

# PASTAPUMPUN KUNNONVALVONNAN PARANTAMINEN

Korhonen Juuso

Opinnäytetyö  
Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

2022

Konetekniikka  
Insinööri (AMK)

---

<b>Tekijä</b>	Juuso Korhonen	<b>Vuosi</b>	2022
<b>Ohjaaja</b>	DI Petri Kesälahti		
<b>Toimeksiantaja</b>	Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Työn nimi</b>	Pastapumpun kunnonvalvonnan parantaminen		
<b>Sivu- ja liitesivumäärä</b>	47		

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli selvittää ja toteuttaa Kittilän kaivoksen pasta-laitoksen pastapumpun kunnonvalvonnan parantaminen. Tavoitteena oli selvittää kunnonvalvonnan nykytilanne ja mahdolliset käytettävyyteen liittyvät ongelma-kohdat sekä luoda näihin parannusratkaisu. Työssä keskityttiin erityisesti pum-pun hydraulikkayksikön kunnonvalvontaan.

Opinnäytetyö oli kehittämispainotteinen. Ensimmäisenä selvitettiin teoria-aineis-toa ja sen jälkeen siirryttiin käytännön toimenpiteisiin. Työssä käsiteltiin kunnos-sapidon, hydraulikan ja öljyn kunnonvalvonnan teoriaa, jonka pohjalta parannus-ratkaisua alettiin toteuttamaan. Työssä huomioitiin ennakoivan kunnossapidon mahdollisuudet pastapumpun käytettävyyden parantamiseen.

Työn tuloksena saatiin suunniteltua ja tilattua uusi hydraulikkakoneikon kunnon-valvontajärjestelmä, jonka sisältää ISO 4406 -standardiin pohjautuvan partikkeli-mittauksen ja öljyn laadunmittauksen. Lisäksi ongelmia aiheuttanut vanha kun-nonvalvontajärjestelmä saadaan samalla poistettua hydraulikkakoneikolta.

**Avainsanat** pastapumppu, kunnonvalvonta, ehkäisevä kunnossa-pito, hydraulikka

Mechanical Engineering  
Bachelor of Engineering

---

<b>Author</b>	Juuso Korhonen	Year	2022
<b>Supervisor</b>	Petri Kesälahti, M.Sc (Tech)		
<b>Commissioned by</b>	Agnico Eagle Finland Oy		
<b>Subject of thesis</b>	Improving the Condition Monitoring of the Paste Pump		
<b>Number of pages</b>	47		

---

The subject of this thesis was to examine and implement the improvement of the paste pump condition monitoring of the Kittilä mine's paste backfill plant. The goal was to find out the current situation of condition monitoring and possible problems related to availability and to create an improvement solution for these. The work focused especially on oil condition monitoring system of the pump's hydraulic unit.

The thesis was development oriented, where the theoretical material was first clarified and then moved on to practical measures. The work goes through the theory of maintenance, hydraulics, and oil condition monitoring, based on which the improvement solution was implemented. The work considered the possibility of preventive maintenance to improve the availability of the paste pump.

The result of the work was a design and an order off a new oil condition monitoring system for the paste pump hydraulic unit. The system includes an oil contamination sensor based on ISO 4406 standard and an oil condition sensor. In addition, at the same time the old condition monitoring system that caused problems can be removed from the hydraulic unit.

Key words                      paste pump, condition monitoring, preventive maintenance, hydraulics

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	AGNICO EAGLE.....	7
2.1	Agnico Eagle Finland .....	8
2.2	Rikastamo.....	8
2.3	Pastalaitos .....	9
3	KUNNOSSAPITO .....	11
3.1	Kunnossapitolajit.....	11
3.1.1	Ehkäisevä kunnossapito.....	13
3.1.2	Korjaava kunnossapito .....	13
3.1.3	Parantava kunnossapito.....	13
3.2	Tavoitteet.....	14
4	HYDRAULIIKKA .....	16
4.1	Hydraulijärjestelmä .....	16
4.2	Hydraulinesteet.....	19
4.3	Viskositeetti ja viskositeetti-indeksi .....	20
4.4	Järjestelmän ylläpito .....	22
5	ÖLJYN KUNNONVALVONTA .....	24
5.1	Öljyn kunnonvalvontamenetelmät.....	25
5.2	Öljyanalyysi.....	26
5.3	Käynninaikainen kunnonvalvonta .....	29
5.4	Puhtausluokitus .....	30
6	PASTAPUMPUN NYKYTILANTEEN KARTOITTAMINEN .....	32
6.1	Pastapumppu.....	32
6.2	Hydrauliikkakoneikko .....	34
7	KUNNONVALVONTA.....	36
7.1	Vesilaatikko.....	36
7.2	Öljyn kunnonvalvonta.....	37
8	KUNNONVALVONNAN PARANTAMINEN.....	40
8.1	Suunnittelu.....	40

8.2 Toteutus.....	41
9 POHDINTA.....	45
LÄHTEET.....	46

## 1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä kehitetään Agnico Eagle Finland Oy:n Kittilän kaivoksen rikastamon pastapumpun kunnonvalvontaa. Pastapumpulla pumpataan pastalaitoksella tuotettava pasta maanalaiseen kaivokseen louhosten täyttöön. Kunnonvalvonnan kehittämisen tarkoituksena on parantaa pastapumpun käytettävyyttä ja huoltojen ennakointia. Työ keskittyy pastapumpun hydraulikkakoneikon olemassa olevaan kunnonvalvontaan ja tämän järjestelmän toimintakunnon selvittämiseen. Tämänhetkinen kunnonvalvontajärjestelmä ei toimi halutulla tavalla, eikä sillä saada luotettavia mittaustuloksia koneikon kunnosta. Työssä käsitellään aluksi kunnossapidon, hydraulikan ja öljyn kunnonvalvonnan teoriaa. Teoria-ainestoa hyväksi käyttäen selvitetään olemassa olevan järjestelmän ongelmakohdat ja puutteet ja tämän pohjalta kehitetään uusi toimiva ratkaisu. Opinnäytetyö rajattiin käsittelemään pastapumpun hydraulikkakoneikkoa. Pastapumpun syötösuppilo, sylinteriputket, vesilaatikko, männät ja venttiilit jätettiin työn ulkopuolelle.

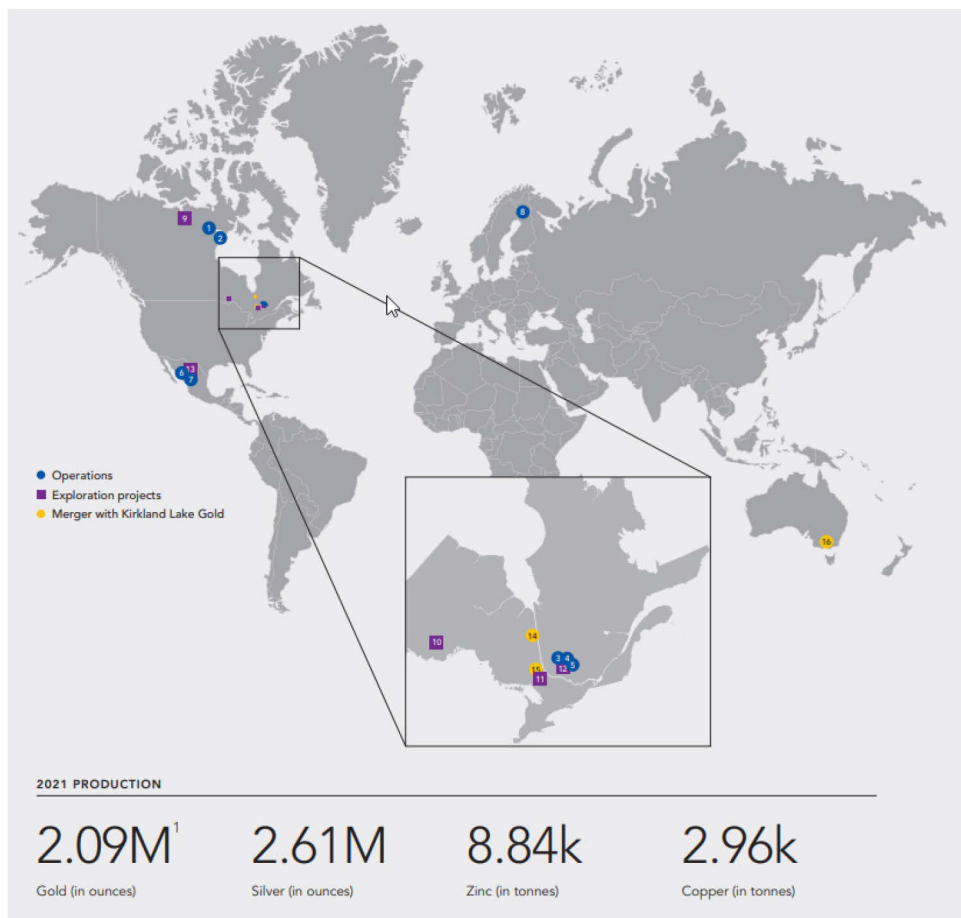
Käynninaikaisella hydraulikkakoneikon kunnonvalvonnalla seurataan öljyn laatua ja öljyn sisältämiä epäpuhtauksia sekä niiden kokojakaumaa. Näillä tiedoilla nähdään, mitä hydraulikkajärjestelmässä tapahtuu. Tämä auttaa ennakoimaan laitteiston huoltotarpeita ja vähentämään odottamattomia pastapumpun tuotantokatkoksia. Näin ollen huolto- ja korjaustoimenpiteet pystytään ajoittamaan rikastamon suunniteltuihin huoltokatkoihin. Lisäksi tarvittavat henkilö- ja materiaaliressurit pystytään suunnittelemaan etukäteen.

Pastalla eli rikastehiekan ja sementin seoksella täytetään maanalaiset louhokset ja on tärkeää, että ne saadaan täytettyä ajallaan ilman ylimääräisiä katkoja. Ylimääräiset pastan tuotantokatkot aiheuttavat ongelmia kaivoksen louhosten täyttöjärjestykseen sekä aikatauluihin. Louhinnan varmistaminen varmistaa myös rikastamon laadukkaan tuotannon.

## 2 AGNICO EAGLE

Agnico Eagle Mines Limited on vuonna 1957 perustettu kanadalainen kultakay-  
vosityhtiö, joka operoi 12:ta aktiivista kaivosta. Kaivokset sijaitsevat Kanadassa,  
Australiassa, Suomessa ja Meksikossa. Näiden alueiden lisäksi yhtiö harjoittaa  
malminetsintää ja potentiaalisten malmiesiintymien kehitystoimintaa Yhdysval-  
loissa ja Kolumbiassa. Vuonna 2021 kullantuotanto kaikilla yhtiön kaivoksilla oli  
yhteensä noin 2 miljoonaa unssia. (Agnico Eagle Mines Limited 2022a.)

Agnico Eagle Mines Limited yhdistyi vuoden 2022 helmikuussa kanadalaisen  
Kirkland Lake Gold:n kanssa. Yhdistymisen seurauksena uusi yritys jatkaa Ag-  
nico Eagle Mines Limited nimellä ja siitä tuli maailman neljänneksi suurin kulta-  
kayvosityhtiö. Kirkland Lake Gold hallinnoi kolmea suurta kaivosta. Kaksi näistä  
sijaitsee Kanadassa ja yksi Australiassa (kuva 1). Yhtiö on arvioinut vuoden 2022  
kokonaistuotannon olevan noin 3,3 miljoonaa unssia kultaa. (Agnico Eagle Mines  
Limited 2022b.)



Kuva 1. Agnico Eaglen kaivosten sijainnit (Agnico Eagle Mines Limited 2022c, 4)

## 2.1 Agnico Eagle Finland

Suomessa toimii tytäryhtiö Agnico Eagle Finland, joka omistaa Kittilän kunnassa sijaitsevan Suurikuusikon kultakaivoksen. Kittilän kaivos oli Agnico Eaglen ensimmäinen kaivos Kanadan ulkopuolella. Vuonna 1986 geologinen tutkimisryhmä sai ensimmäiset viitteet suurikuusikon kultaesiintymästä. GTK (Geologinen tutkimuskeskus) tutki esiintymää aina vuoteen 1998 asti, jolloin ruotsalainen Riddarhyttan AB osti valtausoikeudet esiintymään. Agnico Eagle kiinnostui esiintymästä ostaen vuonna 2005 Riddarhyttanin ja sai näin ollen oikeudet Suurikuusikon malmiesiintymään. Kaivoksen rakentamispäätös tehtiin heti perään jo vuonna 2006, ja ensimmäiset kultaharkot valettiin vuonna 2009. Kaivostoiminta alkoi kahdella avolouhoksella 2008, jotka päättyivät 2012, ja maanalainen louhinta alkoi vuonna 2010 jatkuen edelleen. (Agnico Eagle Finland 2022a.)

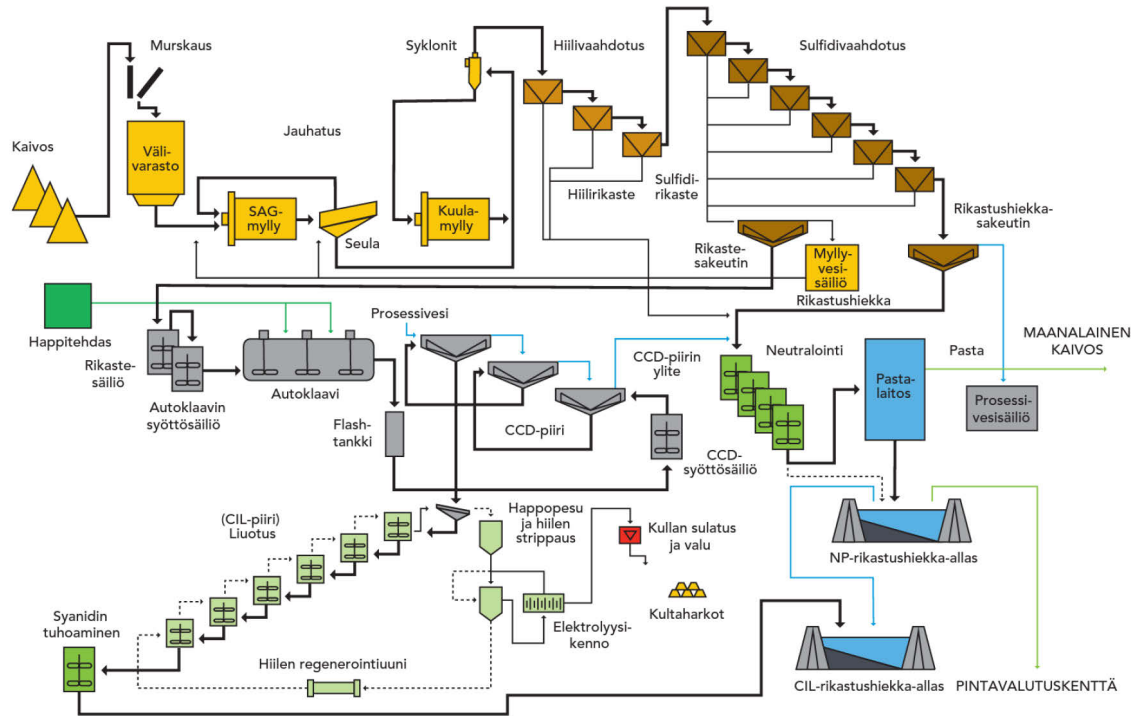
Kittilän kaivoksen tuotantokapasiteettia on kasvatettu kahdella laajennuksella, vuonna 2014 malmin prosessointikapasiteetti kasvatettiin 1,6 miljoonaan malmitonniin vuodessa ja vuonna 2021 kapasiteetti nostettiin 2 miljoonaan tonniin. Uusimman laajennuksen myötä kullantuotanto on noin 7000 kiloa vuodessa. Rakenteilla on myös kaivoskuilu, joka ulottuu 1044 metrin syvyyteen maanalle. Kuilu mahdollistaa kustannustehokkaan malminlouhinnan kaivoksen syvemmillä sijaitsevista malmioista. Kaivoksen odotetaan toimivan aina vuoteen 2034 saakka, mutta toiminta-aika voi jatkua hyvien malminetsinnän tulosten ansiosta. Kaivos työllistää noin 500 omaa ja 500 urakoitsijan työntekijää. (Agnico Eagle Finland 2022b.)

