за подмазивање мање вискозности него што би требало да буде. При овим узроцима долази до недовољног подмазивања двеју контактних површина и самим тим долази до хабања при клизању површина.

Овде су још и присутне честице прашине и песка које наравно нису пожељне али не представљају велики проблем јер би се филтрацијом уља оне уклониле.

Када је реч о решавању интезивног хабања при клизању, то се може решити редовним подмазивањем машине и коришћењем уља веће вискозности и уља које садрже адитиве за повећање издржљивости уља на повишеним температурама.

12. ПРЕДЛОГ ПЛАНА ОДРЖАВАЊА И ПОДМАЗИВАЊА МАШИНА

После сагледаног стања одржавања и подмазивања машина у фабрици Холдинг Каблови Јагодина и пошто се дошло до закључка да се не води довољна пажња о одржавању машина и да постоји проблем када је у питању чистоћа уља, потребно је да се озбиљно приступи овом проблему и направи план одржавања и подмазивања машина.

План одржавања машина би обухватио све методе одржавања а то су:

- Корективно одржавање
- Превентивно одржавање
- Проактивно одржавање.

Корективно одржавање би се спровело одмах по усвојеном плану тако што би се пруступило поправци делова који више не функционишу правилно и замени оних који нису ни за поправку, комплетно чишћење радне средине како не би уље било у опасности од контаминације и наравно постављање филтера за пречишћавање контаминираних уља као што су:

- Површински филтери и
- Дубински филтери.

Укупан процес корективног одржавања укључује још и:

- Инспекцију пријављеног проблема
- Откривање узрока застоја и његово решавање и
- Израду одговарајуће документације и извештавање о обављеним активностима.

Наравно корективно одржавање би се применило само на почетку спровођења новог плана. Затим би се прешло на превентивно одржавање машина како би се спречио било какав отказ узрокован лошим уљем.

Када је реч о превентивном одржавању машина са аспекта подмазивања обратила би се пажња на:

- мониторингу уља,
- редовној промени уља при малој промени чистоће,
- испитивању стања уља како би се решио евентуални проблем.

Један од два битна проблема одржавања машина са аспекта подмазивања јесте контаминација уља из околине јер се машине не чисте адекватно и ствара се велика прљавштина која за врло кратко време приликом провере уља и сипања новог уља брзо доспе у систем и долази до контаминације. Прво што би требало да се уради јесте да се комплетно очисти радна средина па тек онда да се крене са редовним праћењем и одржавањем уља.

Други битан проблем односи се на препоручене вредности чистоће радног флуида у зависности на притисак у разним деловима машина које не задовољавају препоручене вредности које се сматрају добрим, тако да би се ова метода одржавања подмазивања морала озбиљније схватити.

Наравно све ово би много било лакше у сарадњи са радницима који раде на тим системима јер је њихово искуство рада на овим машинама од пресудног значаја за одржавање.

И на крају ако би се стекли услови, прешло би се и на проактивно одржавање то јест, конкретно на одређивање узрочника повећања присуства честица у уљу или повећања садржаја воде у уљу.

13. ЗАКЉУЧАК

При употреби мазива битно је одабрати исправно мазиво и одржавати га чистим, свежим и без присуства влаге. У пракси, то повлачи за собом бројне технологије и правила које осигуравају испуњење претходних услова, а што у знатној мери зависи од врсте апликације и њене специфичности. То подразумева одабир исправног базног уља, исправне вискозности и исправних адитива за одговарајућу намену. Такође, нужно је водити рачуна о запрљању уља са аспекта удела воде и честица што може имати изразито штетне ефекте на радни век техничког система.

Деградација мазивних уља може настати пре експлоатације, контаминацијом на релацији од произвођача до корисника, у току транспорта, складиштења или претакања и то некада до степена неупотребљивости.

У току употребе мењају се физичко-хемијске особине мазива. Брзина деградације зависи од укупних услова под којима се одвијају триболошки процеси.

За утврђивање степена деградације користе се лабораторијске анализе, на основу којих се доноси одлука да ли је уље за даљу употребу или се мора заменити. У случају да макар једна карактеристика изађе из дозвољених граница уље се мора заменити.

Исправно одржавање мазива повећава радну способност техничког система, продужава његов радни век као и век мазива. Откази техничког система су смањени, као и трошкови поправке. Такође, умањени су трошкови набавке мазива и његовог складиштења.

Данас се за дијагностиковање трибомеханичког система примењују различите физичко хемијске методе и триболошке методе. Искуства из експлоатације техничких система су показала да је прогнозирање неисправности најефикасније на основу параметара који су поузданости показатељи процеса хабања-честица које настају хабањем. Мазиво је, као контактни елемент трибомеханичког система, носилац информација о стању целог система са аспекта триболошких и других процеса старења.

Што се тиче одржавања уља у фабрици, долази се до закључка да се неправилно одржава уље, да се не води довољна брига о чистоћи радне средине која је једна од главних узрочника контаминације уља.

После испитивања и анализе уља дошло се до закључка да се мора увести филтрација уља која се очигледно не користи у системима, како би се квалитет уља довео на жељени ниво. Наравно много тога ће зависити и од финансија којим располаже фабрика за производњу каблова, јер би се требало уложити у систем филтрирања уља.

Испитивано уље је показало да садржи повећан број честица и одређен садржај влаге у уљу и да би се у скорије време требало озбиљно позабавити овим проблемом.

За сада је одржавање уља у фабрици углавном корективно то јест уље се не мења док се у потпуности не истроше адитиви, не промене главне карактеристике као што су вискозност, густина, боја и друге. Тек када уље постане потпуно неупотребљиво, оно се мења и оваквим неправилним одржавањем чести су откази машина и самим тим скраћује се животни век делова који трпе последице лошег подмазивања и квалитета уља.

Решење се налази у превентивном одржавању уља што би се свело на стални мониторинг уља, честе замене и испитивања и унапређивања самог начина одржавања. Тиме би се постигли ређи откази делова машина и самим тим ређе поправке које би одузимале ефективне радне сате производње а и велика би уштеда била наравно и у новцу.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Тодоровић П., Јеремић Б., Мачужић И. : *Техничка дијагностика*, Машински факултет Крагујевац 2009.
- [2] Бабић М. : *Мониторинг уља за подмазивање*, Машински факултет Крагујевац 2004.
- [3] Савремене методе анализе уља у техничким системима, чланак катедра војних машинских система, Београд 2012
- [4] www.rgf.bg.ac.rs, приступљено у мају 2012
- [5] <http://www.scribd.com/doc/86094551/Tehnicka-dijagnostika-Ispitivanje-ulja>, приступљено у мају 2012