

# ÖLJYVOIDELTUIJEN LAITTEIDEN KÄYNNINAIKAINEN KUNNONVALVONTA

Tervo Tero

Opinnäytetyö  
Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

2022

Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Tero Tervo	Vuosi	2022
<b>Ohjaaja</b>	DI Petri Kesälahti		
<b>Toimeksiantaja</b>	Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Työn nimi</b>	Öllyvoideltujen laitteiden kunnonvalvonta	käynninaikainen	
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	46 + 4		

---

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Kittilän kaivoksen rikastamon kriittisten voiteluöljyjärjestelmien käynninaikaisten kunnonvalvontalaitteistojen nykytila ja niiden mahdollinen kehitys. Työn tavoitteena oli määrittää ISO 4406:2021 -standardin mukaiset puhtausluokitukset öljyjärjestelmien käynninaikaisiin kunnonvalvontajärjestelmiin, luoda niiden perusteella laitekohtaiset hälytysarvot prosessinohjausjärjestelmään ja tarkastaa käynninaikaisten kunnonvalvontalaitteistojen nykytila ja niiden mahdollinen kehitys. Opinnäytetyön aihealue rajattiin laitekohtaisesti koskemaan rikastamon SAG- ja kuulamylyn voitelujärjestelmiä, sekä autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikoiden voitelujärjestelmiä.

Opinnäytetyön toteutustapa oli konstrukttiivinen. Tutkimusmenetelmänä käytettiin laadullista tutkimustapaa, jossa hyödynnettiin aiheeseen liittyvää kirjallisuutta ja laitetoimittajien dokumentteja. Aineiston keräämisessä apuna oli Lapin korkeakoulukirjasto ja tiedonhakuja tehtiin myös WWW- sivuilta.

Tulokseksi saatiin ISO 4406:2021 -standardin mukaiset puhtausluokitusarvot rajatuille laitteille. Saatujen puhtausluokitusarvojen perusteella prosessinohjausjärjestelmään määritettiin laitekohtaiset hälytysarvot. SAG- ja kuulamylyllä olevat öljyn kunnonvalvontalaitteistot olisi hyvä päivittää uudempiin ja tarkempiin versioihin.

Avainsanat

ISO 4406, kunnonvalvonta, käynninaikainen, puhtausluokitus, öljy

Mechanical Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Tero Tervo	Year	2022
<b>Supervisor</b>	Petri Kesälähti, M.Sc. (Tech)		
<b>Commissioned by</b>	Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Subject of thesis</b>	In-Service Condition Monitoring of Oil-Lubricated Equipment		
<b>Number of pages</b>	46 + 4		

---

The purpose of this thesis was to find out the current condition and possible development of the in-service condition monitoring equipment of the critical oil-lubrication systems in the mill of Kittilä mine. The aim of this thesis was to determine the purity classifications according to the ISO 4406:2021 Hydraulic fluid power — Fluids — Method for coding the level of contamination by solid particles for in-service condition monitoring of oil-lubricated systems, to create device-specific alarm values for the process control system and to check the current condition and possible development of in-service condition monitoring equipment. In-service oil condition monitoring equipment would further improve the usability and reliability of the equipment. The subject area of the thesis was limited to the lubrication systems of the mill's SAG and ball mill, as well as the lubrication systems of the gearboxes of the autoclave mixers.

The implementation of the thesis was constructive. The research method used was a qualitative research method, which utilized the relevant literature and equipment supplier's documents. The Lapland University Library assisted in collecting the material, and information was also searched on the website.

The result of this thesis was the purity classification values according to ISO 4406: 2021 standard for limited equipment. Based on the purity rating values obtained, device-specific alarm values were assigned to the process control system. The oil condition monitoring equipment at the SAG and ball mill should be upgraded to newer and more accurate versions.

Mechanical Engineering  
Bachelor of Engineering

Key words                      ISO 4406, condition monitoring, in-service, purity classification, oil

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	9
2	AGNICO EAGLE MINES LIMITED .....	10
2.1	Historia.....	10
2.2	Agnico Eagle Finland Oy .....	11
3	TOIMINTOPAIKKA .....	14
3.1	Kittilän Kaivos .....	14
3.2	Rikastamo.....	14
4	TUTKIMUSKOHTEET .....	16
4.1	SAG-mylly.....	16
4.2	Kuulamyly .....	22
4.3	Autoklaavi .....	23
5	KUNNOSSAPITO .....	24
5.1	Kunnossapidon määritelmät .....	24
5.2	Kunnossapidon tavoitteet.....	25
6	ÖLJYN PUHTAUSLUOKAT, VESIPITOISUUS JA EPÄPUHTAUDET .....	27
6.1	Puhtausluokat .....	27
6.2	Suhteellinen kosteusprosentti ja viskositeetti.....	29
6.3	Kulumismetallit.....	29
7	ÖLJYLAITTEIDEN PERINTEINEN KUNNONVALVONTA ÖLJYANALYYSILLÄ .....	31
7.1	Perinteinen kunnonvalvonta öljyanalyysillä.....	32
7.2	Laboratoriomenetelmät .....	32
8	ÖLJYLAITTEIDEN KÄYNNINAIKAINEN KUNNONVALVONTA ÖLJYANALYYSILLÄ .....	34
8.1	Mittausmenelmät ja toimintaperiaatteet .....	35
8.2	Automaatiojärjestelmä .....	38
9	PUHTAUSLUOKITUKSIEN RAJA-ARVOT.....	40
9.1	SAG- ja kuulamyly .....	41
9.2	Autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikot .....	42

10POHDINTA .....	43
LÄHTEET.....	44
LIITTEET .....	47

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivoksen rikastamon kunnossapitopäällikköä Kimmo Haataista mielenkiintoisesta ja hyvästä opinnäytetyön aiheesta. Kiitos myös ohjaavalle opettajalle Petri Kesälahdelle hyvästä opastuksesta ja ohjauksesta.

Sodankylässä 22.2.2022

Tero Tervo

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

\$	Yhdysvaltain dollaria
Ao.	Asianomainen
SAG	Semi-autogenous
ISO	International Organization for Standardization
VG	Viscosity Grade
Oz tr	Troy-unssi. 1 oz tr = 31.10g. Jalometallin massa
GTK	Geologian tutkimuskeskus



## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana on Agnico Eagle Finland Oy Kittilän kaivos. Työn tarkoitus on selvittää Kittilän kaivoksen rikastamon kriittisten voiteluöljyjärjestelmien käynninaikaisen kunnonvalvonnan nykytila ja mahdollinen kehitys.

Työn tavoitteena on laatia ISO- standardin mukaiset puhtausluokitukset ja raja-arvot öljyn käynninaikaiseen kunnonvalvontaan, luoda laitekohtaiset hälytysrajat prosessinohjausjärjestelmään, tarkastella käynninaikaisen kunnonvalvontalaitteiston nykytila ja sen mahdollinen kehitys. Määriteltujen raja-arvojen avulla prosessinohjausjärjestelmästä saadaan automaattisesti hälytys, mikäli öljyissä tapahtuu poikkeavaa. Öljyn käynninaikaisen kunnonvalvonnan avulla laitteiden käytettävyys ja luotettavuus paranee entisestään.

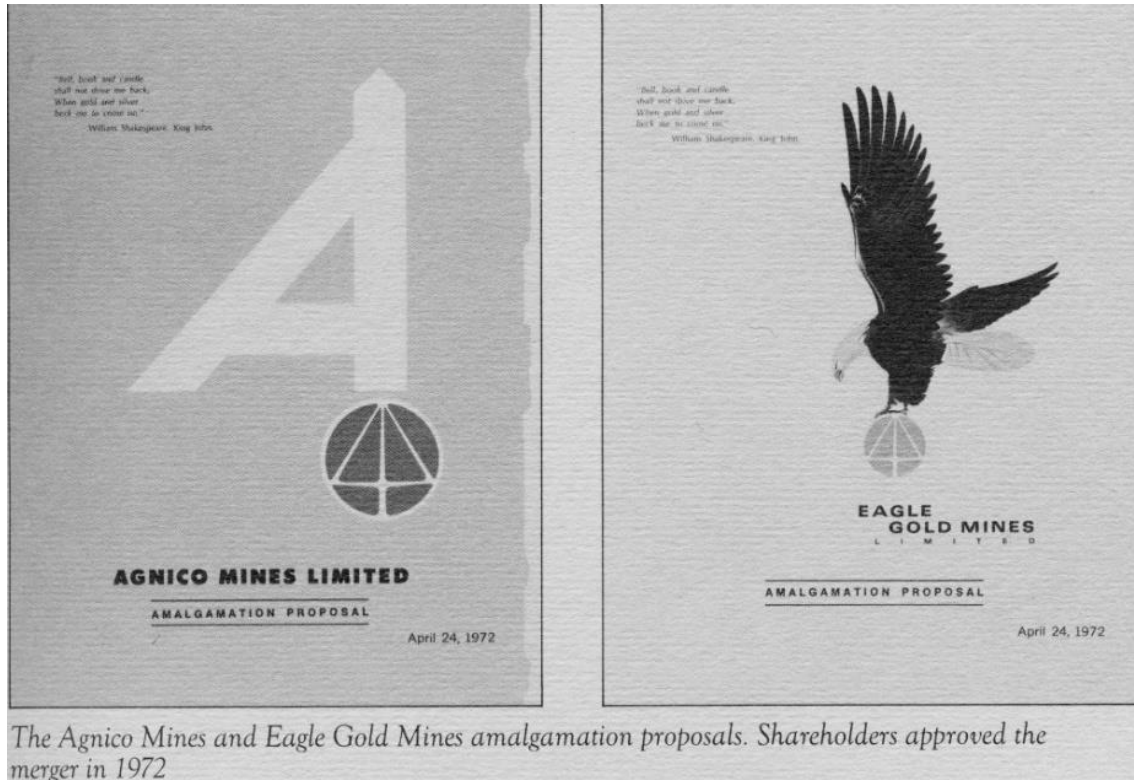
Opinnäytetyön aihealue rajataan laitekohtaisesti koskemaan rikastamon SAG- ja kuulamylyn voitelujärjestelmiä sekä autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikoiden voitelujärjestelmiä.

## 2 AGNICO EAGLE MINES LIMITED

Agnico Eagle Mines Limited on kanadalainen kaivosyhtiö, jolla on kotimaansa lisäksi kaivostoimintaa Meksikossa ja Suomessa. Yhtiö harjoittaa aktiivista malminetsintää kyseisten maiden lisäksi myös Yhdysvalloissa ja Kolumbiassa. (Agnico Eagle 2021c.)

### 2.1 Historia

Agnico Eagle Mines Limited muodostettiin 1972 (Kuva 1. Agnico Mines Limited ja Eagle Gold Mines Limited yhtiöiden tunnisteet ennen yhdistymistä (Agnico Eagle 2021c), jolloin Kanadan Ontarion Cobaltissa sijainnut Agnico Mines Limited hopeakaivosyhtiö sekä kultakaivosyhtiö Eagle Gold Mines Limited yhdistyivät. Agnico Mines perustettiin alun perin nimellä Cobalt Consolidated Mining Company vuonna 1953 viiden pienemmän hopeakaivosyhtiön fuusioituessa. Eagle Gold Mines aloitti kullanetsintätoiminnan valtauksillaan Luoteis-Quebecissä vuonna 1966. Tällä hetkellä yhtiöllä on yhdeksän toiminnassa olevaa kaivosta. Maailman laajuisesti yhtiö työllistää noin 7800 työntekijää. Vuonna 2020 yhtiö tuotti 1 736 568 unssia (oz tr) kultaa ja noin 3,5 miljoonaa unssia hopeaa. Yhtiöllä on 31.12.2020 päivätyn tiedotteen mukaan todennettuja kultavarantoja 24,1 miljoonaa unssia, hopeavarantoja noin 30 miljoonaa unssia, 115 000 tonnia sinkkiä ja 85 000 tonnia kuparia. (Agnico Eagle 2021c.)



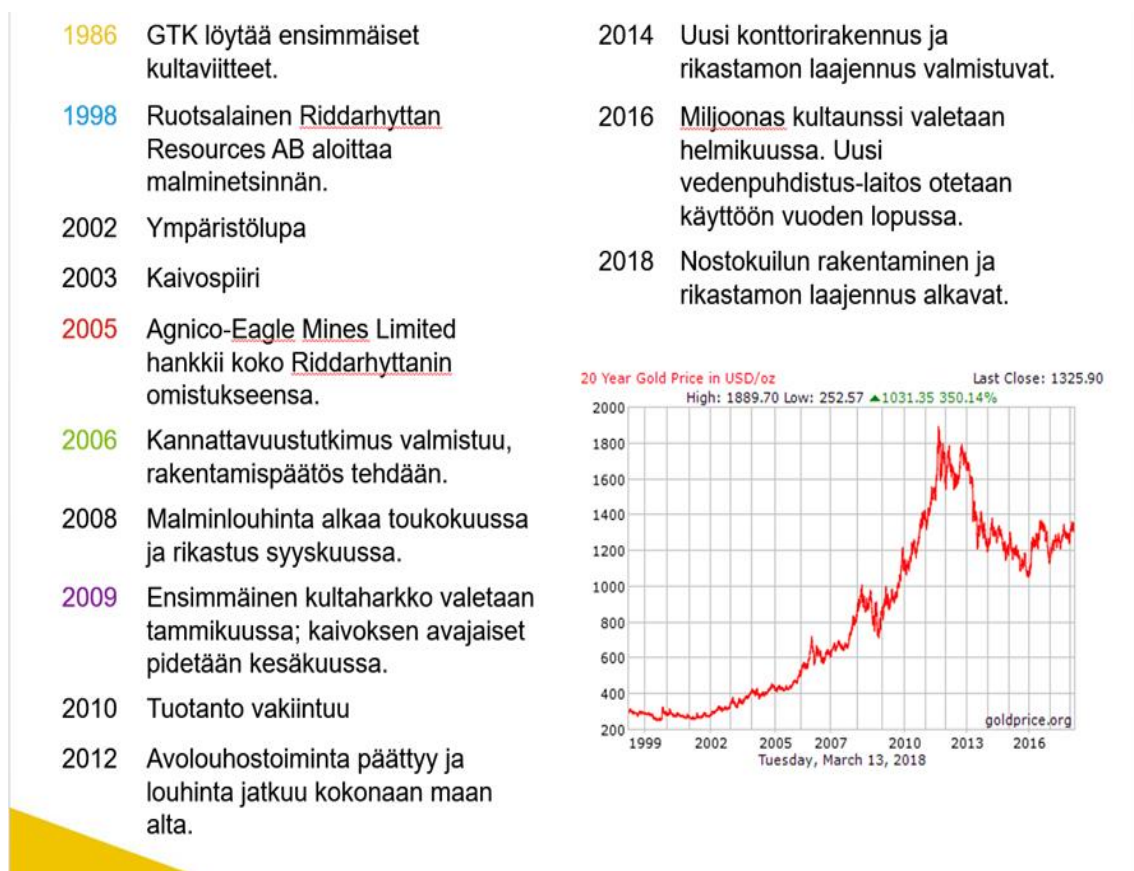
Kuva 1. Agnico Mines Limited ja Eagle Gold Mines Limited yhtiöiden tunnisteet ennen yhdistymistä (Agnico Eagle 2021c)

Syyskuussa 2021 Agnico Eagle Mines Limited ja Kirkland Lake Gold Limited ilmoittivat yhdistävänsä liiketoimintansa tavoitteenaan synnyttää alansa korkealuokkaisin kultakaivosyhtiö. Yhdistymisen jälkeen uuden yhtiön kultavarannot nousevat 48 miljoonaan unssiin ja kaivosten lukumäärä nousee kolmella kaivoksella, joista kaksi sijaitsee Kanadassa ja yksi Australiassa. Uuden yhtiön työntekijöiden kokonaismäärä nousee noin 11 300 työntekijään. Yhdistymisessä Agnico Eagle Mines osti koko Kirkland Lake Goldin osakekannan. Kauppahinta osakkeiden merkintähetkellä oli noin 10,68 miljardia \$. Yhdistyminen on tarkoitus vahvistaa vuoden 2022 ensimmäisellä vuosineljänneksellä. (Agnico Eagle 2021b.)