## 2.2 Rikastamo

Kaivoksesta louhittu malmi käsitellään rikastamalla kuvan 2 prosessikaavion mukaisesti valmiiksi kultaharkoksi. Rikastusprosessi muodostuu useammasta eri vaiheesta. Prosessi alkaa malmin murskauksesta ja jauhatuksesta sopivaan rae-kokoon jatkokäsittelyjä varten. Jauhatuksen jälkeen malmi vaahdotetaan kahdessa vaiheessa, sulfidi- ja hiilivaahdotuksessa, joissa tuotetaan sulfidimineraalirikastetta ja rikastushiekkaa. Sulfidirikaste sakeutetaan, jonka yhteydessä siitä poistetaan kloridit ennen autoklaaviin syöttämistä. Autoklaavi on jatkuvatoiminen painehapetuslaitteisto, jossa rikasteen sisältämät sulfidit hapettuvat. Autoklaavin



tuottama hapan rikaste pestään ennen sen syöttämistä CIL-piiriin (Carbon in Leach), jossa kulta liuotetaan ja adsorboidaan aktiivihieleen. Aktiivihielestä kulta erotetaan niin sanotussa strippaus piirissä ja saostetaan uuttoliuoksesta elektrolyttisessä rikastuskennossa. Tämän jälkeen kulta sulatetaan ja valetaan valmiiksi harkoiksi. (Agnico Eagle Finland Oy 2020.)



Kuva 2. Rikastamon prosessikaavio (Agnico Eagle Finland 2017)

Prosessissa syntyvä rikastushiekka neutraloidaan neutralointipiirissä, joka koostuu kuudesta sarjaan yhdistetystä sekoitussäiliöstä. Neutralointiin tuleva karbonaattisisältö sekä sinne syötettävä kalkkimaito neutraloi lietteen ja nostaa pH:n halutulle tasolle. Neutraloitu rikastehiekka pumpataan pastalaitokselle, missä se sakeutetaan jatkokäsittelyä varten. Rikastehiekasta noin 20 % käytetään maanalaisten louhoksien täyttöön pastan muodossa. Pastalaitokselta rikastehiekka pumpataan rikastehiekka-altaille, missä se jatkokäsitellään sulfaatinpoistolaitoksella. (Agnico Eagle Finland Oy 2020.)

### 2.3 Pastalaitos

Pastalaitos on rikastamon alaisuudessa toimiva pastan tuotantolaitos. Pasta on sementin, rikastehiekan ja veden seos, joka kuivuessaan kovettuu kuin betoni.

Pastalla täytetään maanalla sijaitsevat tyhjäksi louhitut louhokset. Pastantuotanto koostuu rikastehiekan suodatuksesta, missä vesi erotetaan lietteestä. Tämän jälkeen rikastehiekkaan sekoitetaan sementtiä ja vettä sopivassa suhteessa. Tästä seoksesta käytetään nimitystä pasta. Pasta pumpataan lopuksi pastapumpulla putkia pitkin maanalle täytettäviin louhoksiin.

Pastalaitokselle tuleva rikastehiekka sakeutetaan sakeuttimessa, mistä ylite johdetaan takaisin rikastusprosessiin ja rikastehiekka pastalaitoksen käyttöön lietesäiliöön. Lietesäiliöstä liete pumpataan kiekkosuotimille missä ylimääräinen vesi poistetaan alipainesuodatuksella. Tämän jälkeen kiinteään rikastehiekkaan sekoitetaan vettä ja lisätään sementtiä, jotta haluttu pastan koostumus saavutetaan. Sekoituksen jälkeen pasta pumpataan pastapumpulla putkistoa pitkin maanalle täytettävään louhokseen. Pastan sekoitussuhteeseen vaikuttaa haluttu kuivumisaika ja kuivumisen jälkeinen kovuus. (Agnico Eagle Finland Oy 2020.)

Tässä opinnäytetyössä keskitytään pastalaitoksen pastapumpun kunnonvalvontaan ja sen parantamiseen. Pastalaitoksen käyntiaste on korkea, mutta pastapumppua ei ole kahdennettu, joten pumpun käyntikuntoon on kiinnitettävä erityistä huomiota. Kahdentamisella tarkoitetaan tilannetta, missä varalaitte on koko ajan käyttövalmiudessa, mikäli päälaitteelle tulee tuotannon laatuun heikentävästi vaikuttava toimintahäiriö. Kahdennettu järjestelmä antaa aikaa huoltaa ja korjata laitteisto vaikuttamatta laitoksen tuotantoon ja käyntiasteeseen.

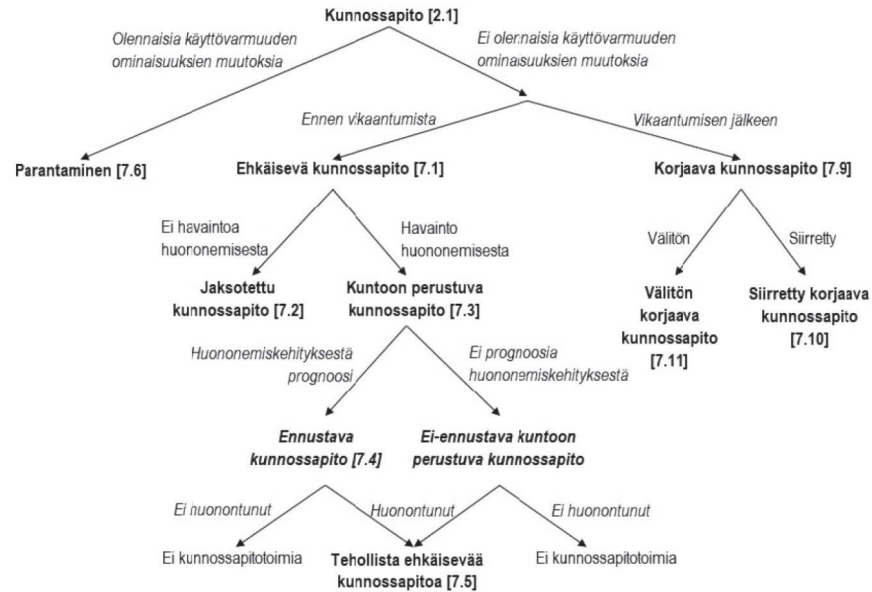
### 3 KUNNOSSAPITO

Standardeissa kunnossapidon määrittely liikkuu yleensä vain korjaavaan kunnossapitoon liittyvän käsitteistön ympärillä, mutta käsitys on nyky maailmassa melko suppea. Kunnossapito on osa tuotanto-omaisuuden hallintaa, ylläpitämistä, säätämistä, säilyttämistä ja kehittämistä. Tuotanto-omaisuudella tarkoitetaan resursseja, joita yritys tarvitsee toimintansa ylläpitämiseksi. Näitä ovat esimerkiksi koneet ja laitteet, kiinteistöt sekä maa-alueet. (Järviö & Lehtiö 2017, 19.)

Monesti kunnossapito mielletään vain rikkoutuneiden laitteiden tai komponenttien korjaustoiminnaksi, mutta se ei ole kuitenkaan kunnossapidon päätarkoitus vaan osa suurempaa kokonaisuutta. Kunnossapidolla pyritään pitämään laitteet toimintavarmoina ja jatkuvasti käyttökuntoisina. (Mikkonen 2009, 25.) SFS EN 13306:2017 standardi määrittelee kunnossapidon seuraavasti: *Kaikki koneen elinjakson aikaiset tekniset, hallinnolliset ja liikejohdolliset toimenpiteet, joiden tarkoitus on ylläpitää tai palauttaa koneen toimintakyky sellaiseksi, että kone pysyy suorittamaan halutun toiminnon* (SFS-EN 13306:2017, 5).

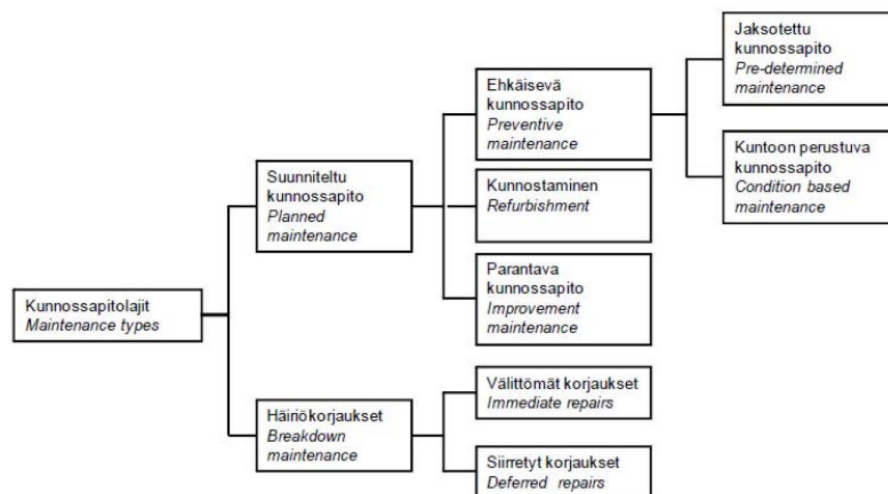
#### 3.1 Kunnossapitolajit

Kunnossapitoon liittyvää terminologiaa ja määrittelyä on monenlaista ja niitä käytetään monin eri tavoin. Kuitenkin yhtenäisten käsitteiden käyttäminen on välttämätöntä, jotta asioita voidaan käsitellä yksiselitteisesti. Kunnossapito voidaan jakaa usealla eri tavalla. SFS-EN 13306:2017 standardi jakaa kunnossapidon toimenpiteet kuvassa 3 esitetyllä tavalla vian havaitsemisen mukaan ehkäisevään, korjaavaan ja parantavaan kunnossapitoon. Ehkäisevä kunnossapito toteutetaan ennen kuin vika pysäyttää laitteen, mutta kun laite pysähtyy, suoritetaan korjaavaa kunnossapitoa. Parantava kunnossapito puolestaan kehittää käyttövarmuuteen liittyviä tekijöitä. (Järviö & Lehtiö 2017, 46.)



Kuva 3. Kunnossapitolajit SFS standardin mukaan (SFS-EN 13306:2017, 22)

PSK standardisointi on luonut standardin PSK 6201:2011, joka jakaa kunnossapitolajit hieman eri tavalla. Jako tapahtuu kuvan 4 mukaan: ovatko ne suunniteltuja vai aiheuttavatko ne tuotantohäiriön. Suunniteltuun kunnossapitoon kuuluvat ehkäisevä kunnossapito, kunnostaminen ja parantava kunnossapito. Ehkäisevän kunnossapidon alle kuuluu jaksotettu kunnossapito ja kuntoon perustuva kunnossapito. Häiriökorjaukset sisältävät välittömät korjaukset ja siirretyt korjaukset. (Järviö & Lehtiö 2017, 47.)



Kuva 4. Kunnossapitolajit PSK standardin mukaan (PSK 6201:2011)

### 3.1.1 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon menetelmillä pyritään tarkkailemaan laitteen tai osan kuntoa ja suorituskykyä ennen vian ilmenemistä. Menetelmien tarkoituksena on vähentää laitteen vikaantumisen ja toimintakyvyn heikkenemisen mahdollisuutta tai estää se kokonaan ennakoivalla toiminnalla. Ennakoivat toimet voivat olla säännöllisesti aikataulutettuja tai jatkuvasti tapahtuvia toimenpiteitä. Ehkäisevään kunnossapitoon kuuluu myös tulosten perusteella tapahtuvia suunniteltuja ja aikataulutettuja toimenpiteitä. (Järviö & Lehtiö 2017, 50.)

Ehkäisevää kunnossapitoa ovat muun muassa tarkastukset, kuntoon perustuva kunnossapito sisältäen kunnonvalvonnan ja kuntoon perustuvan suunnitellun korjauksen, määräystenmukaisuuden toteamisen, testaamisen ja toimintakunnon toteamisen, käynninvalvonnan ja vikaantumistietojen analysoinnin. Näitä toimintoja voidaan suorittaa laitteen ollessa käynnissä tai seisokin aikana. (Järviö & Lehtiö 2017, 50.)

### 3.1.2 Korjaava kunnossapito

Korjaavaa kunnossapitoa toteutetaan vian havaitsemisen jälkeen, tavoitteena palauttaa laite tai komponentti siihen tilaan, missä se voi toimia suunnitellusti. Laite tai komponentti palautetaan käyttökuntoon korjaamalla se vikaa edeltävälle tasolle. Korjaukset voivat olla joko ennakoimattomia häiriökorjauksia tai suunniteltuja kunnostuksia. (Järviö & Lehtiö 2017, 51.)

Korjaavaa kunnossapitoa ovat vian määrittäminen, vian tunnistaminen sekä vian paikallistaminen. Korjaukset voidaan suorittaa joko välittömästi vian ilmettyä tai myöhempänä ajankohtana vian laajuuden mukaan. Tällöin voidaan tehdä väliaikainen korjaus, jotta pysyvä korjaus voidaan toteuttaa prosessin kannalta parempana aikana. (Järviö & Lehtiö 2017, 51.)

### 3.1.3 Parantava kunnossapito

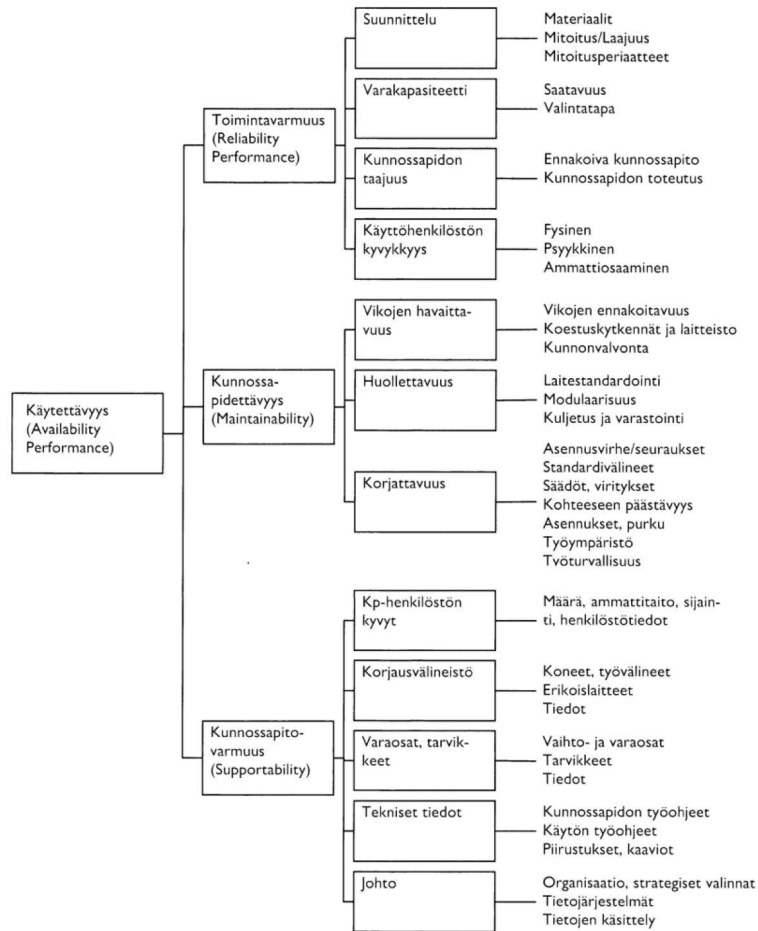
Parantavan kunnossapidon tavoitteena on parantaa kohteen kunnossapidettävyyttä, toimintavarmuutta tai turvallisuutta, ilman alkuperäisen käyttötarkoituksen

muuttumista. Se voidaan jakaa kolmeen pääryhmään, jossa ensimmäisessä kohdetta parannetaan vaihtamalla siihen uudenmalliset osat tai komponentit, jotka edesauttavat edellä mainittuja asioita. Tämä toiminto ei varsinaisesti muuta kohteen käyttötarkoitusta. Toisessa ryhmässä kohde korjataan tai uudelleen suunnitellaan luotettavuuden ja toimintavarmuuden parantamiseksi. Kolmannessa ryhmässä toteutetaan modernisointeja, joissa kohteen suorituskykyä parannetaan tai saatetaan vastaamaan nykyvaatimuksia. Näitä ovat esimerkiksi kapasiteetin nostot ja kilpailukyvyn parantaminen. Vanhojen koneiden modernisointi on monesti taloudellisesti järkevämpi vaihtoehto kuin romuttaminen ja uuden hankinta. (Järviö & Lehtiö 2017, 51-52.)

### 3.2 Tavoitteet

Hyvällä kunnossapidolla tavoitellaan korkeaa tuotannon kokonaistehokkuutta sekä hyvää käyttövarmuutta. Kokonaistehokkuuden analysointiin käytetään mittaria OEE, mikä tulee englannin kielen sanoista Overall Equipment Effectiveness. Suomeksi kyseiselle termille on KNL. KNL koostuu käytettävyyden (K), nopeuden (N) ja laatueroimen (L) tulosta. K-kerroin on työajan tehollinen aika minuutteina. N-kerroin kertoo tuotanto määrästä tai nopeudesta. L-kerroin kertoo tuotannon laadusta, eli huomioidaan hyvälaatuinen ja huonolaatuinen tuotanto. (Järviö & Lehtiö 2017, 59.)

Käyttövarmuuden, eli laitteiston tai järjestelmän luotettavuuden mittaamisen käytetään monia eri tekijöitä. Näitä ovat PSK 6201:2011 standardin mukaan käyttöaika, käyttöaika, joutoaika, valmiusaika, ulkoinen toimintakyvyttömyysaika, toimintakelpoisuustila, toimintakelvottomuustila, toimintakelpoisuusaika, toimintakelvottomuusaika ja toipumisaika. Kunnossapidon kannalta käyttövarmuuden osatekijät on esitetty kuvassa 5, missä käytettävyys tarkoittaa samaa kuin käyttövarmuus. Näillä tekijöillä voidaan tehokkaasti arvioida kunnossapidettävyyttä ja kunnossapito-ominaisuuksia sekä parantaa kunnossapidon toimintaa. (Järviö & Lehtiö 2017, 60.)



Kuva 5. Käyttövarmuuden osatekijät (Mikkonen 2009, 127)

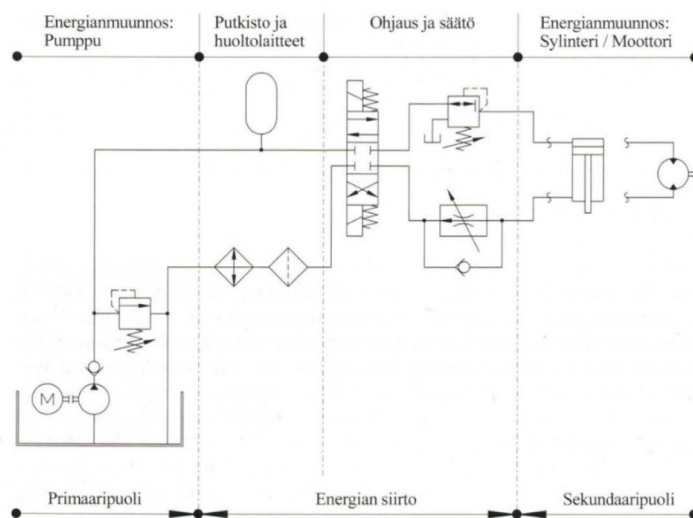
Kunnossapidolla on tärkeä rooli myös työntekijöiden henkilöturvallisuudessa, koska rikkoutuessaan laitteet ovat usein vaarallisia. Rikkoutuneen laitteen kanssa työskenneltäessä joudutaan usein tekemään toimenpiteitä, joita ei ole ennalta suunniteltu tai joihin ei ole varauduttu. Näiden lisäksi esimerkiksi pelastussuunnitelman mukaisten teknisten ratkaisujen toteuttaminen ja ylläpito kuuluu yleensä kunnossapito-osaston vastuulle. (Järviö & Lehtiö 2017, 65.)

## 4 HYDRAULIIKKA

Hydrauliikka on yksi mekaniikan osa-alueista ja se tutkii nesteiden ominaisuuksia, tasapainoa ja virtauksia. Tarkemmin hydrauliikka kuuluu fluiditeknikkaan, jonka osa-alueita ovat hydrauliikka, hydrostatiikka, hydrodynamiikka ja pneumaatiikka. Hydrostatiikassa paineenalaista nestettä käytetään tehonsiirtoon, tästä käytetään yleisesti nimitystä hydrauliikka. Hydraulinen teho on paineen ja tilavuusvirran tulo. Hydrodynamiikka tutkii liikkuvan nesteen mekaniikkaa ja järjestelmä hyödyntää nesteen liike-energiaa. Liike-energiaa hyödyntäviä laitteita ovat esimerkiksi erinäisillä nesteillä pyörivät turbiinit. Pneumaatikassa käytetään kaasun painetta ja virtausta tehonsiirtoon, anturitietojen käsittelyyn sekä ohjaukomentojen toteuttamiseen. (Fluid klinikka 2002.)

### 4.1 Hydraulijärjestelmä

Hydraulijärjestelmä koostuu kuvassa 6 esitetyllä tavalla kolmesta pääryhmästä, joita ovat primaaripuoli, energian siirto ja sekundaaripuoli. Primaaripuoli pitää sisällään energian muutokseen tarvittavan laitteiston. Energian siirto sisältää komponentit, putkiston ja huoltolaitteiston sekä ohjauk- ja säätöventtiilit. Viimeisenä sekundaaripuolella energia muutetaan toimilaitteilla takaisin käytettävään muotoon riippuen käyttökohteesta, joita ovat esimerkiksi sylinterit ja moottorit. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 6.)



Kuva 6. Hydraulijärjestelmän jakautuminen eri osiin (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 6)

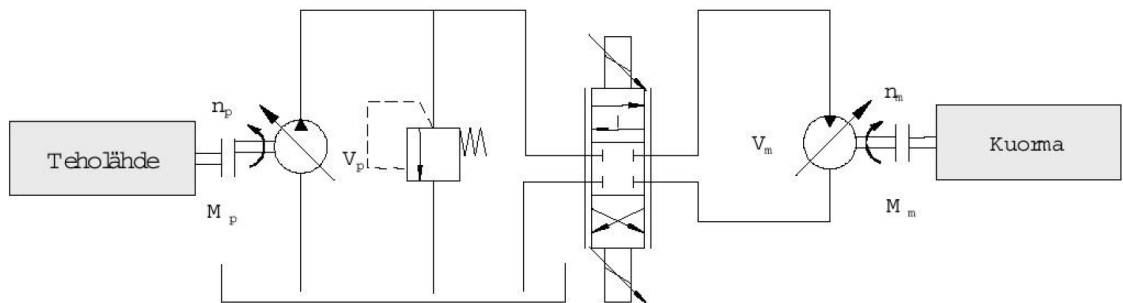


Hydrauliijärjestelmille mekaaninen energia tuotetaan yleensä sähkö- tai polttomoottorilla. Sähkömoottoreita käytetään yleensä teollisuushydrauliikassa ja polttomoottoreita liikkuvan kaluston hydrauliikassa. Energia voidaan tuottaa myös käsivoimin. Käsivoimin tuotettua energiaa käytetään esimerkiksi pullotunkeissa. Hydrauliikkajärjestelmään tuotettu mekaaninen energia muutetaan hydrauliseksi energiaksi hydraulipumpulla ja siirretään paineen sekä tilavuusvirtauksen avulla putkistoissa tai letkuissa hydraulisena energiana toimilaitteille. Toimilaitteilla hydraulinen energia muutetaan takaisin mekaaniseksi energiaksi. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 170.)

Hydrauliikkajärjestelmillä saadaan aikaan suuria voimia suhteellisen pienikokoisilla laitteilla ja niillä on hyvä tehopainosuhde. Voimaa ja nopeutta voidaan ohjata ja muuttaa helposti venttiileillä. Yleisimpiä hydrauliikkaventtiileitä ovat paine-, virta- ja suuntaventtiilit. Paineventtiileillä ohjataan järjestelmän painetta tai toimintoja. Virtaventtiilillä säädetään tilavuusvirtausta. Suuntaventtiileillä ohjataan tilavuusvirtauksia järjestelmän eri osiin ja toimilaitteille. Venttiileitä voidaan ohjata myös sähköisesti ja näin ollen luoda erilaisia automaattioratkaisuja. Lisäksi on erikoisventtiileitä, joita ovat servo-, patruuna- ja proportionaaliventtiilit. Näillä venttiileillä saadaan samat toiminnot aikaan kuin normaaleilla venttiileillä, mutta säätötarkkuus ja ominaisuudet ovat huomattavasti parempia. (Hydrauliikan luennot (2014) 2022, 35–36.)

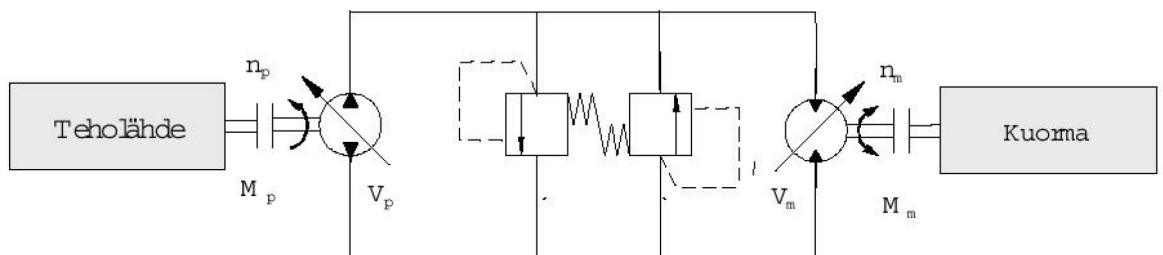
Hydrauliikassa käytettäviä toimilaitteita esimerkiksi sylintereitä ja hydrauliikkamoottoreita pystytään kuormittamaan tarkasti sekä liikkeitä ja voimia pystytään vastustamaan. Toimilaitteiden voitelu tapahtuu hydrauliijärjestelmässä kulkevalla hydraulineesteellä. Hydraulineeste sitoo lämpöä, joten sitä voidaan käyttää järjestelmän lämmitykseen ja jäädyttämiseen erillisillä lämmönvaihtimilla. Järjestelmän häiriöttömän toiminnan ja parhaimman hyötysuhteen kannalta on tärkeää, että nesteen lämpötila pysyy tiettyjen rajojen sisällä. Hydrauliikkajärjestelmiltä vaaditaan myös ehdottoman hyvää puhtautta toimintojen virheettömään suoritukseen. Hydrauliikan haittapuolena voidaan pitää järjestelmien tehohäviöitä (hyötysuhde yleensä 0,6–0,8) ja laitteiston tiiveysongelmia, joita syntyy paineenalaisissa järjestelmissä. Lisäksi toimilaitteiden jälkeen vaaditaan väliaineen paluulinjasto säiliölle sekä tarvittavat suodattimet pitämään öljy puhtaana toimilaitteista tai linjastosta irtoavilta epäpuhtauksilta. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 171.)

Hydrauliijärjestelmätyyppejä on avoimia ja suljettuja. Avoin järjestelmä (kuva 7) on yksinkertaisempi ja yleisempi kuin suljettu. Avoimessa järjestelmässä väliaine palautuu toimilaitteilta säiliöön, josta pumppu imee sen uudelleen kiertoon. Säiliö on yleensä 2–3 kertaa pumpun tilavuusvirran suuruinen. Säiliöön on helppo järjestää suodatus monella eri tavalla sekä säiliö toimii itsessään jo väliaineen jäähdyttimenä. Jäähdytyksen voi järjestää tarvittaessa myös erillisellä jäähdyttimellä. Toimilaitteita ei pystytä avoimessa järjestelmässä jarruttamaan pumpun avulla. Avoin järjestelmä on yleensä halvempi toteuttaa ja siihen voidaan liittää useita toimilaitteita, joita voidaan käyttää yksin tai erikseen. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 293.)



Kuva 7. Avoin hydraulikkajärjestelmä (Paavilainen, H. 2009)

Suljetussa järjestelmässä (kuva 8) väliaine palautuu toimilaitteelta suoraan hydraulipumpun imupuolelle. Järjestelmässä ei ole säiliötä ollenkaan ja pumpun tilavuusvirta on lähes sama kuin toimilaitteen tilavuusvirta. Jäähdytys toteutetaan tarvittaessa erillisellä huuhtelujärjestelmällä ja vuotojen kompensointi hoidetaan erillisellä öljyn syöttöpumpulla. Toimilaitteen suunnanvaihto ja nopeuden säätö saadaan aikaan säädettävällä pumpulla. Järjestelmän jarruttaminen onnistuu myös pumpun avulla. (Keinänen & Kärkkäinen 2009, 293.)



Kuva 8. Suljettu hydraulikkajärjestelmä (Paavilainen, H. 2009)

## 4.2 Hydraulinesteet

Hydraulinesteiden ensisijainen tehtävä on välittää järjestelmän teho pumpulta toimilaitteille, mikä pyritään suorittamaan mahdollisimman korkealla hyötysuhteella. Hydraulinesteellä on tähän oleellinen vaikutus, sillä nesteiden viskositeetti vaikuttaa suoraan järjestelmän hyötysuhteeseen. Liian pieni viskositeetti kasvattaa komponenteissa tapahtuvaa vuotohäviötä ja liian korkea viskositeetti kasvattaa kitkahäviötä. Hydrauliiikan komponenteissa on aina välyksiä, joita hydraulinesteellä pyritään tiivistämään. Hydraulinesteet toimivat myös järjestelmän liikkuvien komponenttien voiteluaineena ja lämmönsiirtäjänä. Nesteillä on suora vaikutus järjestelmien hyötysuhteeseen, käytettävyyteen, käytön luotettavuuteen ja käyttöikänsä. Nesteiden hyvien ominaisuuksien ylläpitämiseksi sen huolto ja suodatus on järjestettävä riittävälle tasolle. Suurin osa järjestelmien häiriöistä johtuu kohteeseen sopimattomasta nesteestä tai epäpuhtaasta nesteen käytöstä. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 112.)