## 2.2 Agnico Eagle Finland Oy

Ensimmäiset viitteet kullasta Kittilän Kiistalan kylän lähetyviltä Pokan Suurikuusikosta löytyivät vuonna 1986 Pokkaan menevän tien parannustöiden yhteydessä. Työ- ja elinkeinoministeriön alainen valtakunnallinen geologisten luonnonvarojen asiantuntija GTK alkoi tutkimaan löydöstä samana vuonna. Agnico Eagle

Mines Limited hankki vuonna 2004 14 %:n osuuden ruotsalaisesta Riddarhyttan Resources AB:sta, jolla oli yksinoikeus Suurikuusikon kultaesiintymään Kittilän Pokassa. Yhtiö osti koko Riddarhyttanin osakekannan marraskuussa 2005. Kaivoksen rakentaminen Kittilässä alkoi vuonna 2006 ja kaivoksen toiminta alkoi malmion louhinnalla vuonna 2008 kahdesta avolouhoksesta, Suuresta ja Rourasta. Rikastamo aloitti tuotantonsa myös vuonna 2008. Maanalainen louhinta aloitettiin lokakuussa 2010. Avolouhostoiminta päättyi marraskuussa 2012, ja nyt malmia louhitaan ainoastaan maanalaisesta kaivoksesta. (Kuva 2. Kittilän kaivoksen historia (Agnico Eagle Finland 2021f). (Agnico Eagle Finland 2021c.)



Kuva 2. Kittilän kaivoksen historia (Agnico Eagle Finland 2021f)

Agnico Eagle Finland Oy on Agnico Eagle Mines Limitedin tytäryhtiö, joka operoi Kittilän kaivosta. Kittilän kaivos on Euroopan suurin kultakaivos. Maanalaisesta kaivoksesta louhitaan vuodessa noin 2 miljoonaa tonnia malmia ja vuotuinen tuotanto on noin 6 500 kiloa kultaa. Nykyisillä malmivaroilla ja tuotantomäärillä kaivoksen odotetaan toimivan vuoteen 2034 saakka. Kaivoksen toiminta-aika voi jatkua pitempään riippuen malminetsinnän tuloksista. Kaivos työllistää yhteensä

noin 900 vakituista työntekijää, joista noin 450 työskentelee suoraan kaivosyhtiön alaisuudessa ja loput kaivosalueella toimivien aliurakoitsijoiden palveluksessa. (Kuva 3. Kittilän kaivos (Agnico Eagle Finland Oy 2021f). (Agnico Eagle Finland 2021c.)



Kuva 3. Kittilän kaivos (Agnico Eagle Finland Oy 2021f)

### 3 TOIMINTOPAIKKA

”Toimintopaikka, laitepaikka tai konepaikka. Tunnus, joka yksilöi ao. paikan tuotantoprosessissa ja/tai paikantaa sen maantieteellisesti. Ao. paikkaa voidaan käyttää seurannan sekä työnsuunnittelun apuvälineenä ja siihen voidaan kohdentaa kustannuksia, työtä, laitteita, varaosia sekä asiakirjoja.” (PSK 6201-3, 16.) Näin määrittelee toimintopaikan teollisuuden ja sitä palvelevien yritysten yhteinen kehitysyksikkö PSK standardisointi. PSK on toiminut vuodesta 1973 ja se on eri osapuolten puolueeton kohtaamispaikka. PSK:n tavoitteena on tukea jäsenistönsä liiketoiminnan tehokkuutta ja laatua standardisoinnilla ja koulutuksella. (PSK Standardisointi 2021.)

#### 3.1 Kittilän Kaivos

Kittilän Kaivos sijaitsee Pohjois-Suomessa noin 50 kilometriä Kittilän keskustasta koilliseen lähellä Kiistalan kylää. Kaivosalueen pinta-ala 1700 hehtaaria ja malminetsintäalueen pinta-ala on 12 714 hehtaaria. Kokonaislouhintamäärä vuonna 2020 oli 3 314 573 tonnia malmia, joista yhtiö tuotti 208 125 unssia kultaa. (Kaivosvastuu 2022.)

Kittilän kaivos on Euroopan suurin kultakaivos. Sitä pidetään myös Lapin kaivos-toiminnan veturina. Kaivoksella louhitaan vuosittain yli 16 kilometriä uutta tunnelia, millä turvataan rikastamolle riittävä malmin tuotanto. (Agnico Eagle Finland 2021c.)

#### 3.2 Rikastamo

Rikastamo on laitos, jossa louhitusta raaka-aineesta poistetaan hyödyttömät mineraalit. Rikastuksen tavoitteena on nostaa raaka-aineesta saatavan tuotteen arvoainepitoisuutta.

Kittilän kaivoksen rikastamo sijaitsee kaivosalueella malmion välittömässä läheisyydessä. Malmi louhitaan maanalaisesta kaivoksesta, josta se kuljetetaan vino-tunnelia pitkin maan pinnalla sijaitsevaan murskaamoon. Murskaamolta malmi siirtyy hihnakuljettimilla rikastamoon rikastettavaksi. (Agnico Eagle Finland 2021c.) Hihnakuljettimilta rikaste kulkee ensimmäiseksi myllyille jauhatukseen,



## 4 TUTKIMUSKOHTEET

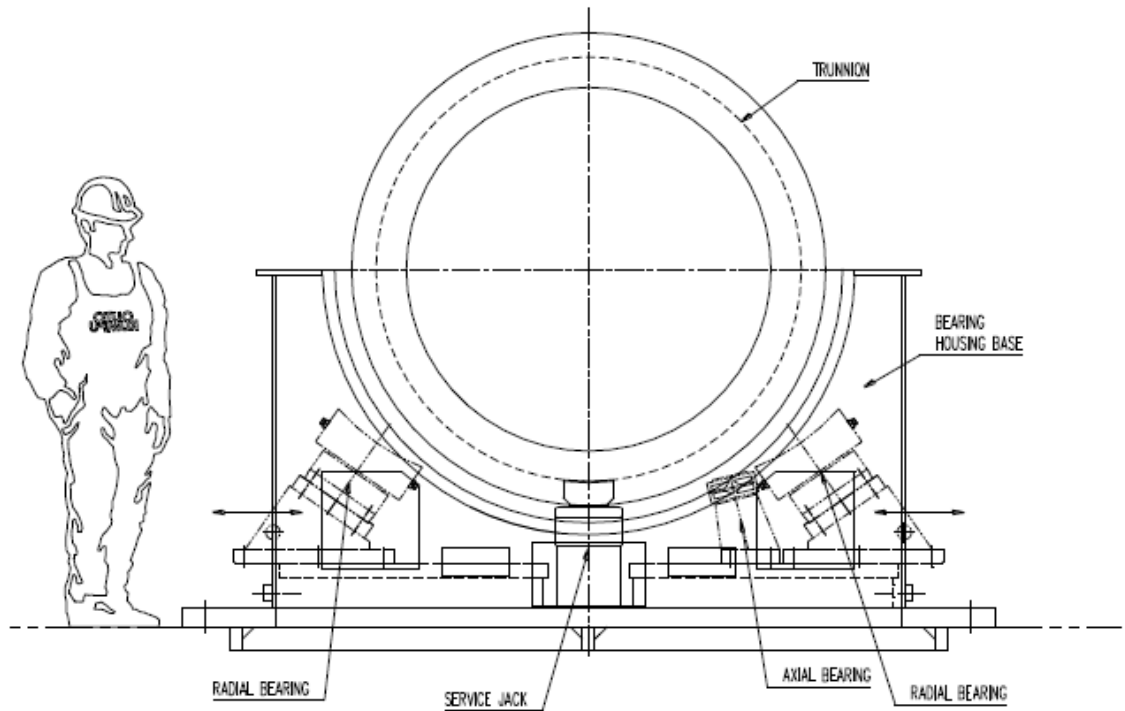
Opinnäytetyön toimeksiannossa tutkimus- ja kehityskohteet rajattiin koskemaan SAG- ja kuulamylyn voitelua, sekä autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikoiden voitelua. Opinnäytetyön rajaus kyseisiin laitteisiin tehtiin siksi, koska ne ovat rikastamon käytettävyyden kannalta elintärkeitä, eikä niitä ole kahdennettu. Toisin sanoen rikastamon käytettävyys riippuu kyseisten laitteiden toimivuudesta.

### 4.1 SAG-mylly

SAG-mylly on Kittilän kaivoksen rikastamon prosessin alkupään tärkein laite. Se on ensimmäinen laite, jonne rikastemalmi saapuu kuljettimia pitkin. SAG on lyhenne sanoista semi-autogenous ja tarkoittaa puoli-autogeenistä myllyä, eli myllyn sisään syötettävän malmin lisäksi siellä on myös muita jauhinkappaleita. Jauhinkappaleiden määrä ja koko vaihtelee myllyjen fyysisten mittojen ja halutun raekoon mukaan. Kittilän kaivoksen SAG-myllyssä käytetään malmin lisäksi teräskuulia. Myllyn vuoraus on tällä hetkellä terästä, mutta vuorausmateriaaleja voi olla myös toisenlaisia, esimerkiksi erilaisista kumiseoksista valmistettuja materiaaleja. Kumivuoraukset ovat teräsvuorauksia huomattavasti kevyemmät, joten niiden vaihtotyö on yleensä nopeampaa kuin teräsvuorauksen ja niiden aiheuttama melu on huomattavasti pienempi verrattuna teräsvuoraukseen. Kumivuoraus myös kuormittaa laitteistoa vähemmän pienemmän painonsa ansiosta. Muutoin vuorauksien ominaisuuksilla ei ole merkittävää eroa ja yleensä vuorauksien profiilit on jo optimoitu asiakkaiden toiveiden, olosuhteiden ja halutun käyttöiän mukaan.

Kittilän kaivoksen SAG-myllyn laakerointi on toteutettu liukulaakereilla (Kuva 5. Periaatekuva myllyn liukulaakeroinnista (Agnico Eagle Finland 2021e) (Agnico Eagle Finland 2021). Liukulaakeri on komponentti, joka tukee ja ohjaa pyörivää akselia sekä mahdollistaa sen liikkeen. Liukulaakeri koostuu pyörivästä akselistasta ja paikallaan olevasta laakerista. Liukulaakerit soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa kuormitukset ovat suuria ja liikkeet suhteellisen hitaita ja joissa kuormituksen aiheuttama liike on pyörivää, aksiaalista tai näiden yhdistelmää. Liukulaakerin etuja ovat laaja käyttöalue ja edullisuus. Ne myös vievät vähän tilaa konstruktiossa, ja ne on helppo asentaa sekä huoltaa. (D&E Bearings 2021b.)

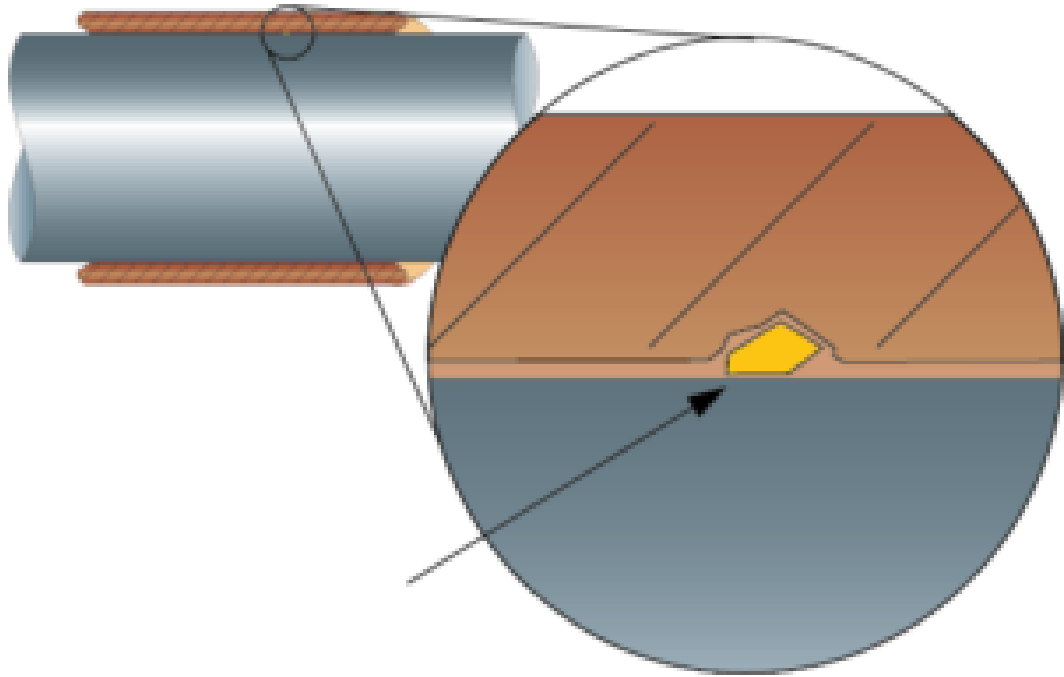




Kuva 5. Periaatekuva myllyn liukulaakeroinnista (Agnico Eagle Finland 2021e)

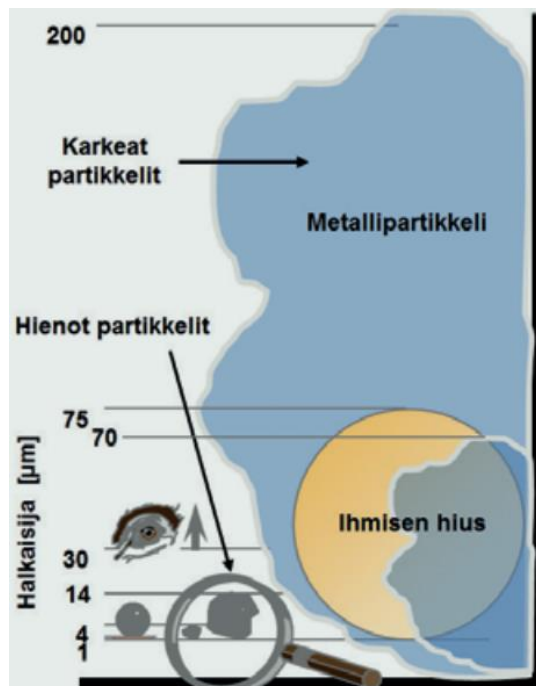
Yleisin liukulaakereissa käytetty materiaali on pronssi ja sen erilaiset seokset, mutta myös muista materiaaleista kuten muovista, komposiitista ja teräksestä valmistetaan liukulaakereita (D&E Bearings 2021d). Liukulaakereita voidaan valmistaa myös monikerroslaakereina. Monikerroslaakereiden etuja ovat erilaiset liukukerrosyhdistelmät. Laakeri voi olla esimerkiksi rungoltaan terästä, joka on pinnoitettu kuparilla ja pintaan on sintrattu pronssikerros. (D&E Bearings 2021e.)

Laakereiden käyttöympäristöllä on suuri merkitys niiden elinikään. Laakerit pyritään aina suojaamaan ulkopuoliselta liialta, oli kysymyksessä sitten pöly, hiekka tai muut epäpuhtaudet. Laakerointiin pääsevä lika vaikuttaa aina negatiivisesti sen kitkaominaisuuksiin sekä käyttölämpötilaan. Abrassiiviset partikkelit (Kuva 6. Abrassiivinen partikkeli (D&E Bearings 2021a) muodostuvat yleensä hiekasta sekä muista vieraista partikkeleista. Kaikki nämä partikkelit toimivat hiomapaperin tavoin pyörivän akselin ja liukupinnan välillä aiheuttaen kolmoispartikkelibraasion ja näin ollen laakeroinnin ja komponenttien ennenaikaisen kulumisen. (D&E Bearings 2021a.)