Hydraulinestetyypit voidaan jakaa niiden ominaisuuksien mukaan mineraaliöljyihin, vaikeasti syttyviin nesteisiin, biologisesti nopeasti hajoaviin nesteisiin ja elintarvikehydrauliiikan nesteisiin. Yleensä hydraulijärjestelmissä käytetään mineraaliöljyjä. Mineraaliöljyt ovat valmistettu raakaöljystä ja niiden laatu riippuu jalostusasteesta sekä kemiallisesta rakenteesta. Hydraulijärjestelmät ovat yleensä suunniteltu mineraaliöljyille, joten ne eivät vahingoita järjestelmän komponentteja tai tiivisteitä. Hydraulioöljyt voidaan jaotella DIN 51524 ja ISO 6743-4 standardeissa määriteltyihin luokituksiin. Ryhmäjako muodostuu öljyjen sisältämien ominaisuuksien ja lisäaineiden mukaan. Kuvassa 9 on jaoteltu tunnetuimmat hydraulioöljyjen luokitukset ja niiden ominaisuuksia. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 114-119.)

Hydraulikäyttö	DIN 51524 Osa 1 = HL Osa 2 = HLP Osa 3 = HVLP	ISO 6743-4 HL HM HV	Viskositeetti- indeksi VI	Öljyn lisäaineis- tus suorituskyky	
Vanhahkot yk- sinkertaiset jär- jestelmät Sisäkäyttö Paine < 100 bar	HL	HL	≥ 70	Korroosion ja hapettumisen- esto	
	ISO VG 10	ISO VG 10			
	-	ISO VG 15			
	ISO VG 22	ISO VG 22			
	ISO VG 32	ISO VG 32			
	ISO VG 46	ISO VG 46			
	ISO VG 68	ISO VG 68			
	ISO VG 100	ISO VG 100			
	-	ISO VG 150			
Nykyaikaiset si- sätiloissa toimi- vat hydraulilliset Paine > 100 bar	HLP	HM	≥ 90	Korroosion, ha- pettumisen ja kulumisenesto	
	ISO VG 10	ISO VG 10			
	-	ISO VG 15			
	ISO VG 22	ISO VG 22			
	ISO VG 32	ISO VG 32			
	ISO VG 46	ISO VG 46			
	ISO VG 68	ISO VG 68			
	ISO VG 100	ISO VG 100			
		ISO VG 150			
Nykyaikaiset vaihtelevissa lämpötiloissa toimivat hydraul- illiset esim. ajo- neuvot ympäri vuoden Paine > 100 bar	HVLP	HV	≥ 140	Korroosion, ha- pettumisen ja kulumisenesto + viskositeetti- indeksin paranta- jat (VI)	
	ISO VG 15	ISO VG 15			
		ISO VG 22			
	ISO VG 32	ISO VG 32			
		ISO VG 46			≥ 120
	ISO VG 46	ISO VG 46			
	ISO VG 68	ISO VG 68			
	ISO VG 100	ISO VG 100			
		ISO VG 150			

Kuva 9. Hydraulikkaöljyluokitusten vertailu (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voi-  
telutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 93)

Hydraulinesteiden ominaisuuksia voidaan muokata lisäämällä perusnesteeseen joukkoon lisäaineita. Tyypillisten lisäaineiden tarkoituksena on muun muassa parantaa voitelukykyä, estää komponenttien kulumista, parantaa komponenttien paineenkestoa, muuttaa viskositeettia, muuttaa viskositeetti-indeksiä, estää nesteen erityyppiset heikkenemiset ja suojata komponentteja korroosiolta. Liiallinen lisäaineistus johtaa kuitenkin ennenaikaiseen nesteen vanhenemiseen, joten perusneste on syytä olla käyttötarkoitukseen sopiva. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 113.)

#### 4.3 Viskositeetti ja viskositeetti-indeksi

Yksi hydraulinesteiden tärkeimmistä ominaisuuksista on viskositeetti, joka kuvaa nesteen kykyä vastustaa virtausta, eli nesteen juoksevuutta. Yleisesti viskositeettiä kuvataan ISO VG -luokituksella, mikä ilmoittaa öljyn viskositeetin 40 asteen lämpötilassa. Viskositeetti on voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta ja osittain

myös paineesta. Lämpötilan laskiessa viskositeetti nousee aiheuttaen hydraulijärjestelmissä vastushäviöitä ja mahdollistaa kavitaation esiintymistä järjestelmän komponenteissa. Pitkään kestänyt kavitaatio johtaa komponenttien vaurioihin. Lämpötilan noustessa viskositeetti laskee ja lisää vuotohäviöitä sekä heikentää voitelukalvoa. Kuvassa 10 on esitetty hydraulikkajärjestelmien suositeltavat ylemmät ja alemmat viskositeettirajat. Ylempi raja tulee käytännössä vastaan järjestelmien kylmäkäynnistyksissä, mutta tätä voidaan kuitenkin kompensoida nesteen esilämmityksellä. Toisaalta lämpimissä olosuhteissa neste lämpenee liikaa ja sitä täytyy jäähdyttää erillisellä jäähdyttimellä. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 121.)

	$\cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} [\text{cSt}]$
Ideaalinen viskositeettialue	~ 15–100
Ylempi viskositeettiraja kylmäkäynnistyksessä (kavitaatiovaara)	~ 500–1000
Alempi viskositeettiraja (voitelukyvyyn raja)	~ 10

Kuva 10. Suositeltavat viskositeettirajat (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 121)

Toinen nesteen tärkeä ominaisuus on viskositeetti-indeksi. Se on hyvin tärkeä hydraulinesteen valinnassa, sillä se kuvaa nesteen viskositeetin muutosta lämpötilan muutoksen suhteen. Viskositeetti-indeksistä käytetään lyhennettä VI. Mitä suurempi VI on, sitä vähemmän nesteen viskositeetti muuttuu lämpötilan muuttuessa. Tämä parantaa hydraulinesteen kykyä toimia vaihtelevassa lämpötilassa ja mahdollistaa paremmat kylmäkäynnistys ominaisuudet. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 123.)

Kittilän kaivoksen pastapumpun hydraulikkajärjestelmässä käytetään Neste valmistamaa Hydraulic 46 Super -hydrauliöljyä, joka on myös muualla rikastamalla yleisesti käytössä. Kyseinen hydrauliöljy kuuluu standardin DIN 51524 mukaan HVLP-luokkaan, jonka tyypillinen ominaisuus on korkea viskositeetti-indeksi-arvo. Se mahdollistaa laajan käyttölämpötila-alueen ja öljy sopii myös ulkokäyttöön. Sen ISO VG -luokitus eli viskositeetti on 46 ja viskositeetti-indeksi 190. Jähmepiste on  $-45 \text{ }^\circ\text{C}$ , mikä tarkoittaa lämpötilaa, jonka jälkeen öljy on niin jähmeää, ettei se enää ole kaadettavissa. Öljyn leimahduspiste on  $212 \text{ }^\circ\text{C}$ . (Neste 2022.)

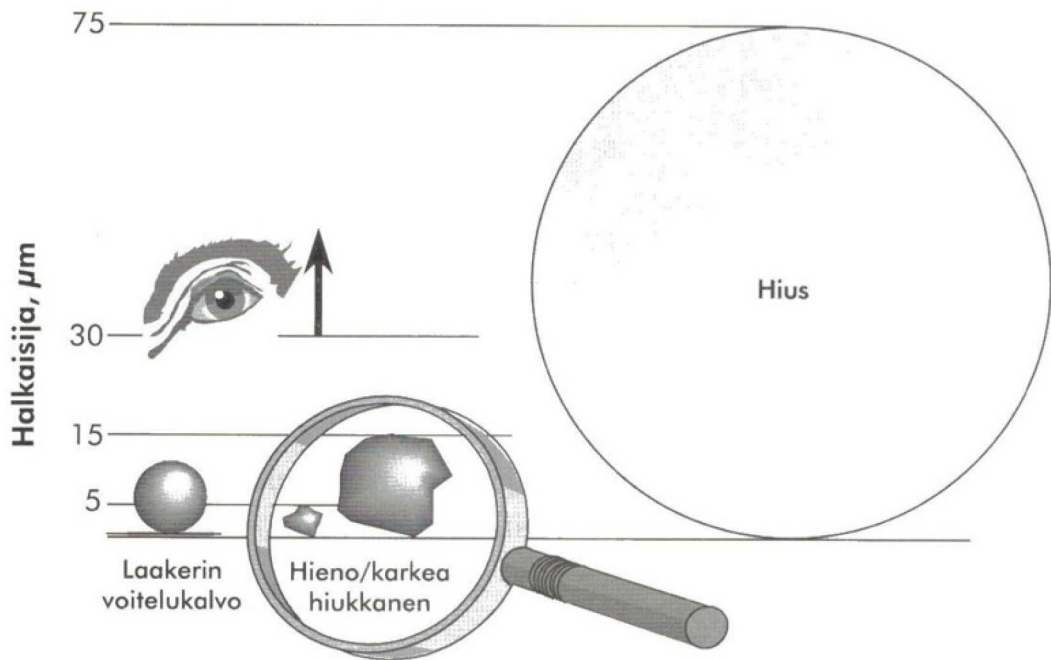
#### 4.4 Järjestelmän ylläpito

Hydrauliikkajärjestelmän häiriötön toiminta on riippuvainen hydraulinesteen ominaisuuksista. Niin kuin aikaisemmin on mainittu, hydraulinesteellä täytyy olla so-piva käyttölämpötila ja riittävä puhtaus. Nesteen kuntoa ylläpitämällä sen käyt-töikää voidaan pidentää huomattavasti. Ylläpitämiseen käytetään epäpuhtauk-sien suodatusta, joka voi olla järjestelmässä useassa eri kohdassa, esimerkiksi paine- ja imuputkistossa tai erillisenä sivuvirtasuodattimena. Tämän lisäksi läm-pöä ylläpidetään riittävällä hydrauliikkasäiliön tilavuudella ja erillisillä lämmön-vaihtimilla. Hydraulineste sisältää aina epäpuhtauksia, jotka heikentävät nesteen ominaisuuksia. Epäpuhtaudet voivat olla kiinteitä hiukkasia tai nesteitä ja kaa-suja. Nesteet ja kaasut voivat olla joko hydraulinesteeseen liunneena tai va-paina liukenemattomina aineina. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 377.)

Epäpuhtauslähteet voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään: järjestelmän al-kuepäpuhtaudet, ympäristöstä tulevat epäpuhtaudet sekä järjestelmän sisällä syntyvät epäpuhtaudet. Alkuepäpuhtaudet syntyvät komponenttien valmistuk-sessa tai järjestelmän korjauksen yhteydessä. Alkuepäpuhtauksiin lasketaan myös uudesta öljystä tulevat epäpuhtaudet. Uudet öljyt on hyvä lisätä järjestel-mään suodattimen läpi. Ympäristöstä epäpuhtaudet pääsevät järjestelmään yleensä säiliön huohotusaukon kautta sekä toimilaitteiden, kuten sylintereiden männänvarsien tiivisteiden kautta. Hydrauliikkasäiliössä tapahtuvien painevaih-teluiden takia ilmaa kulkee säiliöön ja sieltä pois. Tämä johtaa lämmönvaihtelui-den yhteydessä kosteuden tiivistymiseen säiliön pinnalle ja näin ollen pääsyn hydraulinesteeseen. Järjestelmän sisältä syntyviä epäpuhtauksia ovat muun mu-assa osien mekaaninen kuluminen, missä kiertoon vapautuu hiukkasia. Hiukka-set aiheuttavat lisää epäpuhtauksia kuluttaessaan järjestelmän eri osia kasvat-taen hiukkasten määrää. Mitä enemmän järjestelmässä on epäpuhtauksia, sitä enemmän niitä syntyy lisää. Myös nesteessä itsessään tapahtuu kemiallisia re-aktioita, mikä aiheuttaa nesteen vanhenemista. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 377–379.)

Epäpuhtauksien määrää järjestelmissä seurataan öljynäytteillä ja kiinteillä mitta-laitteilla. Kuvassa 11 on havainnollistettu partikkeleiden kokoa suhteessa ihmisen hiukseen. Seurattava partikkeleiden kokojakauma on tyypillisesti välillä 1–100

µm. Tulokset ilmoitetaan puhtausluokkina kansainvälisten standardien mukaan, yleisimpiä näistä ovat ISO 4406 ja SAE AS4059. Puhtausluokat kertovat, kuinka paljon minkäkin kokoisia partikkeleita järjestelmässä on. Näin voidaan määrittää eri puhtausluokkavaatimuksia järjestelmän komponenttien mukaan. (Niiranen 2013, 16.)



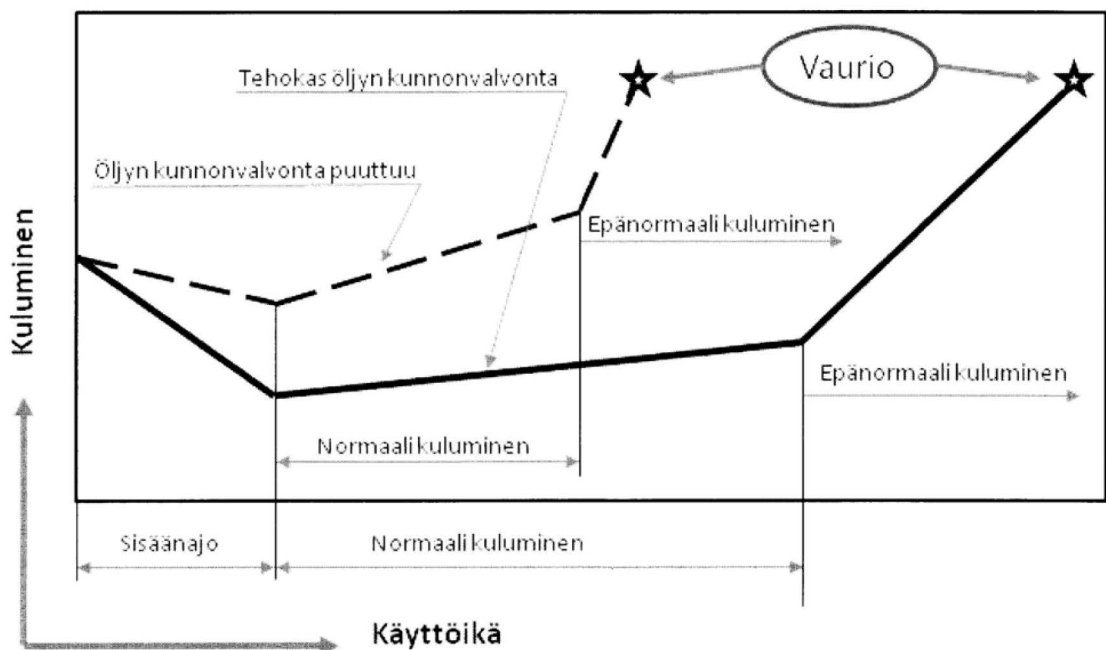
Kuva 11. Hiukkaskokojen vertailu (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 113)

Epäpuhtaudet eivät siis ole toivottavia hydraulinesteen joukkoon. Eri arvioiden mukaan 70–80 % toimintahäiriöistä johtuu epäpuhtauksista. Näistä 50–55 % johtuu kiinteistä epäpuhtauksista ja 20–25 % veden tai ilman aiheuttamana. Epäpuhtauksien määrää voidaan seurata hydraulinesteen kunnonvalvonnalla. Saa-duilla tuloksilla voidaan reagoida ennen kuin vahinkoa ehtii syntyä. (Kauranne, Kajaste & Vilenius 2013, 378-379.)