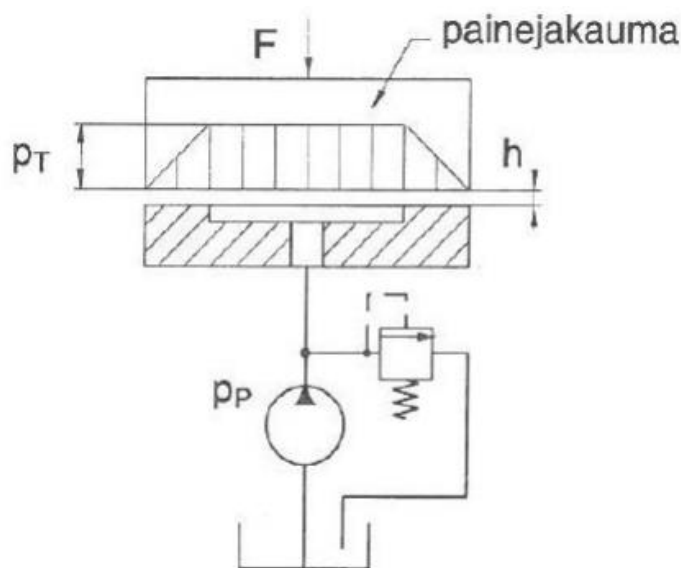
Kuva 6. Abrassiivinen partikkeli (D&E Bearings 2021a)

Jo hyvin pienikokoiset epäpuhtauspartikkelit voivat olla haitallisia järjestelmien toimivuuden kannalta. Yleisesti suositellun puhtaustason mukaan jo  $\geq 4$  mikrometrin kokoiset partikkelit ovat haitallisia. Kuva 7. Erikoikoisten partikkeleiden vertailu (Promaint 2018, 24) (SKF-laakerien kunnossapito 2016, 212).



Kuva 7. Erikoikoisten partikkeleiden vertailu (Promaint 2018, 24)

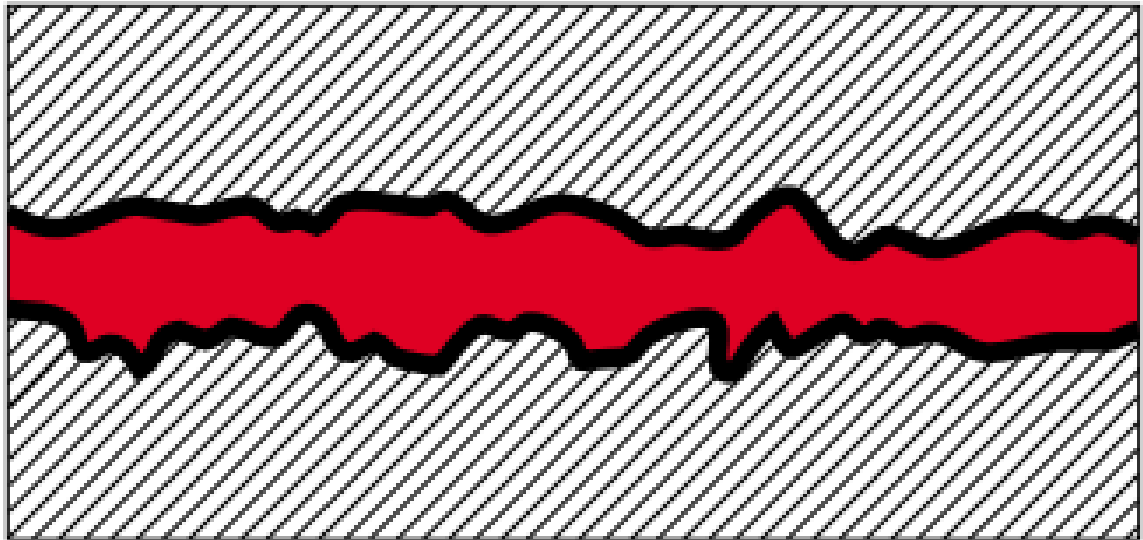
SAG-mylyn liukulaakerointi on niin kutsuttu hydrostaattinen laakerointi, jossa öljypumpun tuottama paine erottaa myllyn pyörivän akselin ja kiinteät laakerit toisistaan (Kivioja, Kivivuori & Salonen 2007, 157). Myllyn massa voi olla jopa 600 t, joka muodostaa painejakauman  $F$  Kuva 8. Hydrostaattisen laakerin periaatekuva (Kivioja ym. 2007, 157) esittämän hydrostaattisen laakeroinnin periaatteen mukaisesti. Voiteluyksiköltä vaaditaan siis riittävästi tilavuusvirtaa ja painetta, jotta riittävä kantokyky ja laakereiden voitelu saavutetaan öljyn avulla. Myös öljyn pitää olla ominaisuuksiltaan sellainen, että se kestää korkean kuormituksen. SAG-mylyn voiteluyksikössä käytetään ISO VG 460 EP -öljyä. Voiteluyksikössä oleva sähkömoottori pyörittää hydraulipumppua Kuva 8. Hydrostaattisen laakerin periaatekuva (Kivioja ym. 2007, 157), jonka tuottama hydraulinen käyttöpaine on säädetty arvoon 175 bar, josta hydrostaattisille laakereille ohjautuu myllyn kuorman mukaan 100–140 bar. Voiteluyksiköltä öljy johdetaan ensin putkistoa pitkin kiinteiden laakereiden laakeripesille ja siitä porauksia pitkin laakerin lävitse. Näin pintojen väliin muodostuu öljykalvo Kuva 8. Hydrostaattisen laakerin periaatekuva (Kivioja ym. 2007, 157), jonka paksuus on 0,1–0,2 mm. Mylly siis käytännössä kelluu öljykalvon päällä aina voiteluyksikön ollessa käynnissä ja tällä tavoin erottaa kiinteän laakerin ja myllyn pyörivän laakerin Kuva 8. Hydrostaattisen laakerin periaatekuva (Kivioja ym. 2007, 157) toisistaan. Samalta voiteluyksiköltä saadaan voitelu myös myllyä pyörittävälle pinion- akselin laakeroinnille.



Kuva 8. Hydrostaattisen laakerin periaatekuva (Kivioja ym. 2007, 157)

Pinionakselin laakerointi eroaa myllyn laakeroinnista siten, että siinä käytetään vierintälaakereita, jotka ovat malliltaan kaksirivisiä pallomaisia rullalaakereita. Pallomainen rullalaakeri kestää suurta säteittäistä ja kahdensuuntaista aksiaalista kuormitusta. Yleisesti ottaen vierintälaakeri koostuu kolmesta erillisestä osasta, jotka ovat pyörivä sisärengas, kiinteä ulkorengas ja niiden välissä oleva rullasto. (D&E Bearings 2021c.)

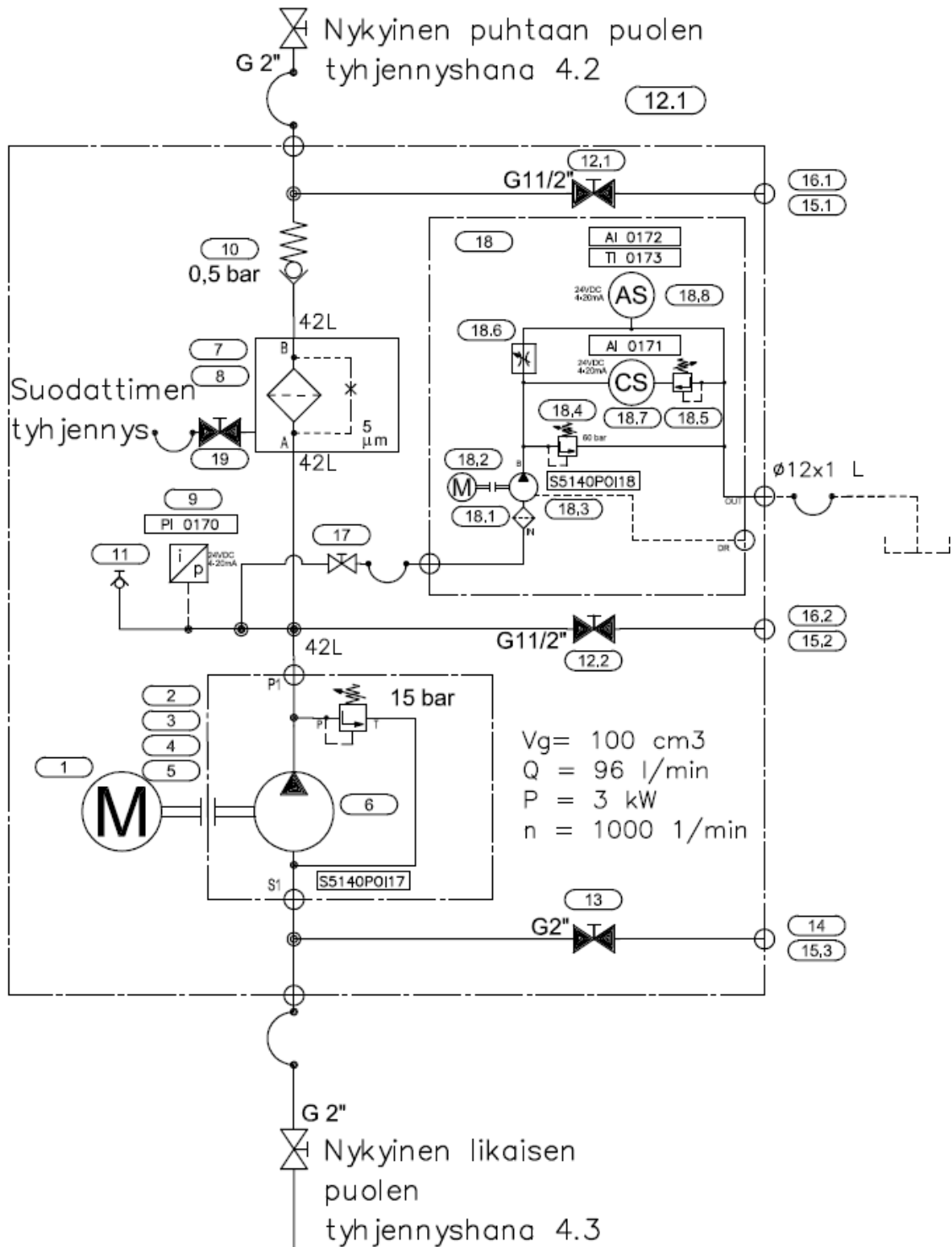
Vierintälaakeri tarvitsee samalla tavalla voitelua kuin liukulaakeri. Voitelun tehtävä vierintälaakerissa on estää ja vähentää vierintäpintojen metallista kosketusta ja näin ollen pitää kitka ja kuluminen mahdollisimman pienenä. Voiteluaine kiinnittyy toisiaan vasten pyöriviin pintoihin ja kulkeutuu vierintälaakerin kosketuspintoihin. Voiteluaineen muodostama kalvo erottaa kosketuspinnat toisistaan ja estää metallipintojen kosketuksen toisiinsa. SAG-myllyn pinionin voitelu on tällainen niin kutsuttu täysvoitelu (Kuva 9. Täysvoitelu (FAG Vierintälaakereiden voitelu 1998, 3), jossa voitelukalvon on tarkoitus muodostua täysin kantavaksi ja erottaa pyörivät pinnat täydellisesti toisistaan. (FAG Vierintälaakereiden voitelu 1998, 3.)



Kuva 9. Täysvoitelu (FAG Vierintälaakereiden voitelu 1998, 3)

Voiteluöljyn käynninaikaisesta kunnonvalvonnasta vastaa jälkeenpäin suunniteltu ja asennettu erillinen sivukiertoyksikkö (Kuva 10, jossa on öljynsuodatus, sekä mahdollisuus lisätä tai poistaa öljyä järjestelmästä. Tämä kyseinen yksikkö tarkkailee öljyn kuntoa voiteluyksikön säiliöstä. Sillä ei siis pysty erottelemaan

onko mahdolliset epäpuhtaudet tulleet myllyn laakeroinnista, vai pinionin laakeroinnista, koska molemmista öljy palautuu saman voiteluyksikön säiliöön. Pinionin laakereiden kunnonvalvontaa varten on erikseen rakennettu laakereilta palautuvan öljyn paluuputkiston väliin erillinen keruusäiliö, josta pystytään valvomaan pinionin laakereilta palautuvan öljyn kuntoa. Tämän laitteiston käyttöönotto pitäisi olla vuoden 2022 alkupuolella.



Kuva 10. Myllyjen voiteluyksiköiden piirikaavio (Agnico Eagle Finland 2021e)

## 4.2 Kuulamyly

SAG-mylyyn jälkeen rikaste pumpataan seulalle, josta ylite, eli seulan yli kulkeva liian suurikokoinen rikaste palautuu takaisin SAG-mylyyn uudelleen jauhetta- vaksi ja alite eli seula-aukon läpäisevä rikaste jatkaa kulkuaan syklonointiin. Syk- lonit erottelevat rikasteen keskipakovoiman ja inertian vaikutuksesta. Raskas ma- teriaali, eli suuri raekoko erottuu syklonin ulkokehälle ja siirtyy sieltä putkea pitkin alaspäin takaisin kuulamylyyn. Kevyt materiaali, eli hienompi rikaste erottuu syk- lonin keskiosan kautta ylöspäin putkea pitkin ja jatkaa kulkuaan vaahdotukseen. Kuulamyly (Kuva 11. Kuulamyly (Janne Koskenniemi, lappi kuva. Agnico Eagle Finland 2021f) on siis prosessin kannalta vähintäänkin yhtä tärkeä laite kuin on SAG-mylykin. SAG-mylyyn tapaan kuulamylyssäkin käytetään teräskuulia jau- hinkappaleina. SAG-mylystä poiketen niiden tarkoitus ei ole tuottaa murskaavaa iskuenergiaa malmiin, vaan jauhaa sitä hienommaksi.



Kuva 11. Kuulamyly (Janne Koskenniemi, lappi kuva. Agnico Eagle Finland 2021f)

Kuulamylyn laakerointi on toteutettu myös liukulaakereilla ja on toimintaperiaatteeltaan ja voiteluyksiköltään samanlainen kuin SAG-myllyn. Voiteluyksikön käyttöpaine on säädetty arvoon 100 bar, josta hydrostaattisille laakereille ohjautuu kuorman mukaan 75–95 bar. Öljynä käytetään samaa ISO VG 460 EP -öljyä. Myös kuulamylyllä on samanlainen sivukiertoysikkö kuin SAG-mylyllä.

Kuulamylyn pinionin laakerointi on samaan tapaan kaksirivinen pallomainen rulalaakeri kuin SAG-myllynkin, mutta sillä on oma erillinen voiteluyksikkö, jossa käytetään ISO VG 320 EP -öljyä. Tämän voiteluyksikön öljyn kunnonvalvontalaitteisto on rakenteilla ja käyttöönoton ajoitus on suunniteltu vuoden 2022 alkupuolelle.

### 4.3 Autoklaavi

Autoklaavi on rikastamon prosessin kannalta yhtä tärkeä kuin ovat myllytkin. Myllyjen tapaan sitäkään ei ole kahdennettu, eli rikastamon käytettävyyks on riippuvainen yhtä paljon myllyjen kuin myös autoklaavinkin toiminnasta. Autoklaavi on ilmatiiviisti suljettu paineastia, jonka sisällä on riittävästi painetta, jotta rikastuksen kannalta optimaalinen lämpötila halutun mineraalin talteen saamiseksi onnistuu. Kittilän kaivoksen autoklaavissa on viisi lohkoa, joita pystytään operoimaan säädettyjen suureiden mukaan lohkoittain. Yksi lohkoista sisältää kaksi sekoitinta ja loput neljä lohkoa kukin yhden sekoittimen. Voimansiirto sekoittimille tapahtuu hiljattain uusittujen hammasvaihteiden välityksellä. Jokaisessa vaihteessa on voiteluöljylle oma painevoitelu- ja suodatusjärjestelmä sekä öljyn kunnonvalvontajärjestelmä. Voiteluöljynä vaihteissa käytetään ISO VG 320 EP -öljyä.