## 5 ÖLJYN KUNNONVALVONTA

Öljyjen kunnonvalvonnalla tavoitellaan öljyn laadun seuraamista, ja se on osa tuotannon toimintavarmuuden ylläpitämistä. Kunnonvalvonta kattaa useita erityyppisiä analyysejä, joiden tarkoituksena on mitata öljyn voiteluominaisuuksia ja epäpuhtauksien määrää. Seurannan tärkeys on suoraan riippuvainen seurattavan kohteen kriittisyydestä tuotannolle. Seuranta on osa ennakoivaa kunnossapitoa ja sen tarkoituksena on mahdollistaa kunnossapidon suunnittelu ennakoitusti. (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 159–160.)

Kunnonvalvonta on hyvin pitkälti muutosten seuranta eri menetelmillä ja saatuihin tuloksiin reagointia. Kuvassa 12 on osoitettu, kuinka öljyn kunnonvalvonnalla voidaan pidentää laitteiden käyttöikä. Hyvin hoidettu öljyn kunnonvalvonta maksaa itsensä takaisin parantuneena laitteiden käytettävyytenä. (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 159–160.)

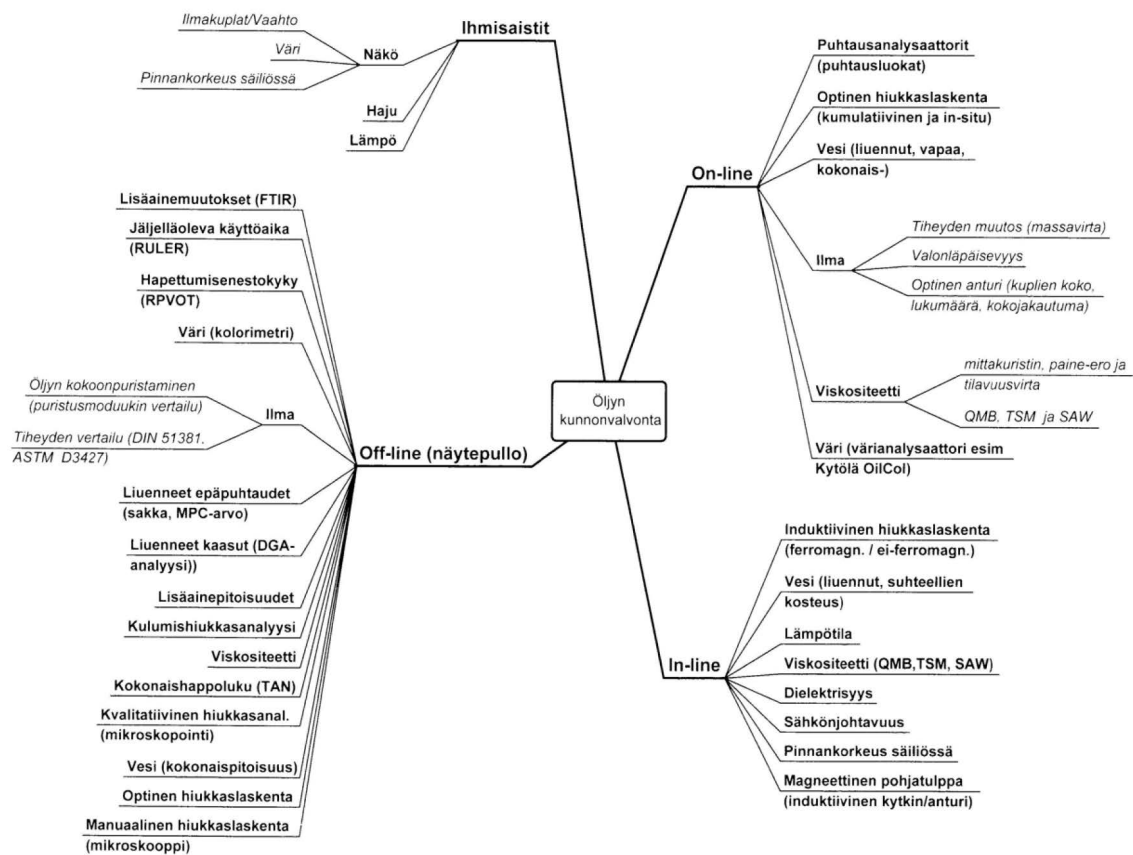


Kuva 12. Öljyn kunnonvalvonnalla saavutettava laitteen käyttöiän pidentäminen (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 159)



## 5.1 Öljyn kunnonvalvontamenetelmät

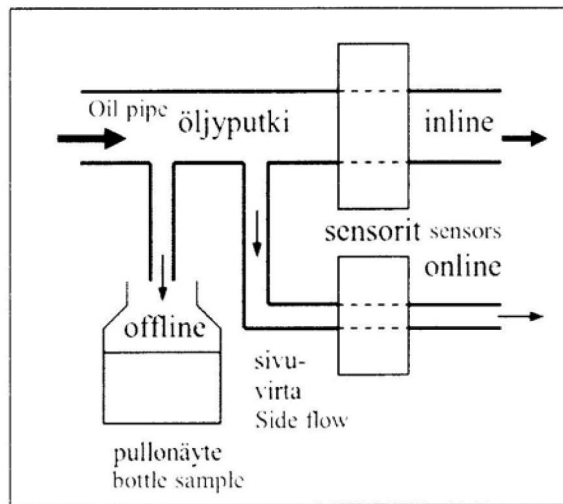
Kunnonvalvonta voidaan jakaa näytteenottomenetelmän mukaan neljään eri kategoriaan. Nämä ovat ihmisaistein tehtävät analyysit, off-line-analyysit, on-line-analyysit ja in-line-analyysit. Jokaisella näytteenottotavalla on omat hyvät ja huonot puolensa. Kuvassa 13 on esitetty edellä mainitut näytteenottomenetelmät ja mitä suureita kullakin menetelmällä voidaan analysoida. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 10.)



Kuva 13. Yleisimmät kunnonvalvontamenetelmät ryhmiteltynä näytteenottotavan mukaan (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 10)

Öljynäytteen mittausta paikan valinnassa on otettava huomioon mittausta paikan ilmakuplien, öljyn lisäaineiden, kosteuden ja sameuden vaikutus tulokseen. Menetelmä valitaan mitattavan suureen ja järjestelmän ominaisuuksien mukaan. Kuvassa 14 on esitetty eri näytteenottotapojen liittäminen prosessiin. Off-line eli yleisimmin pullonäytteenä tunnettu menetelmä tarkoittaa, että järjestelmästä otetaan öljyä näytepulloon. Näyte voidaan käsitellä joko kannettavalla näytteenottimella

kentällä tai lähettää laboratorioon tarkempaan tarkasteluun. Pullonäytteenotossa ja sen käsittelyssä laboratoriossa voidaan pitää hyvänä asiana sen tarkkuutta sekä siitä saatavaa informaation määrää. Toisaalta näytteenotto on suoritettava erityisen tarkoin, ettei näyte mene pilalle. On-line tarkoittaa sivuvirrasta otettavaa näytettä, eli näyte tuodaan kiinteään mittalaitteeseen letkulla tai putkella. In-line tarkoittaa, että kunnonvalvonta-anturi sijaitsee suoraan primäärissä virtausputkessa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 10–14.)



Kuva 14. Eri tapoja kytkeä valvontajärjestelmä prosessiin (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 13)

## 5.2 Öljyanalyysi

Perusteelliset öljyanalyysit tehdään lähes aina pullonäytteistä laboratoriossa. Öljyanalyysit voidaan ryhmitellä analyysityypeittäin useaan eri luokkaan. Kuvassa 15 analyysit on jaoteltu kolmeen pääluokkaan, joista voidaan valita kulloiseenkin järjestelmään sopivat analyysit. Ensimmäinen pääluokka on perusominaisuuksien analyysit, sisältäen yleisimmät analyysit ja lisäanalyysit. Toinen luokka on hiukkanalyysit, mikä voidaan jaotella epäpuhtauksien määrän ja kokoajakauman mittaukseen sekä hiukkasten laadun ja muodon mikroskooppitutkimukseen. Kolmannessa luokassa tutkitaan kulumametalleja, tarkemmin koneenosien alkuaineita ja ferrografiaa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 163.)

<b>A: Perusominaisuuksien analyysit</b>	<b>B: Hiukkanalyysit</b>	<b>C: Kulumametallianalyysit</b>
A1 - Yleisimmät perusanalyysit	B1 - Epäpuhtaushiukkasten määrä ja kokojakauma	C - Koneenosien alkuainepitoisuudet (AAS, ICP)
A2 - Lisäanalyysit	B2 - Hiukkasten laatu ja muoto mikroskoopilla	C2 - Ferrografia - analyttinen (mikroskooppi), suoralukumenetelmä

Kuva 15. Analyysien jaottelu (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 163)

Perusominaisuuksien analyyseillä pystytään selvittämään jo hyvin pitkälle, ovatko öljyn voiteluominaisuudet, puhtaus ja lisäaineistus enää riittävällä tasolla. Perusominaisuuksien analysointiin kuuluu ulkonäön tarkastelu, viskositeetti, kokonaishappoluku (TAN), kiintoaine prosentuaalinen osuus, öljyalaatu, vesipitoisuus, viskositeetti-indeksi, lisäaineiden määrä ja vaahtoamisen toteaminen. (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 165.)

Hiukkanalyyseillä tutkitaan öljynäytteen epäpuhtauksia ja määritellään standardin ISO-4406 mukainen puhtausluokitus. Tämä voidaan tehdä manuaalisesti mikroskoopilla tai automaattisella hiukkaslaskurilla. Membraanille suodatetusta näytteestä voidaan tutkia myös epäpuhtaushiukkasten muoto ja laatu mikroskoopilla. Hiukkasten muodon ja laadun tutkinnalla nähdään yleensä, mistä ne ovat peräisin. Hiukkaset jaotellaan yleensä ryhmiin: kirkas metalli, musta metalli, keltainen metalli, ruoste, silica, kumi ja muovi, kuidut ja muut partikkelit. Membraaneista otetaan myös valokuvat analyysiraportille ja hiukkasten muodosta voidaan päätellä kulumistapahtuma sekä mistä se on peräisin. Kulumametallianalyysissä puolestaan tutkitaan alkuainepitoisuuksia, joita syntyy laitteen kulumisesta eri tilanteissa. Näitä syntyy muun muassa laitteen voitelukalvon pettäessä. Tutkimusmenetelmiä on nykyään jo monia erilaisia riippuen siitä, mitä halutaan tutkia. (Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 170.)

Kuvassa 16 on esitetty, kuinka eri analyysitapoja voidaan soveltaa eri järjestelmätyypeissä. Hydraulikkajärjestelmästä harvoin analysoidaan kulumametalleja

ja kylpyvoitelujärjestelmästä tehdään harvoin hiukkasanalyysiä. (Kunnossapito-yhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 171.)

Analyysitavat	Hydraulijärjestelmä	Kiertovoitelujärjestelmä	Kylpyvoitelujärjestelmä
Perusominaisuudet A1, A2	A1 ja/tai A2	A1 ja/tai A2	A1 ja/tai A2
Hiukkasanalyysi B1, B2	B1, B2	B1, B2	
Kulumametallianalyysi C1, C2		C1, C2	C1, C2

Kuva 16. Eri analyysitapojen soveltaminen järjestelmätyypeittäin (Kunnossapito-yhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013, 171)

Kuvassa 17 on osa Kittilän kaivoksen pastapumpun hydrauliikkaöljyn analyysiraportista vuodelta 2019. Raportista nähdään, kuinka jokavuotisella analyysillä saadaan trendinomaista tietoa öljyn kunnosta. Raportista voidaan todeta, että öljyn viskositeetti on hieman laskenut normaalista 46 viskositeetistä ja öljynvaihto olisi jo ajankohtainen.

#### TULOKSET

Näytteenottopäivä	2.8.2019	7.12.2018	5.6.2018	8.12.2017		
Laboratorionumero	H67592	H64286	H61828	H59158		
<b>ÖLJYN KUNTO</b>	<b>Menetelmä</b>					
Viskositeetti +40 °C	cSt	ASTM D445	40,72	40,64	42,36	39,41
+100 °C			7,79	7,91	8,20	7,78
Viskositeetti-indeksi	-		165	170	172	172
Väri	-	ASTM 1500		2,0	1,5	2,0
Öljyn ulkonäkö			kirkas, rusk.	kirkas, rusk.	kirkas, v.rusk.	kirkas, rusk.
Öljyn hapettuminen -TAN	mgKOH / g	ASTM D664	0,35	0,66	0,53	0,39
-IR	A / cm		1	1	1	1
-Memb. väri			vaalea	valkoinen	vaalea	valkoinen
<b>Lisäaineet - ICP</b>	ppm	ASTM D5185				
Kalsium			19	24	37	29
Magnesium			12	6	0	2
Boori			0	0	0	0
Sinkki			404	411	405	409
Fosfori			351	326	333	327
Barium			0	0	0	0
Rikki			3686	3778	3862	4338

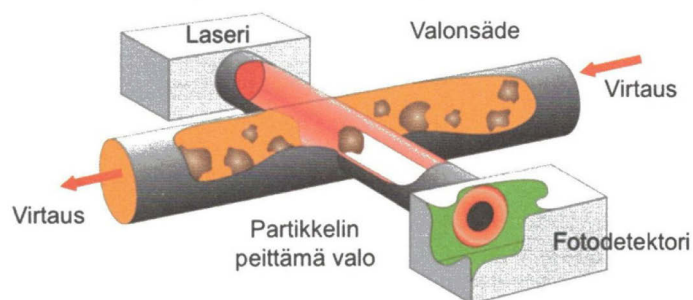
Kuva 17. Pastapumpun öljyanalyysi. (Agnico Eagle intranet 2022)

### 5.3 Käynninaikainen kunnonvalvonta

Öljyn käynninaikaista kuntoa seurataan nykyään kannettavilla käsimittauslaitteilla tai järjestelmiin integroiduilla in-line- ja on-line-antureilla. Nykyisiä markkinoilla olevia antureita voidaan pitää riittävän tarkkoina verrattuna laboratoriotasoihin mittalaitteisiin. Näillä reaaliaikaisilla mittauksilla pystytään seuraamaan suuntauksia eli trendejä ja ongelmatilanteisiin pystytään reagoimaan hyvinkin aikaisessa vaiheessa. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 34.)

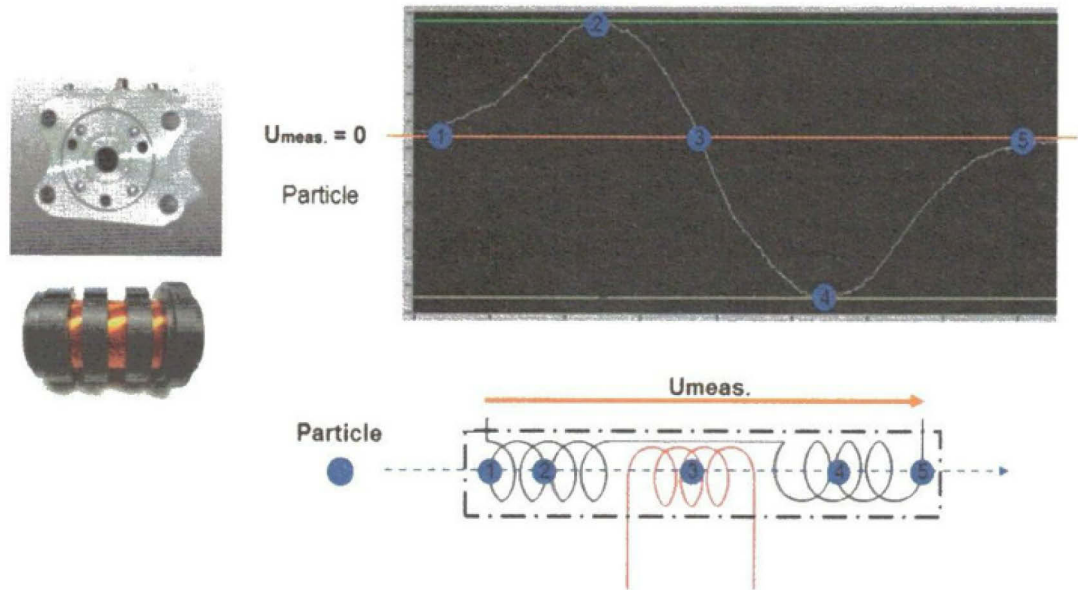
Käynninaikaisen kunnonvalvonnan ongelmakohtina voidaan pitää näytteen saantia edustavassa kunnossa mittalaitteelle saakka. Lisäksi näytteenottopai- kalla on myös tässä toteutuksessa merkitystä samalla tavalla kuin sillä on merki- tystä pullonäytteenotossakin. Näytteenottopumpun täytyy myös olla tarpeeksi hyvä tuottamaan tarvittava paine ja virtaus anturille. Korkean paineen avulla näyt- teestä saadaan ilmakuplat liuotettua takaisin öljyyn häiritsemästä mittaustuloksia. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 21.)

Käynninaikaiseen kunnonvalvontaan käytetään öljyn puhtautta mittaavia antu- reita sekä kohteen mukaan viskositeetin, dielektrisyysvakion tai sähkön johta- vuutta mittaavia antureita. Öljyn puhtausluokituksen mittaukseen käytetään opti- sia hiukkasmittauksia, missä periaate on hyvin yksinkertainen. Hiukkaslaskennan on-line-mittausperiaate on esitetty kuvassa 18. Öljy virtaa anturin läpi, johon toi- selta puolelta syötetään valoa ja toiselta puolelta mitataan läpi tulevan valon määrä. Öljyn seassa kulkevat partikkelit eivät päästä valoa läpi, joten partikkelin muodostaman varjon koko voidaan mitata vastaanottimella. On-line-hiukkasmit- tauksen tarkkuus on noin puoli puhtausluokkaa standardin ISO 4406 mukaan. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 23.)



Kuva 18. Optinen hiukkaslaskuri (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 23)

Öljystä voidaan mitata induktiivisella in-line-anturilla sen sisältämät ferromagneettiset ja ei-ferromagneettiset hiukkaset. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 19. Kun hiukkanen kulkee anturin läpi, käämien muodostaman magneettikenttään syntyy häiriö. Tämä häiriö voidaan mitata ja sen perusteella pystytään kertomaan, onko kyseessä ferromagneettinen vai ei-ferromagneettinen partikkeli. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 23.)



Kuva 19. Hydac MCS100 induktiivinen in-line-hiukkasanturi (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 22)

Öljyn vanhenemista voidaan seurata myös suhteellisen dielektrisyyden ja sähkönjohtavuuden mittauksilla. Suhteellinen dielektrisyyden mittauksella voidaan määrittää öljyn polaarisuus. Polaarisuus muuttuu öljyn vanhetessa, joten tällä keinolla voidaan seurata öljyn vanhenemisen nopeutta. Mittaukseen käytetään yleensä kapasitiivisia antureita. (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 32.)

#### 5.4 Puhtausluokitus

Puhtausluokituksia käytetään yksinkertaistamaan öljynäytteiden tuloksia ja antamaan puhtaustasolle vertailukelpoisen luokituksen. Puhtausluokilla osoitetaan yleisesti käytössä olevan ISO 4406 -standardin mukaan epäpuhtauksien määrä tietyssä partikkelikoossa yhtä millilitraa öljyä kohden. ISO 4406 -standardissa

puhtausluokka ilmoitetaan kolmessa eri partikkelikokoluokassa, joita ovat 4, 6 ja 14 mikrometriä. Kuvan 20 taulukossa on esitetty hiukkasten lukumäärä millilitraa kohden ja sitä vastaava ISO 4406 -puhtausluokka. Esimerkkinä puhtausluokka 18/15/11 sisältää yli 4  $\mu\text{m}$ :n hiukkasia väliltä 1300–2500, yli 6  $\mu\text{m}$ :n väliltä 160–320 ja yli 14  $\mu\text{m}$ :n väliltä 10–20. (Niiranen 2013, 16–18.)

Hiukkasten määrä/ml		ISO-koodi
Yli	Alle	
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
<b>1 300</b>	<b>2 500</b>	<b>18</b>
640	1 300	17
320	640	16
<b>160</b>	<b>320</b>	<b>15</b>
80	160	14
40	80	13
20	40	12
<b>10</b>	<b>20</b>	<b>11</b>
5	10	10
2,5	5	9
1,3	2,5	8

> 4  $\mu\text{m}$  (c) > 6  $\mu\text{m}$  (c) > 14  $\mu\text{m}$  (c)  
**18 / 15 / 11**

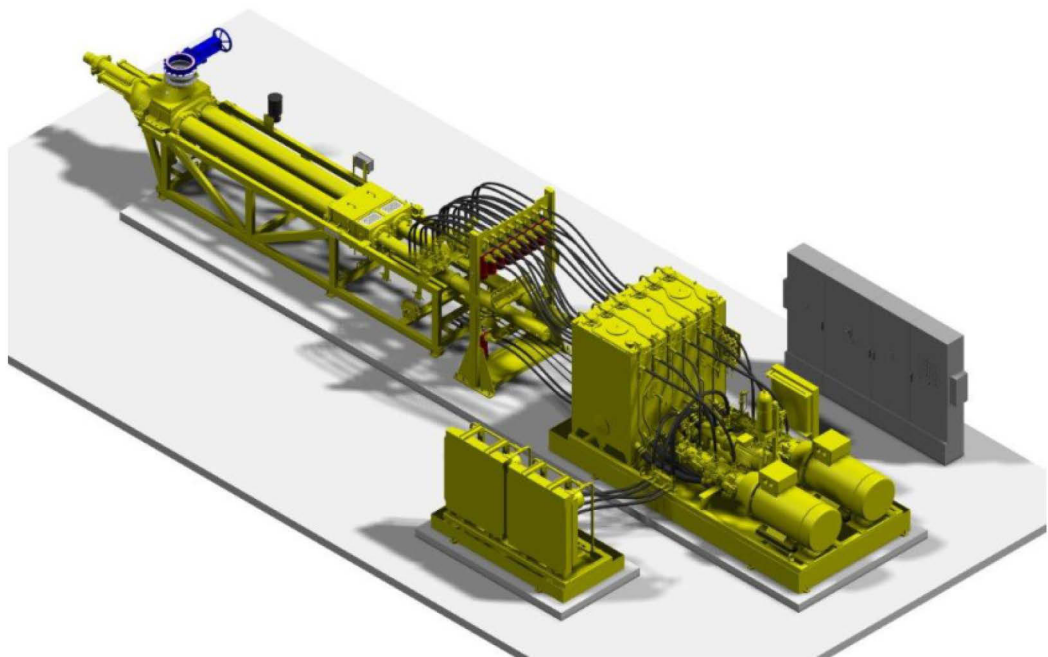
Kuva 20. ISO 4406 puhtausluokat (Kunnossapitoyhdistys Promaint 2018, 37)

## 6 PASTAPUMPUN NYKYTILANTEEN KARTOITTAMINEN

Pastapumpun nykytilan kartoittaminen aloitettiin tutustumalla pastapumppukokonaisuuteen niin fyysisesti paikan päällä kuin myös dokumentteihin, jotka löytyivät yhtiön tietokannoista. Kartoituksessa haastateltiin myös laitteiston käyttäjiä ja kunnossapitäjiä, jotka kertoivat laitteiston ongelmakohdista.

### 6.1 Pastapumppu

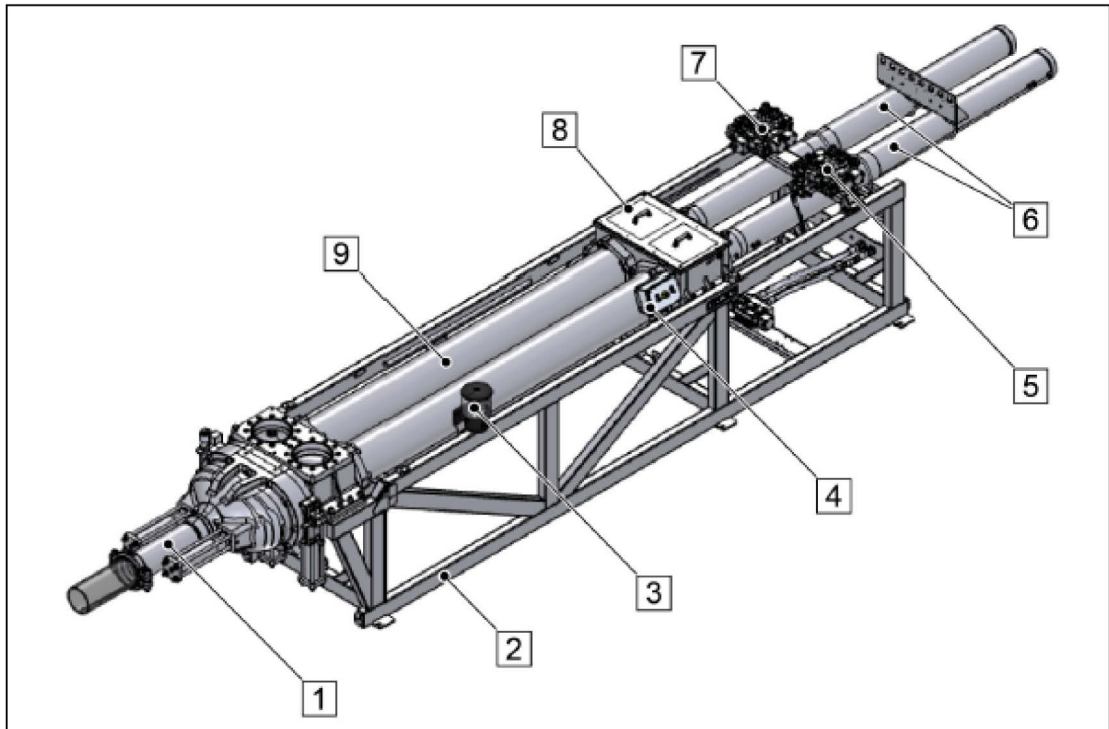
Pastapumppu on saksalaisen Schwing-stetter GmbH:n valmistama hydrostaattinen differentiaalisylinteriä voimantuottoon käyttävä kaksisylinterinen liete-pumppu. Pumppukokonaisuus koostuu kuvassa 21 näkyvästä pumppuosasta (KSP 140 XL HD), hydraulikkayksiköstä (EHS 2000, 2 x 250 kW), näitä yhdistävästä hydraulikkalinjastosta ja ohjausyksiköstä. Pumppukokonaisuutta voidaan ohjata paikallispaneelista tai ohjausjärjestelmän kautta valvomosta. Pumpun maksimituotto on 135 kuutiota pastaa tunnissa ja maksimipaine 100 Bar.



Kuva 21. Pumppukokonaisuus (Agnico Eagle Finland 2022c)

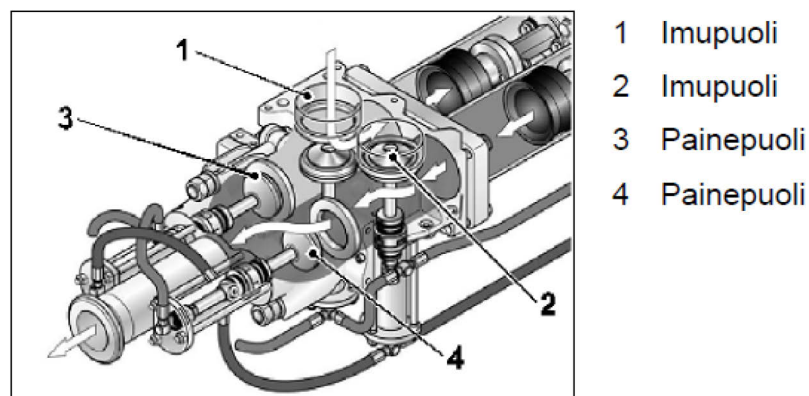


Pumppuyksikkö koostuu kuvassa 22 näkyvistä osista, joita ovat: 1. Ohjausventtiiliyksikkö, 2. Runko, 3. Keskusvoitelulaite, 4. Liitäntäkotelo, 5. Ohjauslohko B04, 6. Differentiaalisylinteri, 7. Ohjauslohko B03, 8. Vesikotelo, 9. Kuljetussylinterit.