Voitelun tehtävä hammasvaihteessa on laakereiden ja tiivisteiden voitelun lisäksi muodostaa hammaspyöräparin hammastusten työkytkien väliin metallikosketuksen ehkäisevä öljykalvo. Voitelun tehtävänä on myös pienentää hammastuksen kitkaa ja siitä aiheutuvaa häviötehoa, siirtää lämpöä pois hammaskosketuksesta ja laakereista, siirtää epäpuhtaudet ja kulumispartikkelit pois ja minimoida kulumisen. Suodatuksen tehtävä on estää epäpuhtauksien ja kulumispartikkeleiden pääsy takaisin voitelukiertoon. (David Brown Santasalo 2017, 2.)



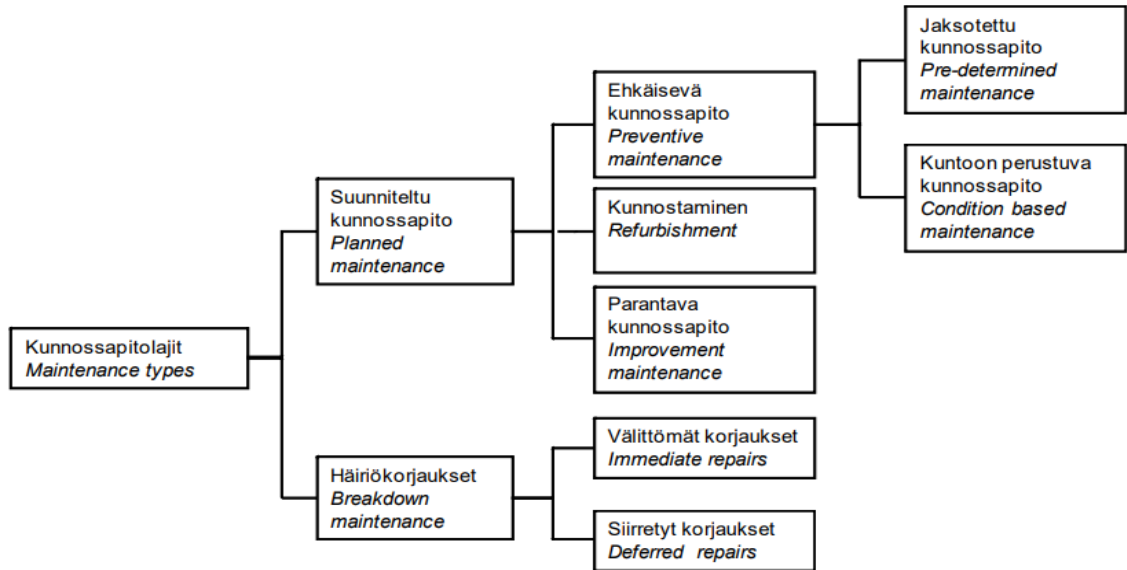
## 5 KUNNOSSAPITO

Kittilän kaivoksen rikastamon kunnossapito on jaettu kolmeen kategoriaan, jotka ovat mekaaninen-, sähkö- ja instrumentointi/automaatiokunnossapito. Jokainen vastaa nimensä mukaisesti oman vastuualueensa käytettävyydestä ja kunnossapidosta tehden silti tiivistä yhteistyötä myös osastojen rajapintojen yli. Tässä opinäytetyössä käsiteltävien laitteiden kunnossapidosta vastaa mekaaninen kunnossapito. Öljyjen käynninaikaisten kunnonvalvontalaitteiston osalta vastuuta on myös sähkö- ja instrumentointi/automaatio-osastoilla.

### 5.1 Kunnossapidon määritelmät

”Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana” (PSK 6201-3p. 2011, 2). Vuonna 2017 organisaatioiden muutoksessa rikastamon mekaanisen kunnossapidon nimi muuttui käynnissäpidoksi. PSK standardisoinnin mukaan käynnissäpidon määritelmä on ”Käytön lisäksi käyttöhenkilöstön tehtäviin voi sisältyä kohteen käyttökuntoon liittyviä tehtäviä kuten, puhdistukset, voitelu, asetukset, tuotantokoneiden korjauksia sekä kunnonvalvontaa ja tuotantokyvyn seuranta” (PSK 6201-3p. 2011, 3). Käytännössä tämä tarkoittaa käyttöhenkilöstön osalta laitteiden puhdistuksia, kunnonvalvontaa ja tuotantokyvyn seuranta prosessinohjausjärjestelmän kautta.

Kunnossapitolajit voidaan jakaa Kuva 12. Kunnossapitolajit (PSK 7501-2. 2010, 32) mukaisesti suunniteltuun kunnossapitoon ja häiriökorjaukseen. Häiriökorjauksessa vikaantunut laite pyritään palauttamaan toimintakuntoon ja käyttöturvallisuudeltaan alkuperäiseen tilaan. Tilanteen salliessa häiriökorjaus pyritään suorittamaan heti vian ilmetessä ja näin ollen rajoittamaan vian aiheuttamia seurauksia hyväksyttävälle tasolle. Häiriökorjauksia joudutaan joissakin tapauksissa myös siirtämään, mikäli kohteen, tuotannon tai organisaation tila sen vaatii. Häiriökorjauksen siirtäminen voi luonnollisesti aiheuttaa suurempia vaurioita laitteelle, mutta nämä ovat asioita, jotka vaativat tarkastelua aina tapauskohtaisesti. (PSK 6201-3p. 2011, 23.)



Kuva 12. Kunnossapitolajit (PSK 7501-2. 2010, 32)

Yleensä laitteiden kunnossapito pyritään kuitenkin tekemään suunnitellusti, eli ennaltaehkäisevästi. Kunnonvalvonnalla tai tarkastustoiminnalla havaittujen vikojen suunniteltu korjaus on kuntoon perustuvaa suunniteltua kunnossapitoa. Kunnonvalvontaa voi olla aistein tai mittalaitteiden avulla tapahtuvat tarkastukset ja valvonta sekä mittaustulosten analysointi. Kunnonvalvonnalla määritellään kohteen toimintakunnon nykytila ja arvioidaan sen kehittyminen mahdollisen vikaantumis-, huolto- ja korjausajankohdan määrittämiseksi. (PSK 6201-3p. 2011, 23.)

Kunnonvalvonnan kehittäminen erilaisten mittalaitteiden avulla, joiden pyrkimyksenä on parantaa koneen tai laitteen luotettavuutta on parantavaa kunnossapitoa. Myös tässä opinnäytetyössä käsiteltävät öljyn käynninaikaiset kunnonvalvontalaitteet ovat parantavaa kunnossapitoa. Niiden pyrkimyksenä on lisätä koneiden luotettavuutta ja parantaa ennakoivaa kunnossapitoa mitatun datan avulla.

## 5.2 Kunnossapidon tavoitteet

Rikastamon kunnossapidon keskeisin tavoite on työturvallisuus ja hyvä käyttövarmuus. Käyttövarmuus ilmaistaan käyntiasteena ja sitä seurataan prosentuaalisella suurella ennalta määritettyihin seisokkiaikoihin suhteutettuna. Vuoden 2021 käyntiastetavoite oli 92 %.

Työturvallisuuden osalta tavoite on aina nolla työtaturmaa. Yhtiön motto työturvallisuudessa onkin "safety first", eli kaikki työt tehdään turvallisuus edellä. Turvallisuuden näkökannasta vaativimmat työt käydään läpi aina tapauskohtaisesti ja mikäli työtä ei voida tehdä turvallisesti tuotannon ollessa käynnissä, niin tarvittaessa tuotanto keskeytetään töiden ajaksi.

## 6 ÖLJYN PUHTAUSLUOKAT, VESIPITOISUUS JA EPÄPUHTAUDET

Hydrauliikka- ja voiteluöljyjen kunnonvalvonta on kuulunut jo kymmeniä vuosia ennakoivaan kunnossapitoon. Öljyissä olevat epäpuhtaudet aiheuttavat yli 80 % hydrauliikkajärjestelmien häiriöistä ja vaurioista, joten toimivalla kunnonvalvonnalla on tärkeä rooli mahdollisten ongelmien ja vaurioiden ennakoinnissa. Öljyjärjestelmien epäpuhtaushiukkaset koostuvat yleensä erilaisista kulumismekanismista, mutta epäpuhtaudet voivat tulla myös järjestelmän ulkopuolelta esimerkiksi puutteellisesta säiliön ilmansuodattuksesta tai hydraulisylintereiden varsiensa kautta. (Promaint 2014.)

### 6.1 Puhtausluokat

Öljyn seassa olevat pienet hiukkaset, kooltaan muutaman mikronin luokkaa tekevät voiteluaineesta pahimmillaan hionta-ainetta. Vastaavasti kokoluokaltaan suuret, useiden kymmenien tai jopa yli sadan mikrometrin ( $> 0,1\text{mm}$ ) suuruisten partikkeleiden esiintyminen öljyssä viittaa kulumisvaurion alkamisesta laakereissa tai hammaskosketuksissa. Voidaankin siis hyvin olettaa, että kaiken kokoisilla hiukkasilla öljyn seassa on merkitystä. (Promaint 2011, 54.)

Öljyn puhtautta määritetään yleisesti ISO 4406:2021- (Kuva 13. ISO 4406 luokitus ja luokitusnumeron määräytyminen (Pamas 2021), SAE 4059- ja NAS 1638 -standardeilla. Joskus saatetaan myös viitata ISO 4406:2021:n aiempiin versioihin, jotka ovat ISO 4406:1987, ISO 4406:1999 ja ISO 4406:2017. Kaikkien menetelmien periaatteena on havaita öljyssä kulkevien epäpuhtauspartikkeleiden lukumäärä ja koko tietyssä määrässä öljyä ja antaa saatujen tietojen perusteella öljylle luokitusnumero. Luokitusnumeron avulla puhtaus voidaan helpoimmillaan pelkistää muutamaksi tai jopa yhdeksi numeroksi. (Fluid Intelligence 2017.)

Cumulative Number of particles per millilitre (more than)	Cumulative Number of particles per millilitre (up to and including)	Scale number
2 500 000		>28
1 300 000	2 500 000	28
640 000	1 300 000	27
320 000	640 000	26
160 000	320 000	25
80 000	160 000	24
40 000	80 000	23
20 000	40 000	22
10 000	20 000	21
5 000	10 000	20
2 500	5 000	19
1 300	2 500	18
640	1 300	17
320	640	16
160	320	15
80	160	14
40	80	13
20	40	12
10	20	11
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8
0,64	1,3	7
0,32	0,64	6
0,16	0,32	5
0,08	0,16	4
0,04	0,08	3
0,02	0,04	2
0,01	0,02	1
0	0,01	0

Particle size	Number of particles per millilitre	Interval	Scale number
> 4 µm (c)	1987	1300 - 2500	18
> 6 µm (c)	587	320 - 640	16
> 14 µm (c)	56	40 - 80	13

Kuva 13. ISO 4406 luokitus ja luokitusnumeron määräytyminen (Pamas 2021)

Kittilän kaivoksella öljyn partikkelimäärät ilmoitetaan ISO 4406 -standardin mukaisilla puhtausluokitusnumeroilla. Standardi ottaa huomioon 4, 6 ja 14 mikrometrin kokoluokan ylittävien partikkeleiden määrät öljyssä. ISO 4406:2021 -standardi ilmoittaa partikkeleiden määrän yhtä millilitraa kohden. Aikaisemmissa ISO 4406 -standardeissa partikkeleiden määrä ilmoitettiin 100 millilitraa kohden ja tämä on yhä edelleen käytössä oleva ilmoitustyyli useassa paikassa. Kuva 13. ISO 4406

luokitus ja luokitusnumeron määräytyminen (Pamas 2021)näky, miten luokitusnumero määräytyy partikkelimäärien mukaan. Esimerkiksi >4 mikrometrin kokoluokan puhtausluokitusluokitusnumero on 18, kun sen kokoluokan partikkelimäärät ovat 1300-2500 kappaleen välillä. Vastaavasti >14 mikrometrin kokoluokan puhtausluokitusnumero on 13, kun sen kokoluokan partikkelimäärät ovat 40-80 kappaleen välillä.

## 6.2 Suhteellinen kosteusprosentti ja viskositeetti

Vesi on öljyn seassa erityisen haitallista sekä öljyn kemiallisille ominaisuuksille että koko järjestelmän toimivuudelle. Vettä voi esiintyä öljyssä liuenneena sekä vapaassa olomuodossa. Vapaa vesi öljyn seassa aiheuttaa järjestelmään korroosiota, hapettumista ja lisäaineiden hajoamista, mikä voi johtaa heikentyneestä voitelusta johtuen kontaktipintojen keskinäisiin kosketuksiin. (Promaint 2014.) Suhteellinen kosteus mitataan asteikolla 0–100 %, jossa 0 % vastaa täysin vesivapaata öljyä ja 100 % vastaa täysin vedestä kylläistä öljyä, eli öljy on 100 % saturoitunut vedestä, eikä sitä pysty enempää itseensä liuottamaan. Kun öljy alkaa sameutua, on se myös merkki täysin saturoituneesta öljy-vesiseoksesta. Silloin myös vapaan veden muodostuminen järjestelmään alkaa. (Promaint 2013.)

Viskositeetilla kuvataan öljyn juoksevuutta ja se valitaan ympäristön ja laitteen käyttölämpötilan mukaan. Kylmäkäynnistystilanteissa öljyn täytyy olla riittävän notkeaa ja vastaavasti lämpimissä käyttöolosuhteissa riittävän paksua säilyttääkseen sille määritellyt ominaisuudet ja varmistaakseen oikeanlaisen voitelun. Viskositeetti on yksi öljyn tärkeimmistä ominaisuuksista. Teollisuusvoiteluaineissa öljyn viskositeetti ilmoitetaan yleensä ISO VG-indeksillä + 40°C lämpötilassa, ja se kuvaa öljyn viskositeetin riippuvuutta lämpötilan muutokseen. (Promaint 2014.) Mitä suurempi ISO VG arvo on, sitä vähemmän öljyn viskositeetti muuttuu lämpötilan vaihdellessa ja sitä paksumpaa öljy on (Teboil voiteluaineet 2021).

## 6.3 Kulumismetallit

Erilaisten kulumismetallien seurannalla pystytään myös määrittelemään järjestelmän kuntoa hyvin. Mikäli  $\geq 40$  mikrometrin kokoluokkaa olevien metallilastujen

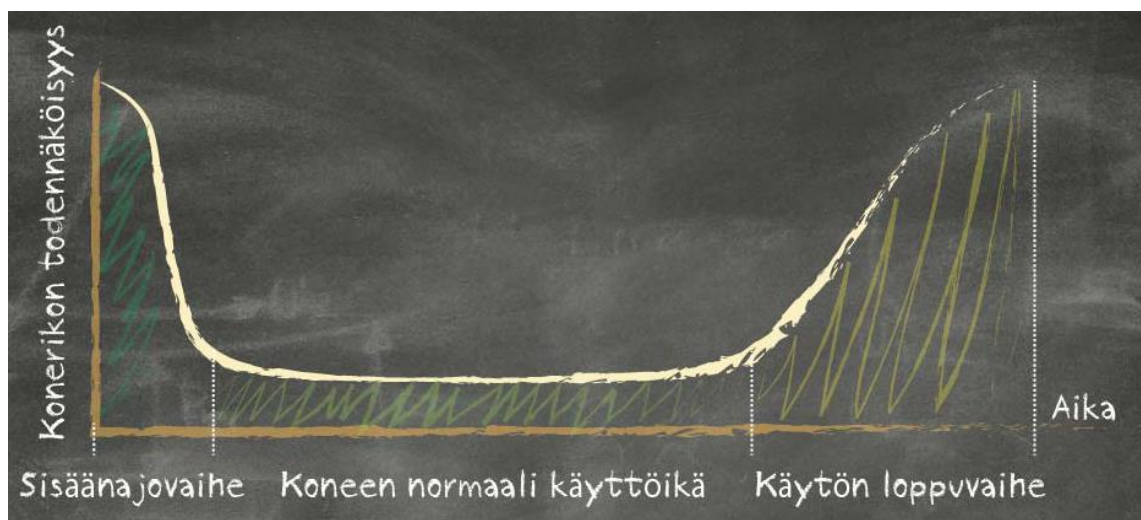
määrä järjestelmässä kasvaa äkillisesti, on se merkki alkavasta komponenttivauriosta. Myös öljyn ominaisuuksien kannalta lisääntyneet kulumismetallimäärät ovat erityisen haitallisia, koska kupari- ja rautapartikkelit yhdessä vähäisenkin vesimäärän kanssa voivat toimia katalyytteinä ja näin ollen lyhentää merkittävästi öljyn käyttöikää. (Promaint 2014.)