Kuva 22. KSP 140 rakenne (Agnico Eagle Finland 2022c)

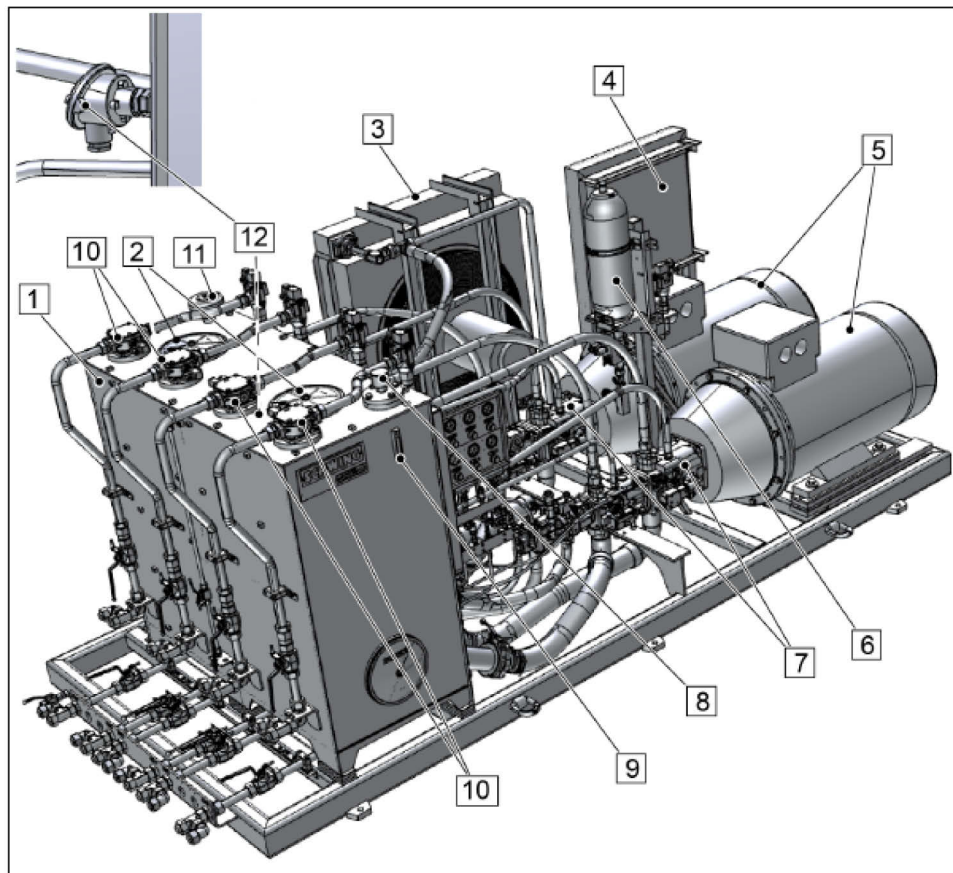
Lietteen kulkua imusuppilosta kuljetussylintereihin ja sylintereistä pastaputkeen ohjataan kuvassa 23 näkyvällä ohjausventtiiliyksiköllä. Ohjausventtiiliyksikkö sisältää hydraulisesti toimivat imu- ja paineventtiilit. Pumppaus on jatkuvatoimista, jolloin toinen mäntä imee pastaa imusuppilosta toisen männän pumpatessa sitä kohti pastaputkea. Liikkeitä ohjataan hydrauliiikan ohjauslohkoilla.



Kuva 23. Ohjausventtiiliyksikkö (Agnico Eagle Finland 2022c)

## 6.2 Hydraulikkakoneikko

Hydraulikkakoneikon tehtävänä on tuottaa tarvittava öljyn tilavuusvirtaus ja paine toimilaitteille. Koneikko sisältää kaksi hydraulikkapumppukokonaisuutta, joiden energia tuotetaan kahdella 250 kW sähkömoottorilla. Hydraulikkaöljyn laskennallinen kokonaisvirtaus järjestelmässä on 1385 l/min ja öljysäiliön kokonaistilavuus 2000 litraa. Öljyn maksimipaine on rajoitettu pumpuilta paineenrajoitusventtiileillä 240 Bar. Koneikon sisältää kuvan 24 mukaiset osat.



Kuva 24. Hydraulikkakoneikko (Agnico Eagle Finland 2022c)

1. Hydraulikkaöljysäiliö
2. Huoltoluukku
3. Öljynjäähdytin
4. Liitäntäkotelo
5. Sähkömoottorit
6. Paineakku
7. Hydraulikkapumput
8. Öljysäiliön pinnanmittaus
9. Öljymäärän seurantalasi
10. Paluusuodattimet
11. Säiliön Huohotin
12. Lämpötila-anturi

Pastapumpun toimilaitteet käyttävät toisistaan erillisiä öljykiertoja. Koneikossa hydraulikkapumppuja on yhteensä 10 kpl, jotka on jaettu kahteen rinnan toimivaan viiden pumpun kokonaisuuteen. Jokainen pumppupari toimii avoimena kiertona tuottaen tarvittavan öljyn tilavuusvirran ja paineen toimilaitteille. Pumput 1 ja 2 käyttävät pastapumpun differentiaalisylintereitä. Pumppu 3 käyttää paineakkua ja ohjausventtiileiden sylintereitä. Pumppu 4 kierrättää öljyä ilmajäähdyttimeen viilentäen tarvittaessa öljyn ja pumppu 5 tuottaa pumppujen tarvitseman ohjauspaineen. Koneikon suodatus on toteutettu erillisellä sivukiertosuodatuksella sekä paluulinjoihin sijoitetuilla paluusuodattimilla. Suodattimien paine-erosta tulee ohjaisjärjestelmään hälytykset niiden tukkeutuessa.

## 7 KUNNONVALVONTA

Pastapumpun kunnonvalvonta kattaa visuaalisen, anturitietoihin ja öljyanalyysiin perustuvan kokonaisuuden. Kunnonvalvontaa suorittavat niin tuotannon kuin kunnossapidon henkilöstö. Visuaalinen tarkastus kattaa päivittäin fyysisen järjestelmän poikkeamien seurannan. Pastapumpusta kerätään paljon tietoa suoraan ohjausjärjestelmään, kuten muun muassa öljynpaineet, lämpötilat, öljysäiliön pinnan korkeuden ja kosteuden sekä suodattimien paine-erot.

### 7.1 Vesilaatikko

Pumpun vesilaatikko on hyvä visuaalinen indikaattori kertomaan mäntien vaihtotarpeesta. Vesilaatikko (kuva 25) sijaitsee differentiaalisylintereiden ja kuljetussylintereiden välissä. Vesilaatikkoon syötetään vettä tarkoituksena huuhdella kuljetussylinterit sekä männät ja jäähdyttää differentiaalisylintereiden männänvarret. Kun vesilaatikosta ulos tuleva vesi alkaa harmaantua ja sisältämään partikkeleita, on se indikaattori mäntien kulumisesta. Tällöin pumpattava pasta tunkeutuu mäntien ja kuljetussylintereiden välistä vesilaatikkoon. Kun epäpuhtaudet havaitaan, on aika alkaa suunnittelemaan mäntien vaihtoa seuraavaan pastalaitoksen huoltokatkoon. Lisäksi vesilaatikossa veden pinnalla voi kellua öljyjuovia. Öljyjuovat ovat merkki differentiaalisylintereiden männänvarren tiivisteiden tai männänvarren pinnan vaurioitumisesta.



Kuva 25. Vesilaatikko huoltoindikaattorina

## 7.2 Öljyn kunnonvalvonta

Hydrauliikkaöljyn kunnonvalvontaa suoritetaan perinteisellä öljyanalyysillä sekä käynninaikaisella kunnonvalvonnalla. Öljyanalyysi otetaan aikaan perustuen ker-  
ran vuodessa. Öljynäyte kerätään samasta paikasta jokaisella näytteenottoker-  
ralla. Näin saadaan luotettavaa tietoa öljyn kunnosta ja mahdollisista alkavista  
laitevaurioista. Öljynäytteet lähetetään ulkopuoliseen laboratorioon analysoita-  
vaksi ja raportin pohjalta tehdään tarvittavat kunnossapitotoimenpiteet.

Hydrauliikkakoneikolle on rakennettu käynninaikainen kunnonvalvonta sisältäen  
partikkelimittaukset hydrauliikkapumpuilta sekä kosteusmittaus paluulinjoista.  
On-line-partikkelimittarit on asennettu mittaamaan partikkelimääriä öljypumppu-  
jen painepuolen virtauksesta. Järjestelmässä on kuvassa 26 näkyvät kuusi  
Hydacin valmistamaa CS1000 partikkelimittaria sekä yksi kosteusmittari. Näyte  
tuodaan paineenmittausletkuilla pumpun mittauspisteestä partikkelimittareille.  
Kuvasta 26 näkee myös, kuinka mittaletkut ovat päässeet huonoon kuntoon.



Kuva 26. Partikkelimittarit

Öljypumppujen painepuolelta otettavalla näytteellä on pyritty mittaamaan niin pumppujen mekaanista kuin myös öljyn kuntoa. Partikkelimittareiden ilmoittamia tuloksia pystyy seuraamaan niiden omilta näytöiltä paikanpäältä tai valvomosta ohjausjärjestelmän kautta etänä. Kuvasta 27 näkyy ohjausjärjestelmän näkymä, mihin partikkelimittareiden mittaamat standardin ISO 4406 mukaiset puhtausluokat ovat asetettu allekkain.

Pastapumpun hydr.öljyn partikkelimittaukset

5190QI75028	13.2>4 $\mu$ m 8.0>6 $\mu$ m 7.0>14 $\mu$ m
5190QI75029	9.0>4 $\mu$ m 8.0>6 $\mu$ m 7.0>14 $\mu$ m
5190QI75030	-0.1>4 $\mu$ m -0.1>6 $\mu$ m -0.1>14 $\mu$ m
5190QI75031	-0.1>4 $\mu$ m -0.1>6 $\mu$ m -0.1>14 $\mu$ m
5190QI75032	-0.1>4 $\mu$ m -0.1>6 $\mu$ m -0.1>14 $\mu$ m
5190QI75033	-0.1>4 $\mu$ m -0.1>6 $\mu$ m -0.1>14 $\mu$ m

Kuva 27. Partikkelimittaukset ohjausjärjestelmässä

Partikkelimittaukset eivät ole kuitenkaan olleet luotettavia ja haasteena on ollut näytteenottoletkujen kestävyys. Mittausten epävarmuuteen vaikuttaa muun muassa hydraulikkapumppujen painepuolelta otettava näyte, sillä painepuolella paine ja virtaus vaihtelevat suuresti aiheuttaen turbulentsuutta näytelinjaan. Turbulenttisuus lisää ilmakuplien määrää linjassa ja optiset partikkelimittarit eivät kykene näitä erottamaan todellisista epäpuhtaushiukkasista.

Näytteenottoletkujen kestävydessä on ollut myös ongelmia, koska ne ovat usein menneet poikki, joko ulkoisen kontaktin tai liian tiukkojen mutkien vuoksi. Näytteenottoletkun mennessä poikki syntyy suuria öljyvetoja. Öljyvetojen seurauksena pastapumppu täytyy pysäyttää ja se tarkoittaa tuotannon keskeytystä. Kaikkien näiden seurauksena nykyinen öljyn kunnonvalvonta ei paranna pastapumpun käytettävyyttä, vaan heikentää sitä.

## 8 KUNNONVALVONNAN PARANTAMINEN

Kunnonvalvonnan parantaminen aloitettiin tutkimalla, mikä kohde pastapumpulla aiheuttaa eniten ongelmia käytettävyydelle. Tähän käytettiin JD Edwards toiminnanohjausjärjestelmää, jonka kautta löytyy historiatiedot kunnossapidolle tehdyistä työmääräimistä ja valmistuneista töistä. Esille nousi pastapumpun mäntien vaihdot, hydraulikkaletkurikot ja hydraulikkakomponenttien ongelmat. Näistä mäntienvaihdot ennakoidaan hyvin vesilaatikkoa seuraamalla ja ne pystytään aikatauluttamaan huoltopäivälle aiheuttamatta ylimääräisiä katkoja. Hydraulikkaletkujen rikoista osa oli partikkelimitareiden näytelinjojen vuotoja.

Kaikkien havaintojen perusteella eniten ongelmia löytyi pastapumpun hydraulikasta ja koneikon öljyn kunnonvalvonnasta, joten öljyn kunnonvalvontaa lähdettiin kehittämään luotettavammaksi. Kuten aiemmin on todettu, öljyn kunto vaikuttaa merkittävästi koko järjestelmän toimivuuteen ja luotettavuuteen. Lähtökohdana on purkaa nykyinen kunnonvalvontalaitteisto ja rakentaa tilalle uusi luotettavampi kokonaisuus.

### 8.1 Suunnittelu

Öljyn kunnonvalvonnalla halutaan seurata öljyn kuntoa ja puhtautta. Tätä tarkoitusta varten öljynäytteenottoa siirretään suoraan hydraulikkapumpuilta säiliön kyljestä otettavaksi. Näin voidaan seurata kierrossa olevan öljyn kuntoa.

Hiukkaslaskennalla tullaan seuraamaan järjestelmän mekaanista kuntoa havaitsemalla sisäiset kulumisvauriot ja öljyjärjestelmään ulkopuolelta päässeet epäpuhtaudet. Esimerkiksi differentiaalisylintereiden männänvarren tiivistyksen pettäminen näkyy niin hiukkasmäärien kuin myös vesipitoisuuden nousuna. Pastapumpun toimittaja on antanut myös puhtausvaatimuksen öljylle, joka on standardin ISO 4406 mukaan 18/16/13. Kyseinen puhtaustaso asetetaan myös hälytysrajaksi ohjausjärjestelmään.

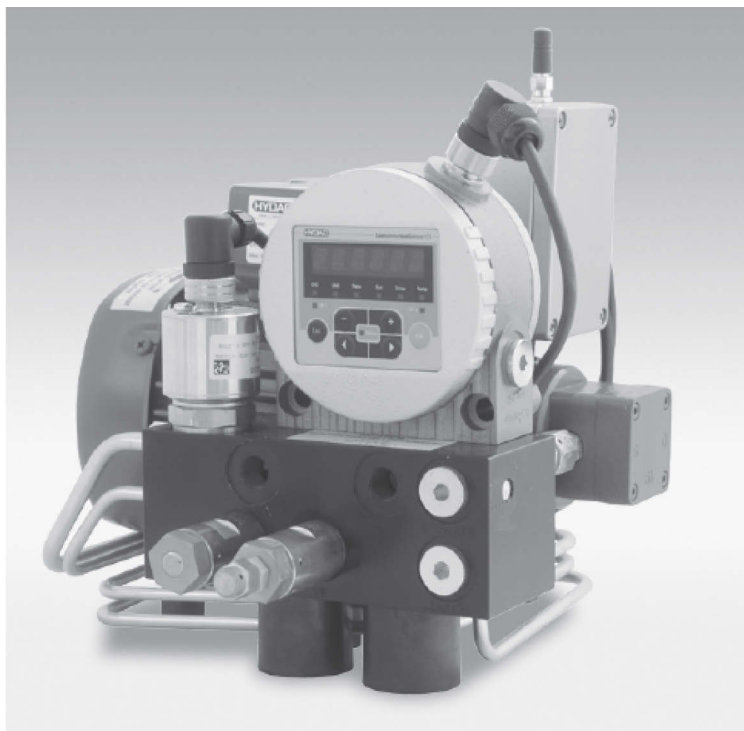
Hiukkaslaskennan lisäksi öljyn kemiallista kuntoa halutaan seurata. Kemiallisen kunnon seurannalla voidaan todeta öljyn vanheneminen ja voiteluominaisuuksien heikkeneminen. Laadunmittauksen mukaan hydraulikkaöljyä voidaan puhdistaa, kosteutta poistaa tai vaihtaa öljyt kokonaan.



## 8.2 Toteutus

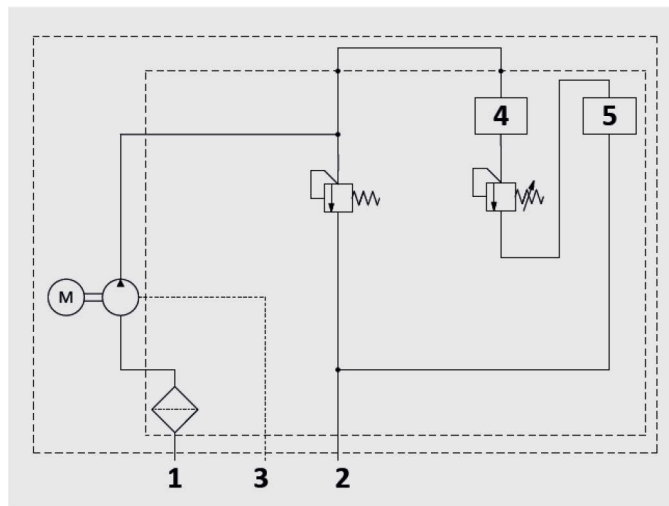
Öljyn kunnonvalvontajärjestelmä toteutetaan Hydacin valmistamilla komponenteilla. Järjestelmä sisältää öljyn kierrätyspumpun, paineenkorotusyksikön, optisen partikkelimittarin ja öljyn laadunmittalaitteen. Laitteet tullaan asentamaan hydraulikkaöljysäiliön kylkeen nykyisten partikkelimittalaitteiden paikalle. Kierto-pumppu pumppaa hydraulikkaöljyn öljysäiliön alareunasta paineenkorotuspump-puyksikölle, missä myös partikkelimittaus ja öljyn laadunmittaus tapahtuu. Öljy palautuu paineenkorotusyksikön paluulinjasta takaisin öljysäiliön yläreunaan.

Paineenkorotusyksikkönä toimii Hydac CSM-E (Kuva 28), minkä tarkoituksena on tuottaa mittalaitteille laadukas ilmakuplaton öljyvirtaus. Kuten on todettu ilma-kuplat vääristävät optisen partikkelimittarin tuloksia. Yksikön öljypumpun paine säädetään noin 25-40 Bar välille. On kuitenkin säätövaiheessa huomioitava pum-pun mahdollinen kavitointi. Nostettaessa öljynpainetta ilmakuplat vähenevät noin 8 prosenttia nostettua Baria kohden. (Hydac International GmbH 2022b.)



Kuva 28. Hydac CSM-E (Hydac International GmbH 2022b)

Kuvassa 29 on esitetty paineenkorotusyksikön hydraulikkakaavio. Kohtaan 1 tuodaan öljyn kiertopumppauslinjasta haara, mistä öljy kulkeutuu karkeasuodattimen läpi öljypumpulle. Pumpulta öljy virtaa kohtaan 4, mihin asennetaan partikkelimittari. Partikkelimittaria ennen on paineenpoistiventtiili ja jälkeen paineen-säätöventtiili. Kohtaan 5 asennetaan öljynlaatumittari. Kohdasta 2 lähtee paluu- linja takaisin öljysäiliöön. Kohdasta 3 saadaan pumpun vuotolinja tuotua öljysäi- liöön.



Kuva 29. CSM-E hydraulikkakaavio (Hydac International GmbH 2022b)

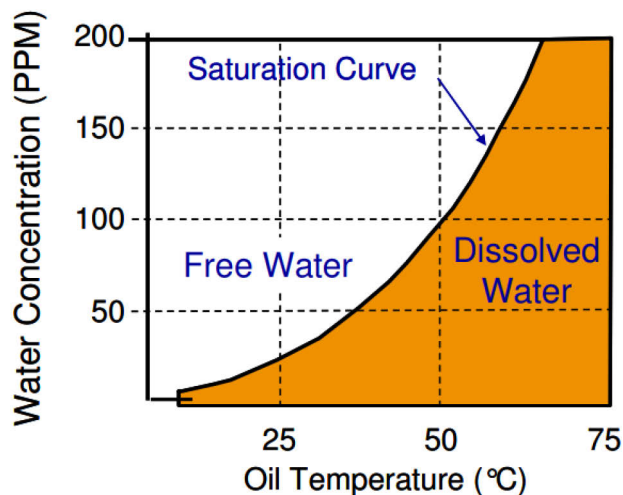
Partikkelimittarina järjestelmässä toimii optinen Hydac CS1000 (Kuva 30), joka sijoitetaan CSM-E:n päälle sille kuuluvalla paikalle. CS1000 kykenee laskemaan partikkelit standardien ISO 4406 mukaan pienimmillään puhtausluokkana 9/8/7 ja suurimmillaan 25/24/23. Tarkkuus on puoli ISO puhtausluokkaa.



Kuva 30. Partikkelimittari Hydac ContaminationSensor CS 1000 (Hydac International GmbH 2022a)

Öljyn laadunmittaukseen käytetään HydacLab 1400 (HLB1400) öljynlaatumittaria. HLB kykenee mittaamaan öljystä sähkönjohtavuuden, suhteellisen sähkönjohtavuuden muutoksen, dielektrisyden ja sen suhteellisen muutoksen, öljyn suhteellisen kosteuden ja lämpötilan. Kaikki tiedot tuodaan etäohjattavaan ohjausjärjestelmään, joten reaaliaikainen seuranta on mahdollista. Ohjausjärjestelmään määritellään myös tarvittavat hälytysrajat. Sähkönjohtavuuden ja dielektrisyden suhteellisten muutosten avulla voidaan seurata öljyssä tapahtuvia kemiallisia muutoksia ja näin seurata öljyn vanhenemista.

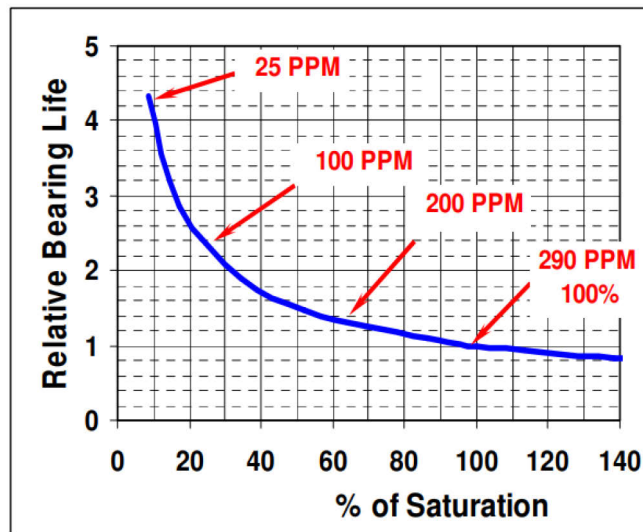
Suhteellinen kosteus on tärkeä mittari hydraulikkajärjestelmässä. Vesi aiheuttaa noin 20 % öljyjärjestelmien vaurioista. HLB1400 mittarilla suhteellinen kosteus mitataan välillä 0-100 % saturaatiopisteestä. Saturaatiopiste tarkoittaa kohtaa, missä öljyyn liuennut vesi alkaa esiintyä vapaassa ja näkyvässä muodossa öljyn joukossa. Kuvassa 31 vaaka-akselilla on öljyn lämpötila ja pystyakselilla öljyn vesipitoisuus yksikössä PPM (parts per million eli miljoonasosa). Kuvaaja esittää lämpötilan nousun vaikutuksen saturaatiopisteeseen. Öljyn ollessa 50 asteen lämpöinen pystyy se sitomaan itseensä 100 PPM vettä. 100 PPM tarkoittaa tietyn öljymäärän sisältävän 0,1 % vettä. (Day & Vesala, 2007.)



Kuva 31. Lämpötilan vaikutus öljyn saturaatiopisteeseen (Day & Vesala, 2007)

Vesi aiheuttaa järjestelmässä hydraulikkaöljyn vaahtoamista, korroosiota, kavi-taatiota, kulumista, metallien väsymistä, hapettumista ja vetyhaurautta. Kuvassa 32 on esitetty kuinka öljyn suhteellinen kosteus vaikuttaa laakereiden keston.

Kun suhteellinen kosteus on alle 20 %, saadaan suurin vaikutus kestoikään. (Day & Vesala, 2007.)



Kuva 32. Vesipitoisuuden vaikutus laakereiden kestävyteen (Day & Vesala, 2007)

Kunnonvalvontajärjestelmän komponenteista ja asennuksesta on pyydetty tarjous alihankkijalta ja asennukset tullaan tekemään vuoden 2023 aikana. Komponenttien pitkät toimitusajat johtivat viivästyksiin, joten käyttöönotto jää myöhempään ajankohtaan. Asennus ajankohta tullaan suunnittelemaan sopimaan muiden huoltojen kanssa samaan aikaan. Näin vältetään ylimääräiseltä pastan tuotannon pysäytykseltä.

## 9 POHDINTA

Opinnäytetyön keskeisin tarkoitus oli löytää keinoja parantaa pastapumpun käynninaikeista kunnonvalvontaa. Aihe oli mielenkiintoinen ja öljyn kunnonvalvontalaitteet ja menetelmät tulivat minulle hyvin tutuiksi teoria-aineistoa tutkiessa. Aiheeseen liittyy myös kunnossapidon eri menetelmät ja hydrauliiikan tuntemus. Näitä aiheita voisi käsitellä paljon enemmänkin, mutta tähän opinnäytetyöhön toin niistä kunnonvalvontaan merkittävästi liittyvät näkökulmat esille. Teorian pohjalta tehtiin suunnitelmat ongelmakohtien parantamiseen.

Työn aikana saatiin kartoitettua pastapumpun vikaantumiseen eniten vaikuttavat tekijät. Näiden pohjalta pastapumpun hydrauliikkakoneikon nykyinen partikkeli-mittauslaitteisto poistetaan ja tilalle asennetaan suunnittelun tuloksena syntynyt kunnonvalvontakokonaisuus. Kokonaisuus sisältää öljyn kierrätyksen sekä öljyn partikkeli- ja laadunmittauksen. Mittauksien avulla saadaan tieto järjestelmän kunnosta reaaliajassa, minkä pohjalta voidaan suunnitella ja toteuttaa ennakoivia kunnossapitotoimenpiteitä.

Kunnonvalvontakokonaisuus on tilattu alihankkijalta, mutta komponenttien pitkien toimitusaikojen takia asennus ajoittuu vuoden 2023 puolelle myöhempään ajankohtaan. Järjestelmän suunniteltua käyttöönottoa ei siis voitu suorittaa tämän opinnäytetyön teon aikana. Käyttöönotto tullaan kuitenkin suorittamaan myöhemmin asennusten jälkeen.

Työn tulokseen olen tyytyväinen, sillä uusi kunnonvalvontalaitteisto on tilattu ja tullaan asentamaan lähitulevaisuudessa. Tämä tulee parantamaan kunnonvalvonnan luotettavuutta ja sitä kautta pastapumpun käytettävyyttä. Harmillisesti kuitenkin käyttöönotto jäi myöhempään ajankohtaan enkä sitä saanut tämän opinnäytetyön puitteissa dokumentoitua.

## LÄHTEET

Agnico Eagle Finland 2017. Rikastamon prosessikaavio. Sisäinen intranet.

Agnico Eagle Finland 2022a. Kittilän kaivos. Viitattu 14.3.2022. <https://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/toiminta/>

Agnico Eagle Finland 2022b. Näkijöiden ja tekijöiden yhtiö. Viitattu 14.3.2022. <https://agnicoeagle.fi/fi/tietoa-meista/>

Agnico Eagle Finland 2022c. Schwing-stetter manuaali. Yrityksen sisäinen intranet. Viitattu 20.10.2022

Agnico Eagle Finland Oy 2020. Tuotannon nosto ja Cil-Rikastushiekan hallinta. YVA-Ohjelma. Sivut 20–22. Ympäristöhallinta. Viitattu 14.3.2022. <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B593FB744-6052-49AD-875F-3F1179B80E16%7D/164837>

Agnico Eagle Mines Limited 2022a. About Agnico. Viitattu 14.3.2022. <https://www.agnicoeagle.com/English/about-agnico/default.aspx>

Agnico Eagle Mines Limited 2022b. BMO 31st Global Metals & Mining Conference. Viitattu 27.3.2022. [https://s21.q4cdn.com/374334112/files/doc\\_presentations/2022/AEM-BMO-Conference-2022-FINAL.pdf](https://s21.q4cdn.com/374334112/files/doc_presentations/2022/AEM-BMO-Conference-2022-FINAL.pdf)

Agnico Eagle Mines Limited 2022c. The new gold standard. Annual report 2021. Viitattu 10.11.2022. [https://s21.q4cdn.com/374334112/files/doc\\_financials/annual/2021/2021-Agnico-Eagle-Annual-Report.pdf](https://s21.q4cdn.com/374334112/files/doc_financials/annual/2021/2021-Agnico-Eagle-Annual-Report.pdf)

Day, M. & Vesala, M. 2007. Setting Control Limits for Water Contamination in Hydraulic and Lubrication Systems. Viitattu 2.11.2022. [https://www.fluidlab.fi/sites/default/files/The\\_10th\\_Scandinavian\\_International\\_Conference\\_on\\_Fluid\\_Power.pdf](https://www.fluidlab.fi/sites/default/files/The_10th_Scandinavian_International_Conference_on_Fluid_Power.pdf)

Fluid klinikka 2002. Hydrauliiikan perusteet. Viitattu 4.4.2022. <https://asiakas.kotisivukone.com/files/fluidfinland.kotisivukone.com/FluidKlinikat/8.hydrauliiikan-perusteet.pdf>

Hydac International GmbH 2022a. ContaminationSensor CS 1000 Series. Viitattu 2.11.2022. [https://www.hydac.com/shop/fi-fi/GP\\_1000421931#document-DownloadList](https://www.hydac.com/shop/fi-fi/GP_1000421931#document-DownloadList)

Hydac International GmbH 2022b. ContaminationSensor Module Economy 1000 CSM-E. Viitattu 2.11.2022. [https://www.hydac.com/shop/fi-fi/GP\\_1000189423](https://www.hydac.com/shop/fi-fi/GP_1000189423)

Hydrauliiikan luennot (2014). Koulutusohjelma: Mekatroniikka. Viitattu 15.4.2022. [https://docplayer.fi/2707458-Hydrauliiikan-luennot-2014.html#show\\_full\\_text](https://docplayer.fi/2707458-Hydrauliiikan-luennot-2014.html#show_full_text)

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito. Tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 6. täydennetty painos. Helsinki: Promaint ry.

Kauranne, H., Kajaste, J. & Vilenius, M. 2013. Hydrauliteknikka. 2. uud. p. Helsinki: Sanoma Pro.

Keinänen, T. & Kärkkäinen, T. 2009. Automaatiojärjestelmien hydraulikka ja pneumatiikka. Helsinki: WSOY.

Kunnossapitoyhdistys Promaint. Voitelutekninen toimikunta & Aarnio, M. 2013. Teollisuusvoitelu: Käsikirja. 5. uud. p. Helsinki: KP-media.

Kunnossapitoyhdistys Promaint. 2018. Öljyn kunnossapito: öljyn kunnossapidon uudet menetelmät ja haasteet sekä koneiden ja laitteiden ennakoiva kunnossapito öljyn avulla. 1. painos. Helsinki: Promaint ry.

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito: Käsikirja. Helsinki: KP-Media.

Neste 2022. Neste hydraulic 46 super. Viitattu 2.11.2022.  
<https://www.neste.fi/tuote/neste-hydraulic-46-super>

Niiranen, E. 2013. Öljynäytteiden Hiukkaslaskenta mekaanisessa kunnonvalvonnassa. Jyväskylän ammattikorkeakoulu kunnonvalvontakurssi 2013.

Paavilainen, H. 2009. Järjestelmätyypit. Viitattu 15.4.2022. <https://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12160528>

PSK 6201:2011. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. Helsinki: PSK Standardisointi. Viitattu 15.3.2022. <https://psk-standardisointi.fi/standardit/>

SFS-EN 13306:2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Viitattu 15.3.2022. <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/840250.html.stx>