Kulumismetallit voidaan jaotella kahteen ryhmään, ferromagneettisiin ja ei-ferromagneettisiin partikkeleihin. Ferromagneettiset partikkelit ovat yleensä peräisin laakereiden, pumppujen tai voimansiirron komponenteista. Ei-ferromagneettiset partikkelit voivat tulla myös laakereista, jos kohteessa käytetään liukulaakereita, mutta ne voivat tulla myös järjestelmän ulkopuolelta huohotuksen, eli korvausilman puutteellisen suodatuksen kautta. (Promaint 2013, 39.)

## 7 ÖLJYLAITTEIDEN PERINTEINEN KUNNONVALVONTA ÖLJYANALYYSILLÄ

Kuten aikaisemmin todettiin, yli 80% laiterikoista johtuu likaantuneesta öljystä. Suurin osa näistä laiterikoista voitaisiin kuitenkin välttää säännöllisillä öljyanalyysillä. On tutkittu, että jokainen öljyanalyysiin käytetty kymmenen euroa tuo 4,5 euron säästöt muualla. Säästöt koostuvat muun muassa parantuneena käytettävyytenä, huollon suunnitteluna ja laitteiden elinkaaren optimointina. Öljyn kunnon seuranta on parhaimmillaan siis hyvinkin tuottoisa investointi. (Fuchs 2021.)

Laitteiden käyttöikää kuvataan usein niin kutsutulla kylpyammekäyrällä (Kuva 14. Laiterikkojen kylpyammekäyrä (Fuchs 2021), jossa riskit mahdollisiin laiterikkoihin vaihtelevat käyttöiän mukaan ja ovat yleensä suurimmillaan laitteiden sisäänajovaiheessa. Yleensä tämä johtuu väärästä voiteluaineesta tai puutteellisesti suoritetusta aikaisemmasta huollosta. Seuraavaa vaihetta kutsutaan koneen normaaliksi käyttöikäksi, jolloin kulumisen on huomattavasti vähäisempää. Tässä vaiheessa tapahtuvat laiterikot johtuvat yleensä öljyn likaantumisesta ja sen huonosta suodatuksesta. Tämän vaiheen säännöllisellä seurannalla laitteen käyttöikä voidaan pidentää ja mahdollisten odottamattomien ongelmien riski minimoida. (Fuchs 2021.)



Kuva 14. Laiterikkojen kylpyammekäyrä (Fuchs 2021)

Laitteen elinkaaren loppuvaiheessa konerikkojen riskit lähtevät jälleen kasvuun, mikä johtuu ajan mittaan tapahtuvasta normaalista kulumisesta. Öljyn kunnon



säännöllisellä seurannalla voidaan kuitenkin saada hyvä käsitys siitä, milloin laitteen elinkaari alkaa olla lopussa ja ryhtyä tarvittaviin toimenpiteisiin suunnitellusti. (Fuchs 2021.)

### 7.1 Perinteinen kunnonvalvonta öljyanalyysillä

Perinteinen ja tänäkin päivänä vielä kaikista tarkin öljyn kunnonvalvonnan seuranta suoritetaan ottamalla laitteesta pieni määrä öljyä (n.250ml) täysin puhtaaseen ja hiukkasvapaaseen näytepulloon ja lähettämällä se analysointiin palveluntarjoajalle. Laitteiden öljynäytteiden analysointi suoritetaan yleensä säännöllisin väliajoin joko aikaan- tai käyttötunteihin perustuen. (Fluidlab 2021.)

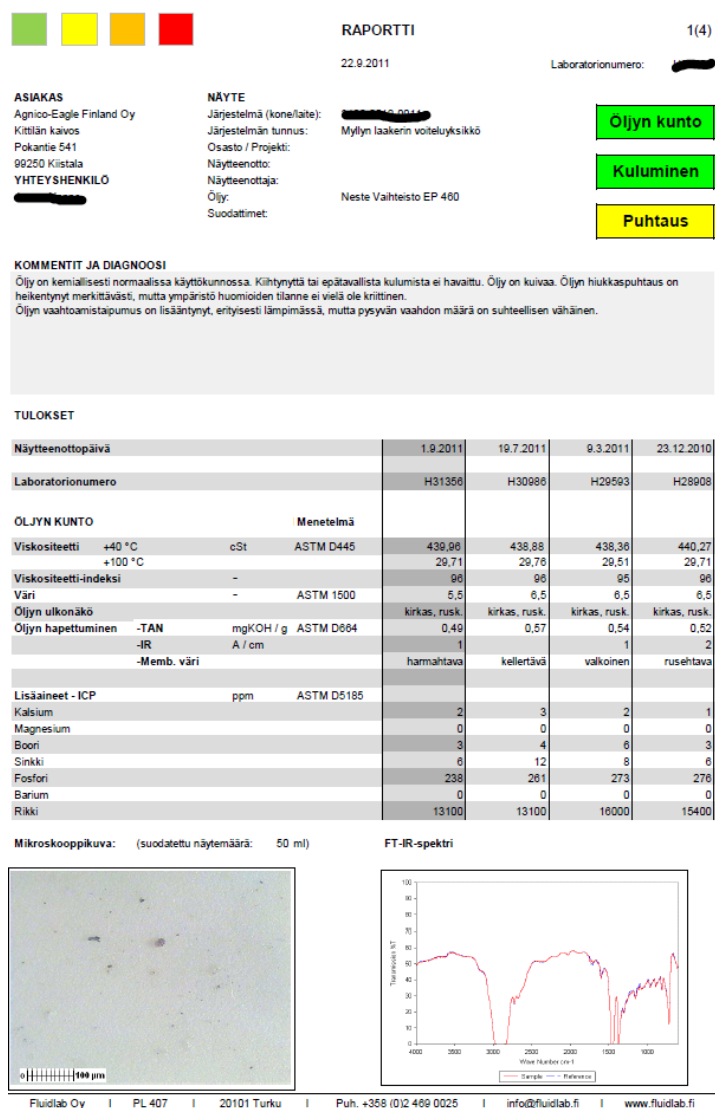
Onnistuneen ja vertailukelpoisen analyysin kannalta on erittäin tärkeää, että näytteet pyritään ottamaan aina samalla tavalla ja noudattamalla erityistä tarkkuutta puhtauteen. Väärin otetun tai näytteenottovaiheessa kontaminoituneen, eli likaantuneen näytteen analysointi laboratoriossa on turhaa, sillä sen antamat tulokset ovat virheellisiä, eivätkä ne anna oikeaa kuvaa laitteen todellisesta tilasta. Myös näytteenotto paikalla on merkitystä tuloksen onnistumisen kannalta. Esimerkiksi suodattimen jälkeen otettu näyte ei anna oikeaa kuvaa laitteen todellisesta tilasta. Siksi on tärkeää, että näytteenotto paikat määritellään aina laitekohteisesti ja näyte otetaan aina samasta paikasta. (Fluidlab 2021.)

### 7.2 Laboratoriomenetelmät

Laboratoriossa suoritettujen öljyanalyysien selkein etu on se, että näyte voidaan tarkistaa useammalla eri menetelmällä hiukkaslaskimen antamaan tulokseen verrattuna. Hiukkaslaskin on herkkä erilaisille virhelähteille ja se ei pysty antamaan tarkkaa tietoa hiukkasten laadusta. Hiukkaslaskimen lisäksi laboratoriossa suoritettavalla mikroskooppilaskennalla voidaan jokaisen hiukkasen laatu tarkistaa erikseen. (Fluidlab 2021.)

Membraanisuodatus-mikroskopointia pidetään tärkeimpänä yksittäisenä laboratoriossa suoritettavana analysointimenetelmänä. Tällä menetelmällä saadaan kaikista eniten tietoa öljyn kunnosta ja puhtaudesta, sekä kulumametalleista. Epäpuhtauksien määrän lisäksi sillä pystytään tunnistamaan kulumametalien

laadut: onko kysymyksessä hiekka, ruoste, metalli, polymeerit, kuidut, öljysakka, noki, maali, prosessiympäristön epäpuhtaudet, lisäaineet, ja niin edelleen. Myös kulumametallien suhteellinen ja absoluuttinen määrä, koko, muoto, kulumisen taso ja sen eri mekanismit pystytään tunnistamaan. Membraanisuodatus havaitsee lisäksi mahdolliset muutokset öljyn suodatettavuudessa, epätavallisen vaahdoamistapumuksen, heikentyneen ilmanerotuskyvyn sekä öljyn hartsipotentiaalin, eli öljyn taipumuksen tuottaa sakkaa. Hartsipotentiaali ilmenee liukenemattomien submikronisten epäpuhtauksien määränä öljyssä. Kuva 15. Esimerkki laboratorioanalysistä (Agnico Eagle Finland 2021e) Liite 1 sisältää koko raportin. (Fluidlab 2021.)

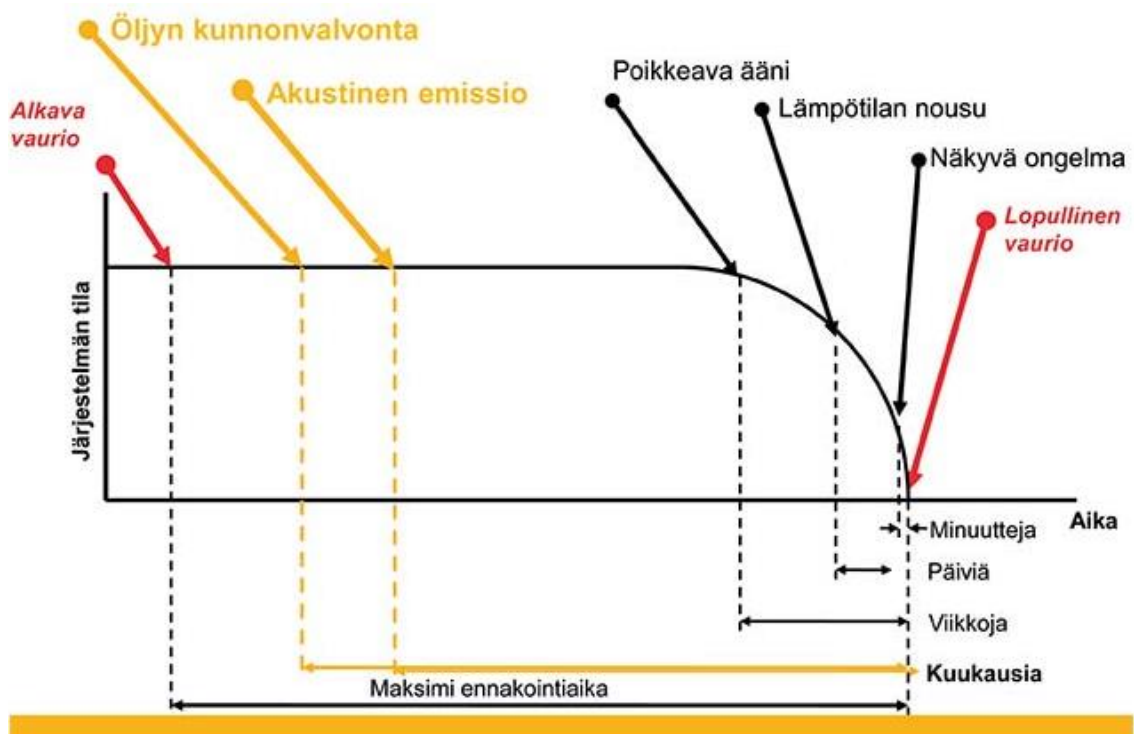


Kuva 15. Esimerkki laboratorioanalysistä (Agnico Eagle Finland 2021e)

## 8 ÖLJYLAITTEIDEN KÄYNNINAIKAINEN KUNNONVALVONTA ÖLJYANALYYSILLÄ

Vaikka perinteinen laboratoriossa tehty öljyanalyysi on yhä edelleen kaikista tärkein tapa analysoida öljyä, on teknologian kehitys mahdollistanut myös käynnin aikaisen öljyn kunnonvalvonnan. Seuranta voidaan tehdä erilaisilla kannettavilla mittalaitteilla, joilla voidaan analysoida öljyä ja laitteen kuntoa paikan päällä tai kiinteästi asennetuilla mittalaitteilla, joita voidaan seurata reaaliajassa paikallisnäytöltä, prosessinohjausjärjestelmästä tai mistä päin maailmaa tahansa.

Käynnin aikaisella öljyn kunnon- ja ominaisuuksien seurannalla mahdolliset ongelmat pystytään havaitsemaan jo hyvinkin aikaisessa vaiheessa ja näin ollen voidaan saavuttaa jopa kuukausien mittainen ennakointiaika ennen mahdollisia vauriota. Riittävän pitkä ennakointiaika mahdollistaa tuotannon- ja kunnossapitotöiden hyvän suunnittelun ja aikataulutuksen, ja näin ollen voidaan välttyä suurilakin tuotannon menetyksiltä. Kuva 16. Kunnonvalvontatekniikoiden aika-asteikko (Promaint 2014) osoittaa, millä aika-akselilla eri valvontaratkaisut auttavat ennakoimaan öljyn laadun heikkenemisestä aiheutuvat laitevauriot. (Promaint 2014.)

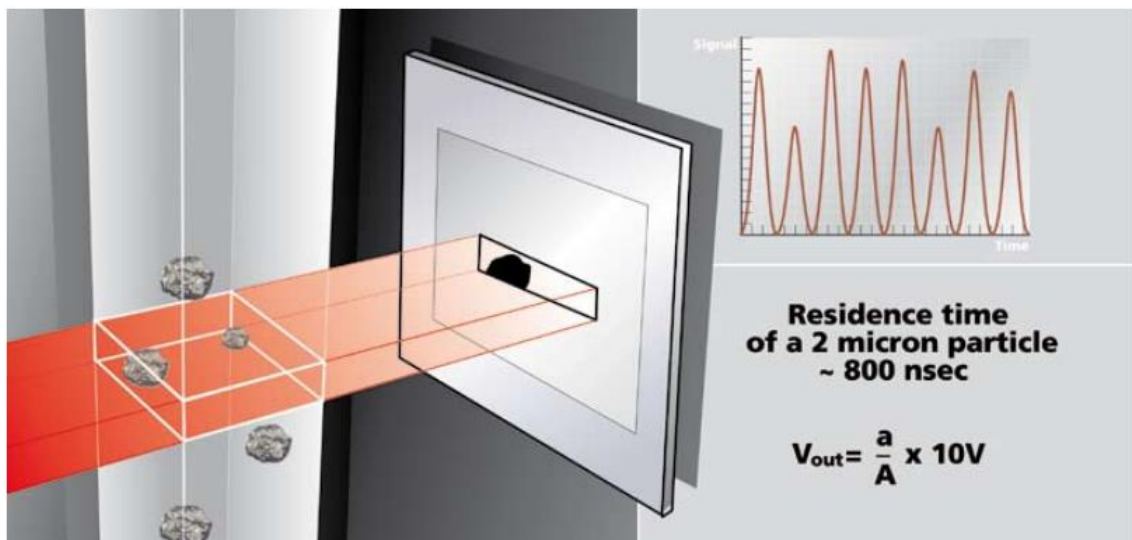


Kuva 16. Kunnonvalvontatekniikoiden aika-asteikko (Promaint 2014)

## 8.1 Mittausmenelmät ja toimintaperiaatteet

Öljyn kunnan määrittely puhtausluokkien avulla on erittäin tehokasta ja nopeakäyttöistä, mutta siinä voi olla myös haasteita. Käynninaikaiset mittaustekniikat, joiden perusteella puhtausluokat määritetään, perustuvat yleensä optiseen tai induktiiviseen menetelmään. (Promaint 2013.)

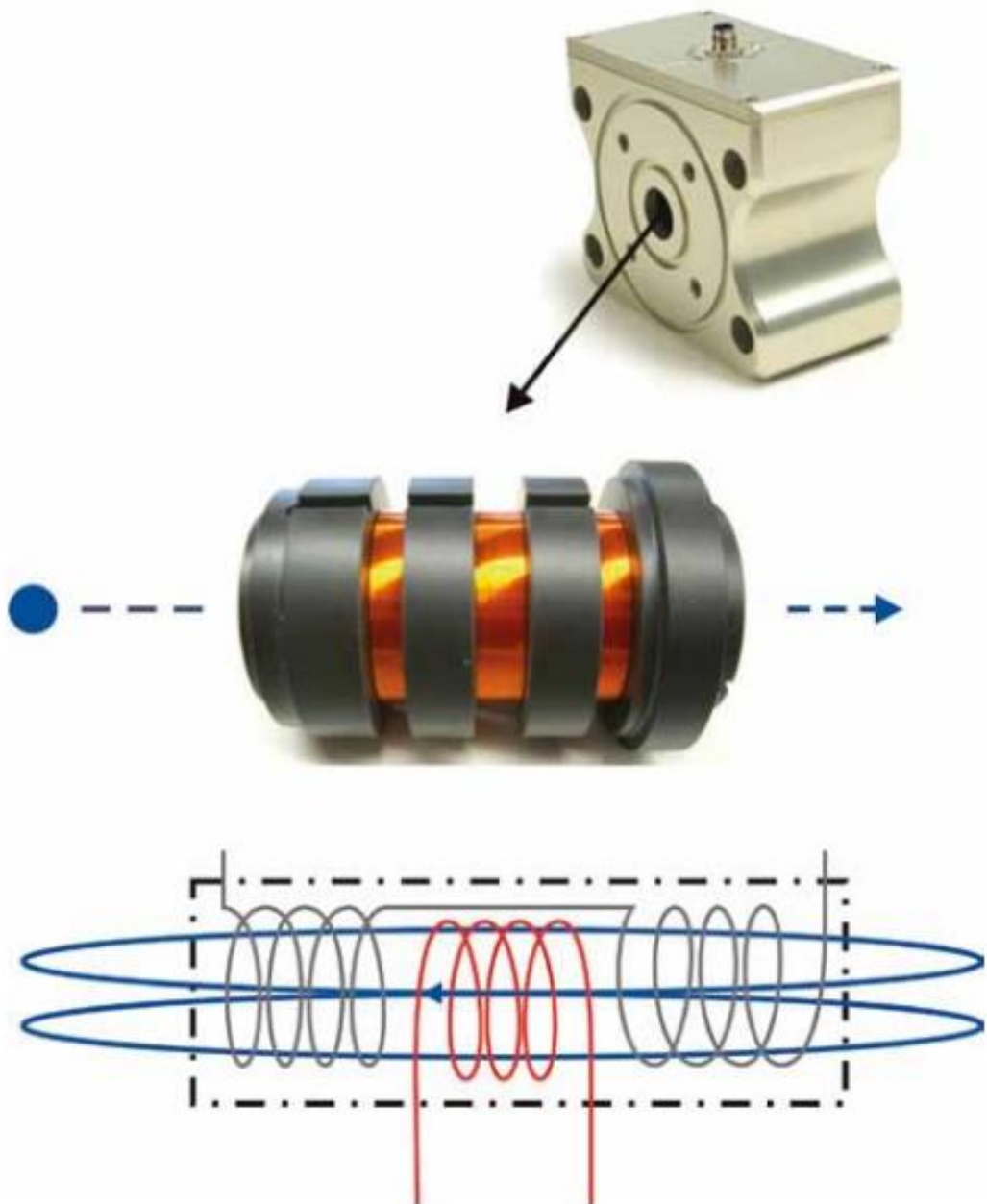
Optisessa menetelmässä (Kuva 17 öljy virtaa mittausanturin läpi, johon johdetaan valoa ja vastaanotin mittaa öljyn läpi tulevan valon määrää, kun hiukkasia on mittausanturissa, osa valosta ei pääse vastaanottimelle ja näin ollen voidaan määrittää hiukkasten koko. Optisen anturin heikkoutena voidaan pitää sitä, että sillä ei voida erotella, mistä partikkelit koostuvat. Esimerkiksi nestemäiset ja kaasumaiset epäpuhtaudet (vesi- ja ilmakuplat), vanhenemistuotteet ja kuidut öljyn seassa aiheuttavat kaikki samanlaisen varjostuman mittausanturissa ja näin ollen ne voidaan virheellisesti tulkita kiinteinä partikkeleina. (Promaint 2013.) Lisäksi huomion arvoista on myös se, että ISO 4406 -standardin mukaiset tulokset ilmoitetaan  $\geq 4 \mu\text{m}$  ylöspäin, jolloin alle  $4 \mu\text{m}$  kokoiset partikkelit jäävät huomaamatta (Fluid Intelligence 2017).



Kuva 17. Periaatekuva optisesta hiukkaslaskentasensorista (Promaint 2011)

Induktiivisella toimintaperiaatteella (Kuva 18 pystytään määrittämään anturin läpi virtaavien yksittäisten metallihiukkasten määrä, koko ja laatu. Anturissa öljy johdetaan virtauskanavaa pitkin anturin lävitse. Anturin ympärillä olevat magnetoin-

tikelat muodostavat magneettikentän. Läpivirtaavat hiukkaset aiheuttavat magneettikenttään muutoksia, jonka perusteella ne pystytään määrittelemään. Ferromagneettiset hiukkaset vahvistavat ja ei-ferromagneettiset hiukkaset heikentävät magneettikenttää. Tämä tekniikka sopii hyvin suurikokoisten partikkeleiden määrittelyyn. Induktiivinen mittalaite pystyy havaitsemaan  $\geq 40$  mikronin ferromagneettiset partikkelit ja  $\geq 135$  mikronin suuruiset ei-ferromagneettiset partikkelit (Promaint 2014). Käynninaikaisten hiukkaslaskureiden mittaustarkkuus on yleensä  $\pm$  puoli puhtausluokkaa ISO 4406 -standardin mukaan. (Promaint 2013.)



Kuva 18. Esimerkki induktiivisesta anturista (Promaint 2013)

Myös eristysvakio voidaan määrittää sähköisillä mittauksilla. Sen määrittämisessä mitattavia suureita ovat sähkönjohtavuus ja dielektrisyys. Kun öljy vanhenee ja siihen alkaa muodostumaan happeja, alkaa sen polaarisuudessa tapahtumaan myös muutoksia. Suhteellisen dielektrisyden mittauksella pystytään määrittämään öljyn polaarisuus ja näin ollen sen vanhenemisprosessin etenemistä voidaan seurata. (Promaint 2013.) Eristysvakion arvoon vaikuttavia tekijöitä ovat ikääntymisprosessin seurauksena syntyvien vanhenemistuotteiden (hapettuminen ja lisäaineiden loppuun kuluminen) lisäksi vesi ja epäpuhtauspartikkelit (Promaint 2014).

Tiheys on myös hyvä indikaattori tunnistaa öljyn sekaan päässeitä vieraita aineita. Esimerkiksi veden sekoittuessa öljyyn on se helppo tunnistaa niiden erilaisesta pintajännityksestä. Muutos öljyn tiheydessä johtuu yleensä veden lisäksi järjestelmään lisäystä vääränlaisesta öljystä, yhteensopivan hiilivetyaineen aiheuttamasta laimentumisesta tai lämpötilan ja paineen muutoksesta. (Promaint 2014.)

Öljyn lämpötilan seuraaminen on jokaisen hydraulikka- ja öljyvoidellun järjestelmän perusasioita. Lämpötilan seuraaminen on ollut helposti mahdollista jo ennen digitalisaation kehitystä neste- tai metallikierukoihin pohjautuvilla mittareilla. Tyyppillinen lämpötilan nousu indikoi kitkan ja kulumisen lisääntymisestä järjestelmän eri komponenteissa. Järjestelmän lämpötilan seuraaminen on tärkeää myös viskositeetin kannalta, koska se on riippuvainen sen muutoksista. Kuva 19. Eristysvakion, lämpötilan, tiheyden ja viskositeetin mittaukseen käytettävä online-anturi (Promaint 2014) (Promaint 2014.)

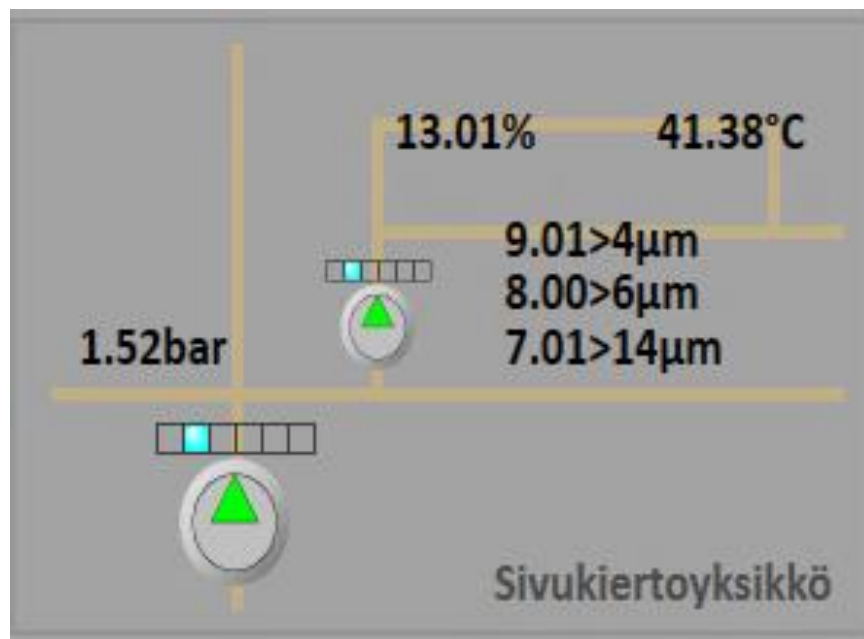


Kuva 19. Eristysvakion, lämpötilan, tiheyden ja viskositeetin mittaukseen käytettävä online-anturi (Promaint 2014)

## 8.2 Automaatiojärjestelmä

Kittilän kaivoksen rikastamolla on käytössä Abb Workplace System 800xA prosessinohjausjärjestelmä. Järjestelmän kautta operoidaan ja valvotaan rikastamon tuotantoprosessia kokonaisvaltaisesti etänä erillisestä valvomosta. Järjestelmää voidaan siis käyttää joko operointiin tai pelkkään valvomiseen etänä mistä päin maailmaa tahansa.

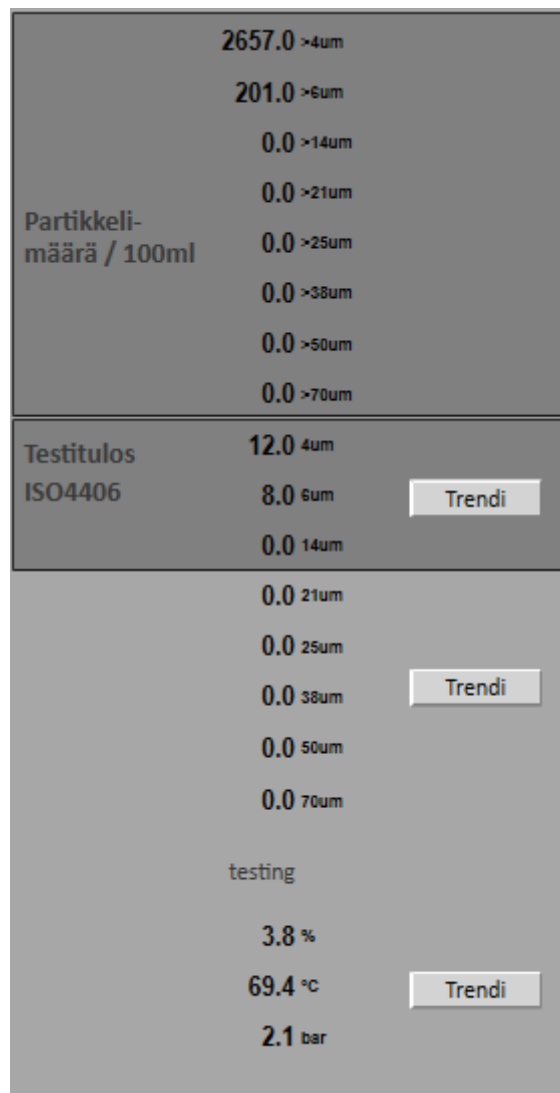
Myös molempien myllyjen ja autoklaavin sekoittajien voiteluöljyjärjestelmiä valvotaan järjestelmän avulla. Järjestelmä on helposti ohjelmoitavissa ja muokattavissa asiakkaan toiveiden mukaan. Kyseisiin kohteisiin on myös rakennettu omat valvontajärjestelmät. Kuva 20 on myllyjen sivukiertoyksikön näkymä prosessinohjausjärjestelmästä. Järjestelmästä voidaan tarkkailla sivukiertoyksikön suodatuksen painetta, öljyn suhteellista kosteusprosenttia, öljyn lämpötilaa, ja ISO 4406 -standardin mukaisia puhtausluokituksia.



Kuva 20. Myllyjen sivukiertoyksikkö (Agnico Eagle Finland Oy 2021e)

Myllyjen sivukiertoyksiköiden instrumentit ovat Hydacin valmistamia. Hiukkaslasakuri on CS1220- mittalaite ja öljyn kosteutta tarkkailee AS1008- anturi.

Autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikat uusittiin vuosina 2020–2021, jolloin niiden öljyn kunnonvalvontalaitteisto myös uudistui. Partikkelilaskennasta vastaa Mpfilt-rin ICM 2.0- mittalaite, joka pystyy havaitsemaan ja informoimaan monipuolisesti eri partikkelikokoja. ISO 4406 -standardin lisäksi ICM 2.0 pystyy erottelemaan  $\geq 21$ ,  $\geq 25$ ,  $\geq 38$ ,  $\geq 50$  ja  $\geq 70$  mikrometrin kokoiset partikkelit, sekä öljyn lämpötilan ja suhteellisen kosteuden. Öljyn laatua tarkkailee Tandeltan valmistama OQSx-anturi. Kuva 21 on näkymä autoklaavin sekoittajan vaihdelaatikon öljyn kunnonvalvonnan mittauksista prosessinohjausjärjestelmässä.



Kuva 21. Autoklaavin sekoittajan vaihdelaatikon öljyn kunnonvalvonnan mittauksia (Agnico Eagle Finland 2021c)



## 9 PUHTAUSLUOKITUKSIEN RAJA-ARVOT

Puhtausluokkia määriteltäessä täytyy huomioida järjestelmän käyttöpaine, pumpujen tyyppi, käyttökohteet, venttiilien tyyppi ja laakereiden tyyppi. Myös käyttökohteessa vallitsevien olosuhteiden vaativuus huomioidaan määrittelyssä. Yleinen suositus on, että puhtaudeksi määritellään yhtä puhtausluokkaa parempi luokitus kuin mitä järjestelmän herkin komponentti vaatii. (Hydac filter systems. 2020, 22.) Mikäli laitos on määritelty oman kriittisyysluokituksen laitteelle, tulee myös se huomioida puhtausluokkien raja-arvoja määriteltäessä. Aina ensimmäisenä olisi hyvä tutustua laitevalmistajan manuaaliin ja sieltä mahdollisesti löytyviin suosituksiin. Mikäli valmistaja ei ole suosituksia antanut, täytyy informaatiota etsiä muista luotettavista lähteistä. Mikäli puhtausluokat on määritelty toissijaisesta lähteestä, on hyvä suorittaa vertailua määritetyn puhtausluokan, laitteessa olevien komponenttien/ominaisuuksien ja laitevalmistajan suositteleman suodatimen suodatustarkkuuden välillä.

Kuva 22 on ISO 4406 -standardin mukaiset puhtaussuositukset eriteltynä käyttökohteen olosuhteiden ja ominaisuuksien mukaan (Hydac filter systems. 2020, 22).

### ISO 4406 puhtaussuositukset eri komponenteille:

	Matala ja keskipainejärjestelmät < 140 bar		Korkeapainejärjestelmät 140...200 bar (matala ja keskipaine järjestelmät joissa vaativat olosuhteet (1))		Korkeapainejärjestelmät > 200 bar (korkeapainejärjestelmät 140...200 bar, joissa vaativat olosuhteet (1))	
	ISO 4406 Tavoitepuhtaus	Suodatustarkkuus µm	ISO 4406 Tavoitepuhtaus	Suodatustarkkuus µm	ISO 4406 Tavoitepuhtaus	Suodatustarkkuus µm
<b>Pumput ja moottorit:</b>						
Hammasyövä tai siipi	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Mäntäpumppu	19/17/14	10	18/16/13	5	17/15/12	3
Siippumppu, säätävä	18/16/13	5	17/15/12	3		
Mäntäpumppu, säätävä	18/16/13	5	17/15/12	3	16/14/11	3 (2)
<b>Käytöt</b>						
Sylinterit	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Hydrostaattinen voimansiirto	16/15/12	3	16/14/11	3 (2)	15/13/10	3 (2)
Testipenkit	15/13/10	3 (2)	15/13/10	3 (2)	15/13/10	3 (2)
<b>Venttiilit</b>						
Vastaventtiili	20/18/15	20	20/18/15	20	19/17/14	10
Suuntaventtiili	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Virransäätöventtiili	20/18/15	20	19/17/14	10	18/16/13	5
Istukkaventtiili	19/17/14	10	18/16/13	5	17/15/12	3
Proportionaaliventtiili	17/15/12	3	17/15/12	3	16/14/11	3 (2)
Servoventtiili	16/14/12	3 (2)	16/14/11	3 (2)	15/13/10	3 (2)
<b>Laakerit</b>						
Liukulaakeri	18/15/12	10				
Vaihdelaatikko	17/15/12	10				
Kuulalaakeri	15/13/10	3				
Rullalaakeri	16/14/11	5				

(1) = Vaativat olosuhteet; paljon virtausvaihteluita, paineipikkejä, kylmästartteja, erittäin likaiset ympäristöolosuhteet, korkea veden riski järjestelmässä  
(2) = Järjestelmässä tulee olla vähintään kaksi tai useampia suodatimia, jotta puhtaustaso saavutetaan sekä saadaan ylläpidettyä

Kuva 22. ISO 4406 puhtaussuositukset eri komponenteille (Hydac filter systems. 2020, 22)

## 9.1 SAG- ja kuulamylyly

Laitevalmistajan manuaalista ei löytynyt puhtaussuosituksia SAG- ja kuulamylylyn voiteluyksiköiden öljylle. Puhtaussuosituksia määriteltäessä käytetään Hydacin tekemään taulukkoa, jossa edetään järjestelmällisesti huomioiden kaikki mahdolliset muuttujat. Kuulamylylyn hydrostaattisten laakereiden käyttöpaine on hieman alhaisempi, kuin SAG-myllyn, mutta laitteiden kriittisyysluokitus huomioiden ne luokitellaan samaan kategoriaan.

Kuva 23 mukaan saadaan SAG- ja kuulamylylyn voiteluyksikön ja hydrostaattisten laakereiden (liukulaakereiden) puhtausluokitukseksi määriteltyä 18/15/12. SAG-myllyn pinionin laakerointi saa voitelunsa myös samalta yksiköltä ja taulukon mukaan sen puhtausluokitus (rullalaakeri) on 16/14/11. Skf suosittelee laakerien kunnossapito-oppaassa laakereille, joiden reiän halkaisija on <100mm puhtausluokkaa 18/15/12 ja laakereille, joiden reiän halkaisija on >100mm, voitaisiin sallia huonompi puhtausluokka (SKF-laakerien kunnossapito 2016, 212). SAG-myllyn pinionin laakerit ovat Skf:n valmistamat ja niiden reiän halkaisija on suurempi kuin 100mm, joten niissä voitaisiin sallia puhtaustasoa 18/15/12 huonompikin luokitus. Taulukossa määrittelyn merkitseväksi komponentiksi jää siis liukulaakeri, jonka puhtausluokitus on 18/15/12 ja suodatustarkkuus 10 µm, joka vastaa laitetoimittajan suodattimen suodatustarkkuutta. Yleisen suosituksen mukaan puhtausluokat määritellään yhtä luokkaa paremmaksi, joten lopulliset puhtausluokitukset ovat SAG- ja kuulamylylyllä 17/15/12.

## ISO 4406 puhtaussuositukset eri komponenteille:

	Matala ja keskipainejärjestelmät < 140 bar		Korkeapainejärjestelmät 140...200 bar (matala ja keskipaine järjestelmät joissa vaativat olosuhteet (1))	
	ISO 4406 Tavoitepuhtaus	Suodatustarkkuus µm	ISO 4406 Tavoitepuhtaus	Suodatustarkkuus µm
<b>Pumput ja moottorit:</b>				
Hammaspyörä tai siipi	20/18/15	20	19/17/14	10
Mäntäpumppu	19/17/14	10	18/16/13	5
Siipipumppu, säätävä	18/16/13	5	17/15/12	3
Mäntäpumppu, säätävä	18/16/13	5	17/15/12	3
<b>Käytöt</b>				
Sylinterit	20/18/15	20	19/17/14	10
Hydrostaattinen voimansiirto	16/15/12	3	16/14/11	3 (2)
Testipenkit	15/13/10	3 (2)	15/13/10	3 (2)
<b>Venttiilit</b>				
Vastaventtiili	20/18/15	20	20/18/15	20
Suuntaventtiili	20/18/15	20	19/17/14	10
Virransäätöventtiili	20/18/15	20	19/17/14	10
Istukkaventtiili	19/17/14	10	18/16/13	5
Proportionaaliventtiili	17/15/12	3	17/15/12	3
Servoventtiili	16/14/12	3 (2)	16/14/11	3 (2)
<b>Laakerit</b>				
Liukulaakeri	18/15/12	10		
Vaihdelaatikko	17/15/12	10		
Kuulalaakeri	15/13/10	3		
Rullalaakeri	16/14/11	5		

Kuva 23. ISO 4406 puhtaussuositukset eri komponenteille (Hydac filter systems. 2020, 22)

Määritetyt puhtausluokitusarvot ohjelmoidaan prosessinohjausjärjestelmään. Samat arvot toimivat myös hälytysrajoina, joista tulee hälytys, mikäli ne ylittyvät.

## 9.2 Autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikot

Autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikot ovat sen verran uudet, että niiden manuaalista löytyy laitevalmistajan suosittama vähimmäispuhtaustaso, joka on 20/17/14. Laitevalmistajan määrittelemän suodattimen suodatustarkkuus on 10µm, joka riittäisi Kuva 23. ISO 4406 puhtaussuositukset eri komponenteille (Hydac filter systems. 2020, 22)mukaan 17/15/12 puhtausluokitukseen (vaihdelaatikko). Laitteiden kriittisyysluokitus ja yleinen suositus huomioiden puhtausluokitukseksi määritetään 17/15/12.

Määritetyt puhtausluokitusarvot ohjelmoidaan prosessinohjausjärjestelmään. Samat arvot toimivat myös hälytysrajoina, joista tulee hälytys, mikäli ne ylittyvät.

## 10 POHDINTA

Opinnäytetyön aihealue oli entuudestaan minulle tuttu ja näin ollen tiedonhaku sujui kohtalaisen luontevasti. Aikataulullisesti työ valmistui suunnitelman mukaan. Tiedonhakua tehdessä oli mielenkiintoista huomata, kuinka paljon laitekanta on kehittynyt eteenpäin muutamassa vuodessa, ja mitä kaikkea mahdollisuuksia se on luonut öljylaitteiden käynninaikaiseen kunnonvalvontaan. Laitteiden hinnat ovat myös laskeneet huomattavasti muutamassa vuodessa. Hankintahintoihin nähden laitteilla mahdollisesti saavutettava hyöty on todella hyvä ja voinkin lämpimästi suositella kaikille kyseisten seurantajärjestelmien hankkimista ja hyödyntämistä ennakoivassa kunnossapidossa.

SAG- ja kuulamylyn manuaalista ei löytynyt laitevalmistajan suosittelemaa ISO -standardin mukaista puhtausluokitusta, joten niiden määrittelyssä apuna oli Hydacin tekemä ISO 4406 puhtaussuosituksien eri komponenteille -taulukko. Taulukkoa apuna käyttäen vertaamalla laitteiden eri ominaisuuksia, komponentteja ja myös kriittisyysluokitus huomioiden saatiin puhtausluokitukset ja hälytysrajat prosessinohjausjärjestelmään määritettyä.

Autoklaavin sekoittajien vaihdelaatikot ovat uudehkot, joten niiden manuaalista löytyi laitevalmistajan suosittelema ISO -standardin mukainen puhtausluokitus. Puhtausluokituksen suoritettiin vertailua suodatustarkkuuden, laitteen ominaisuuksien ja määritetyn kriittisyysluokituksen perusteella, joiden avulla hälytysrajat määritettiin prosessinohjausjärjestelmään.

SAG- ja kuulamylyn öljyn kunnonvalvontalaitteet olisi hyvä päivittää uudempiin versioihin, esimerkiksi Hydacin HLB 1400- anturiin, jolla voidaan seurata öljyn kuntoa ja MCS 1000- partikkelianturiin, jolla voidaan tarkkailla ferromagneettisia partikkeleita >150...70 $\mu$ m kokoluokassa ja ei-ferromagneettisia partikkeleita >400...200 $\mu$ m kokoluokassa. Näillä päivityksillä saataisiin lisää arvokasta tietoa voitelujärjestelmien kunnosta. Autoklaavilla olevat laitteet ovat uudehkoja, eivätkä ne välttämättä vaadi uudistuksia.

## LÄHTEET

Agnico Eagle Finland 2021a. Autoklaavin käyttöohje. Yrityksen sisäinen intranet. Viitattu 30.11.2021

Agnico Eagle Finland 2021b. Kittilän kaivoksen historia. Yrityksen sisäinen intranet. Viitattu 20.11.2021

Agnico Eagle Finland 2021c. Kittilän kaivos. Viitattu 20.11.2021  
<https://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/toiminta/>

Agnico Eagle Finland 2021d. Rikastamon prosessikaavio. Yrityksen sisäinen intranet. Viitattu 20.11.2021

Agnico Eagle Finland 2021e. SAG-myllyn käyttöohje. Yrityksen sisäinen intranet. Viitattu 20.11.2021

Agnico Eagle Finland 2021f. Valokuvat. Viitattu 20.11.2021  
<https://agnicoeagle.fi/fi/media/valokuvat/>

Agnico Eagle 2021a. 60th Anniversary. Viitattu 20.11.2021  
<https://www.agnicoeagle.com/English/60th-anniversary/default.aspx#timeline>

Agnico Eagle 2021b. News & Events. Viitattu 20.11.2021  
<https://www.agnicoeagle.com/English/investor-relations/news-and-events/news-releases/news-release-details/2021/Agnico-Eagle-and-Kirkland-Lake-Gold-Announce-Merger-of-Equals-to-Create-Highest-Quality-Senior-Gold-Producer/default.aspx>

David Brown Santasalo. 2017. Voiteluaineet teollisuusvaihteessa. MDI-170-E-FI 17.1.2008 ver. 21.04.2017

D&E Bearings 2021a. Tekniset suositukset. Käyttö. Viitattu 25.11.2021  
<https://debearings.fi/tekniset-suositukset/kaytto/>

D&E Bearings 2021b. Tekniset suositukset. Liukulaakerit. Viitattu 25.11.2021  
<https://debearings.fi/tekniset-suositukset/liukulaakeri/>

D&E Bearings 2021c. Tuotteet. Kartiorullalaakerit. Viitattu 25.11.2021  
<https://debearings.fi/product/kartiorullalaakerit/>

D&E Bearings 2021d. Tuotteet. Liukulaakerit. Viitattu 25.11.2021  
<https://debearings.fi/productcategory/liukulaakerit/>

D&E Bearings 2021e. Tuotteet. Monikerroslaakerit. Viitattu 25.11.2021  
<https://debearings.fi/productcategory/monikerroslaakerit/>

FAG Sales Europe - Finland 1998. Vierintälaakereiden voitelu. Viitattu 25.11.2021  
[https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/\\_shared\\_media/08\\_media\\_library/01\\_publications/schaeffler\\_2/publication/downloads\\_18/wl\\_81115\\_4\\_fi\\_fi.pdf](https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/_shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads_18/wl_81115_4_fi_fi.pdf)

Fluid Intelligence 2017. Öljyn puhtauden merkitys käyttövarmuuteen ja tuottavuuteen. Viitattu 8.12.2021  
<https://fi.fluidintelligence.fi/news/2017/11/6/ljyn-puhtauden-merkitys-kyttvarmuuteen-ja-tuottavuuteen>

Fluidlab 2021. Näin otat näytteen. Viitattu 18.12.2021  
<https://www.fluidlab.fi/naytteenotto/naytteenotto-ohjeet>

Fuchs 2021. Öljyanalyysit. Viitattu 17.12.2021  
<https://www.fuchs.com/fi/fi/tuotteet/palvelulinkit/oeljyanalyysit/>

Hydac filter systems 2020. Fluid Control Contamination Handbook. Viitattu 21.12.2021  
<https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO00000000000000000000000007603020011.pdf>

Kaivosvastuu 2022. 2020 Agnico Eagle Finland Oy. Viitattu 22.2.2022  
<https://www.kaivosvastuu.fi/yrityskortti/2020-agnico-eagle-finland-oy/>

Kivioja, S., Kivivuori, S. & Salonen, P. 2007. Tribologia: Kitka, kuluminen ja voitelu. 5. korj. p. Helsinki: Otatieto.

Pamas 2021. Cleanliness classes for oils & fuels. Viitattu 9.12.2021  
<https://blog.pamas.de/en/bedeutung-des-dreigliedrigen-codes-nach-iso-4406/>

Promaint 2011. Öljynäytteiden hiukkaslaskenta. Mekaniikan kunnonvalvontaa mikrometrin tarkkuudella. Viitattu 8.12.2021 [https://promaint-intra.net/wp-content/uploads/promaint\\_2011-5\\_s54-60.pdf](https://promaint-intra.net/wp-content/uploads/promaint_2011-5_s54-60.pdf)

Promaint 2013. Hydrauliiikan kunnonvalvonta. Viitattu 9.12.2021  
[https://promaint-intra.net/wp-content/uploads/promaint\\_2013-4\\_s38-40.pdf](https://promaint-intra.net/wp-content/uploads/promaint_2013-4_s38-40.pdf)

Promaint 2014. Mitä öljyssä tulee seurata? Viitattu 7.12.2021  
<https://promaintlehti.fi/Kunnonvalvonta-ja-kayttovarmuus/Mita-oljyssa-tulee-seurata>

Promaint 2018. Likapartikkelit ovat hydraulijärjestelmän riesa. Viitattu 11.12.2021 [https://promaint-intra.net/wp-content/uploads/promaint\\_2018-3\\_s22-25.pdf](https://promaint-intra.net/wp-content/uploads/promaint_2018-3_s22-25.pdf)

PSK 6201-3p. 2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK standardisointi. Viitattu 28.11.2021 <https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK6201.pdf>

PSK 7501-2 2010. Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. Helsinki: PSK Standardisointi. Viitattu 28.11.2021 [https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK7501\\_2p.pdf](https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK7501_2p.pdf)

PSK Standardisointi 2021. Yleistä. Viitattu 21.11.2021 <https://psk-standardisointi.fi/psk/yleista/>

SKF yhtymä 2016. SKF-laakerien kunnossapito. Viitattu 11.12.2021  
<https://www.skf.com/binaries/pub154/Images/0901d196805f9f76-SKF->

laakerien-kunnossapito---SKF-bearing-maintenance-handbook---10001\_1-  
FI\_tcm\_154-290853.pdf

Suomen tribologiyhdistys Ry 2021. Mitä tribologia on? Viitattu 1.12.2021  
<http://www.tribologysociety.fi/index.php?s=tribologia>

Teboil voiteluaineet 2021. Sanastoa. Viitattu 10.12.2021 <https://teboil-voiteluaineet.fi/hd/sanastoa/>

## LIITTEET

Liite 1. Fluidlab Oy öljyanalyysiraportti, Agnico Eagle Finland Oy intranet



## Liite 1 1(4)



## RAPORTTI

1(4)

22.9.201

Laboratorionumero:

## ASIAKAS

Agnico-Eagle Finland Oy  
Kittilän kaivos  
Pokantie 541  
99250 Kiistala  
YHTEYSHENKILÖ

## NÄYTE

Järjestelmä (kone/laite):  
Järjestelmän tunnus:  
Osasto / Projekt:  
Näytteenotto:  
Näytteenottaja:  
Öljy:  
Suodattimet:

Myllyn laakerin voiteluyksikkö

Neste Vaihteisto EP 460

Öljyn kunto

Kuluminen

Puhtaus

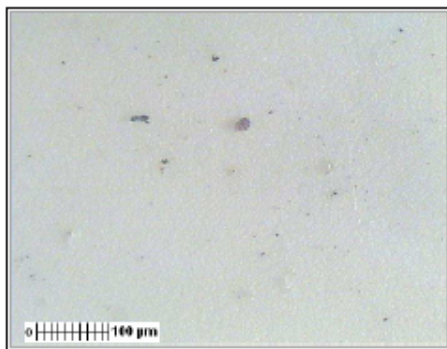
## KOMMENTIT JA DIAGNOOSI

Öljy on kemiallisesti normaalissa käyttökunnossa. Kiihtynyttä tai epätavallista kulumista ei havaittu. Öljy on kuivaa. Öljyn hiukkaspuhtaus on heikentynyt merkittävästi, mutta ympäristö huomioiden tilanne ei vielä ole kriittinen.  
Öljyn vaahtoamistapumus on lisääntynyt, erityisesti lämpimässä, mutta pysyvän vaahton määrä on suhteellisen vähäinen.

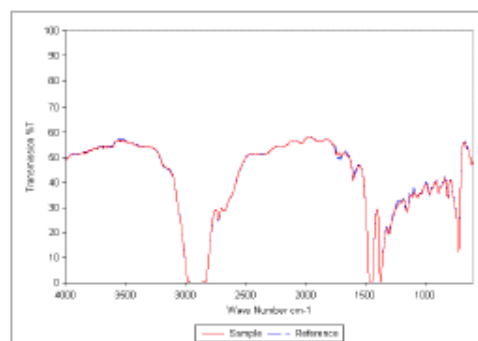
## TULOKSET

Näytteenottopäivä		1.9.2011	19.7.2011	9.3.2011	23.12.2010
Laboratorionumero		H31356	H30986	H29593	H28908
<b>ÖLJYN KUNTO</b>	<b>Menetelmä</b>				
Viskositeetti +40 °C	cSt ASTM D445	439,96	438,88	438,36	440,27
Viskositeetti +100 °C		29,71	29,76	29,51	29,71
Viskositeetti-indeksi	-	98	98	95	98
Väri	- ASTM 1500	5,5	6,5	6,5	6,5
Öljyn ulkonäkö		kirkas, rusk.	kirkas, rusk.	kirkas, rusk.	kirkas, rusk.
Öljyn hapettuminen	-TAN mgKOH / g ASTM D664	0,49	0,57	0,54	0,52
	-IR A / cm	1		1	2
	-Memb. väri	harmahtava	kellertävä	valkoinen	rusehtava
<b>Lisäaineet - ICP</b>	<b>ppm</b> <b>ASTM D5185</b>				
Kalsium		2	3	2	1
Magnesium		0	0	0	0
Boori		3	4	6	3
Sinkki		6	12	8	6
Fosfori		238	261	273	276
Barium		0	0	0	0
Rikki		13100	13100	16000	15400

Mikroskooppikuva: (suodatettu näytemäärä: 50 ml)



FT-IR-spektri



## Liite 1 2(4)



RAPORTTI

2(4)

22.9.2011

Laboratorionumero:

## TULOKSET

Näytteenottopäivä	1.9.2011	19.7.2011	9.3.2011	23.12.2010		
Laboratorionumero	H31358	H30986	H29593	H28908		
<b>JÄRJESTELMÄN KULUMINEN JA ÖLJYN KONTAMINAATIO</b>						
Menetelmä						
Kulumametallit - ICP	ppm	ASTM D5185				
Rauta	2	1	1	2		
Kromi	0	0	0	0		
Tina	0	0	0	0		
Alumini	0	0	0	0		
Nikkelä	0	0	0	0		
Kupari	1	0	1	1		
Lyijy	0	0	0	0		
Molybdeeni	0	0	0	0		
PQ-indeksi	-	OK	OK	OK		
Kontaminantit - ICP	ppm	ASTM D5185				
Pii	1	28	1	1		
Kalium	0	0	0	0		
Natrium	1	1	0	2		
Vesipitoisuus	ppm	ASTM D6304 C	70	80	40	10
Puhtausluokka	ISO4406	ISO4407	22/20/15	19/17/12	-/15/12	22/20/18
Hiukkaslaskenta (A=autom., M=mikrosk.)			M	M	M	M
ISO4406:1999	ISO4406					
> 4 µm	(> 2 µm)	kpl / 100 ml	2300000	400000		2500000
> 6 µm	(> 5 µm)		580000	110000	23000	650000
> 10 µm	(> 10 µm)					
> 14 µm	(> 15 µm)		19000	3800	3800	160000
> 21 µm	(> 20 µm)					
> 25 µm	(> 25 µm)					
> 38 µm	(> 50 µm)					
> 70 µm	(> 100 µm)					
Visuaalinen hiukastunnistus (> 5 µm)	%	in-house				
Kirkas metalli			8	1	5	
Keltainen metalli			1		0	
Musta metalli			29	11	16	
Ruoste					0	
Silika ja muut pölym.			36	42	64	
Polymeerit			2	1	2	
Kuidut			1		1	
Muut			23	45	12	
<b>Lisäanalyysit</b>						
Vahtoaminen	Sekvenssi 1	ml/ml	ASTM D892	40/30		
Vahtoaminen	Sekvenssi 2	ml/ml	ASTM D892	600/10		
Vahtoaminen	Sekvenssi 3	ml/ml	ASTM D892	30/20		

## Liite 1 3(4)

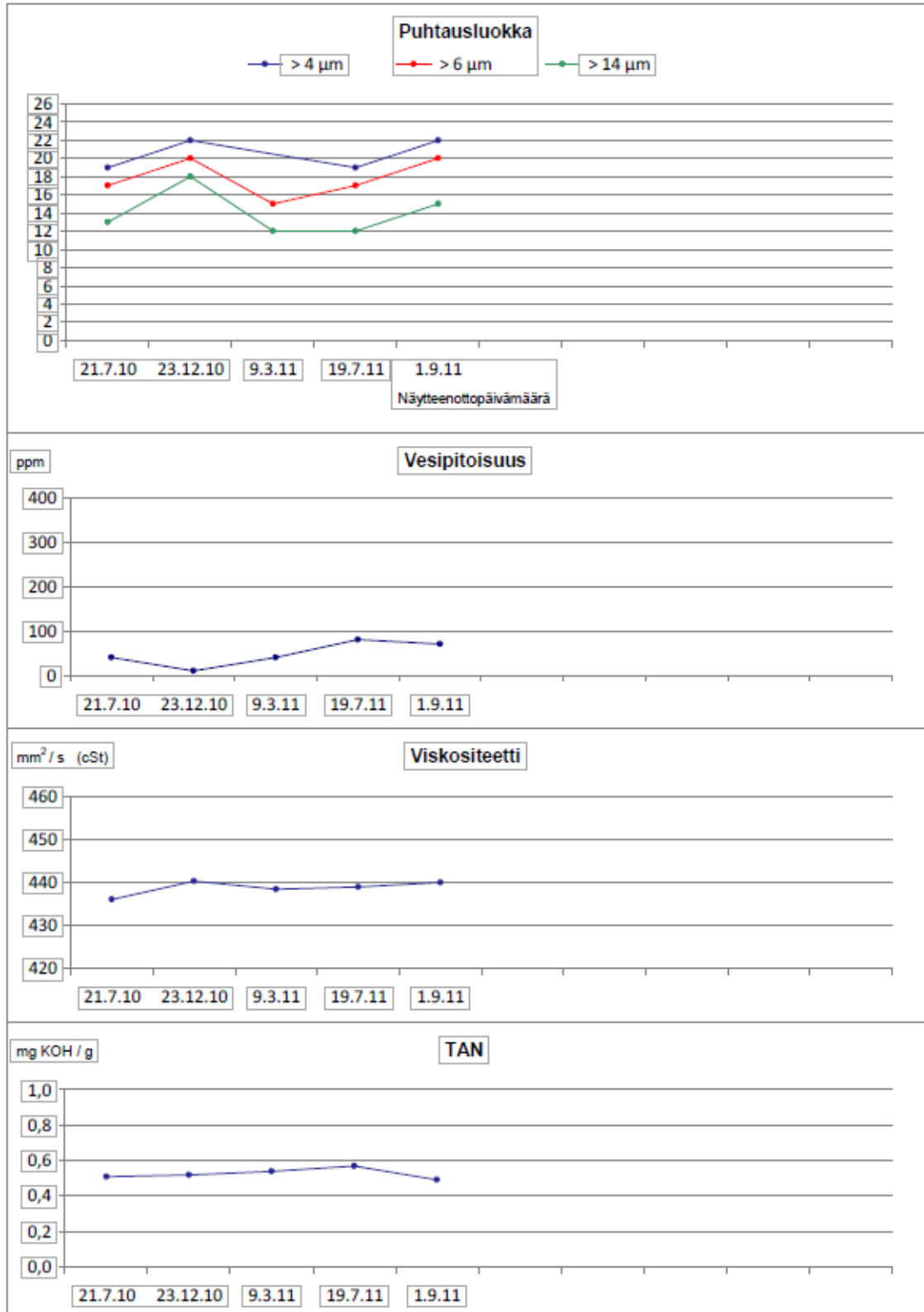


RAPORTTI

3(4)

22.9.2011

Laboratorionumero:



## Liite 1 4(4)



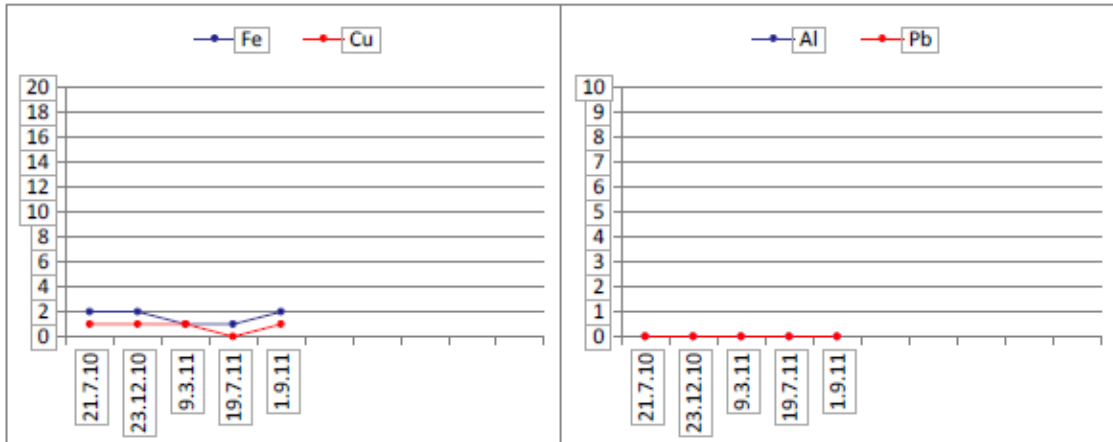
RAPORTTI

4(4)

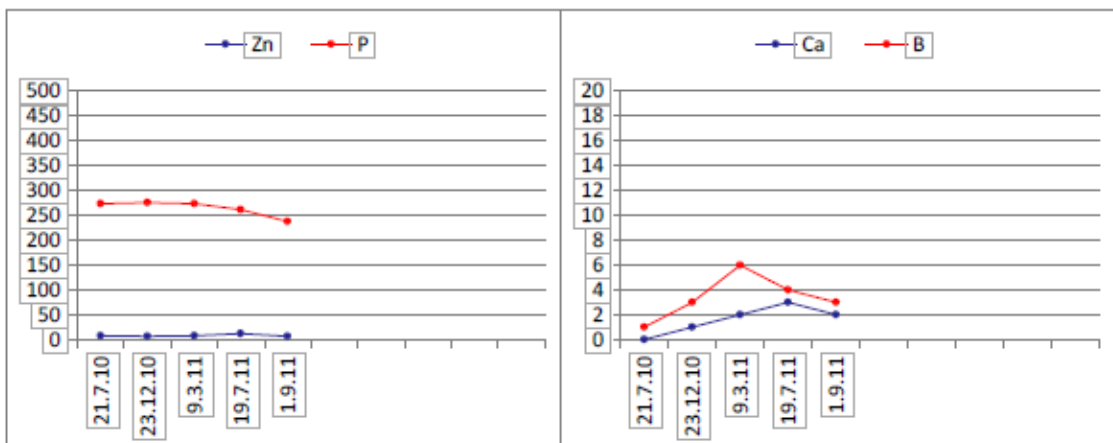
22.9.2011

Laboratorionumero:

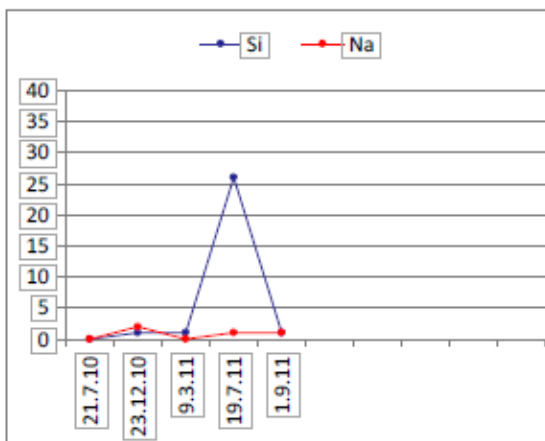
## Kulumametallit



## Lisäaineet



## Kontaminantit



## Rikkipitoisuus

