B

Juho Torvi, Kimmo Kemppainen

Kaivoksen kunnossapidon johtaminen

KAJAANIN
AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Kajaanin Ammattikorkeakoulu Oy

University of Applied Sciences

Juho Torvi, Kimmo Kemppainen

Kaivoksen kunnossapidon johtaminen

Kajaanin ammattikorkeakoulun julkaisusarja B

Raportteja ja selvityksiä 21

Projektin rahoittajat:
Euroopan unioni, Euroopan aluekehitysrahasto
Tekes
Talvivaaran kaivososakeyhtiö Oyj
Sandvik Mining and Construction Oy
FQML/Pyhäsalmen kaivos Oy
MIP Electronics Oy

Projektin tukijat:
Sotkamo Silver Oy
SKF Oy

Yhteystiedot:

Kajaanin Ammattikorkeakoulu Oy
PL 52
87101 KAJAANI
Puh. (08) 618 991
www.kamk.fi

ISBN 978-952-9853-53-3

ISSN 1458-9141

Juvenesprint, Oulu 2014

KAIVOKSEN KUNNOSSAPIDON JOHTAMINEN

Kirjoittajat

Juho Torvi ja Kimmo Kemppainen

Organisaatio

Kajaanin Ammattikorkeakoulu Oy

Tiivistelmä

Tämä julkaisu on vuosina 2012–2013 toteutetun Development of production integrated condition-based maintenance model for mining industry (DEVICO) -projektin raportti. Projekti toteutettiin kaksiosaisena; Kajaanin ammattikorkeakoulu keskittyi kunnossapidon johtamista käsittelevään tutkimukseen ja Oulun yliopisto tutki kuntoon perustuvan kunnossapidon sovellutuksia kaivoksissa. Tässä julkaisussa on raportoitu Kajaanin ammattikorkeakoulun osuuden keskeiset tulokset.

Useilla kaivoksilla on ollut ongelmia saada tuotantoprosessin käyttöaste tavoitetasolle riittävän nopeasti. Ensimmäisinä tuotantokuukausina tai -vuosina toiminta muistuttaa enemmän korjaavaa kuin ennakoivaa kunnossapitoa. Kunnossapitokustannusten osuus tuotantokustannuksista on kaivoksesta riippuen noin 20–44 %, mutta sitäkin suurempi merkitys on huonosta kunnossapidosta aiheutuvilla tuotannon menetyksillä. Kunnossapidolla on lisäksi välillinen yhteys kaivoksen ympäristövaikutuksiin. Työn tarkoituksena on kuvata uudenlainen ennakoivan kunnossapidon toimintamalli aloittaville kaivoksille. Kappaleessa yksi lukija johdatetaan aiheeseen, kappaleessa kaksi kuvataan lyhyesti kaivoksen tuotantoprosesseja ja kappaleessa kolme käydään läpi kunnossapidon johtamista. Aloittavan kaivoksen kunnossapidon johtamisen toimintamalli kuvataan kappaleessa neljä.

Aineistona toimintamallin kuvaamisessa on käytetty kirjallisuuslähteitä, projektissa toteutetuista case -tapauksista kerättyä tietoa ja GOPP-työpajojen, seminaarien sekä haastattelututkimusten tuloksia. Projektissa havaittiin, että aloittavat kaivokset mieltävät tärkeimmiksi asioiksi alhaiset investointikustannukset (CAPEX) sekä suunnitellun prosessin energiatehokkuuden. Kunnossapitoa pidetään tärkeänä asiana, mutta se jää usein päätöksenteossa toiselle tai kolman-

nelle sijalle. Tässä raportissa esitetty toimintamalli korostaa kunnossapidon roolia kaivoksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa, parantaa käytettävyyttä tuotannon käynnistyessä ja sitä kautta myös kaivoksen alkuvaiheen kassavirtaa. Suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa kunnossapitoon käytetty ylimääräinen panostus maksaa itsensä takaisin muutamassa kuukaudessa ja 100 miljoonaan euron liikevaihtoa tavoittelevan kaivoksen kassavirran arvioidaan parantuvan kolmen ensimmäisen tuotantovuoden aikana yhteensä lähes 40 miljoonaa euroa.

Avainsanat: Kunnossapito, käynnissäpito, kunnonvalvonta, ehkäisevä kunnossapito, kaivos, ympäristövaikutukset, rikastamo, rikastaminen, johtaminen, toimintamalli, ulkoistaminen

Sisällys

1 JOHDANTO 1
1.1 Kunnossapidon merkitys kaivosteollisuudessa 2
1.2 Devico -projektin tausta, tavoite ja toteutus 3
1.3 Aikaisempia tutkimuksia 6
2 Kaivosteollisuuden ominaispiirteet ja kaivosten elinkaari 8
2.1 Malmin etsintä, kannattavuuslaskelmat ja luvittaminen 8
2.2 Rahoitus ja kaivoksen rakentaminen 11
2.3 Tuotannon käynnistäminen 13
2.4 Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoito 20
3 Kunnossapito ja kunnonvalvonta 22
3.1 Kunnossapidon määritelmät ja tavoitteet 22
3.2 Kunnonvalvonta 29
3.3 Kunnossapidon toimintamallit ja kunnossapitostrategiat 35
3.4 Kunnossapidon ulkoistaminen 48
3.5 Kunnossapitojärjestelmä 57
3.6 Kunnossapidon tehokkuus ja sen mittaaminen 61
3.7 Kunnossapidon johtaminen kaivoksilla 70
4 Kaivoksen elinkaaren huomioiva kunnossapidon toimintamalli aloittaville kaivoksille 75
4.1 Kunnossapito kaivoksen suunnittelu- ja kannattavuusselvitysvaiheessa 81
4.2 Kunnossapito kaivoksen rakentamisvaiheessa 86
4.3 Kunnossapito tuotantovaiheessa 96
4.4 Kunnossapito kaivoksen laajennusvaiheessa 101
4.5 Sulkemisvaiheen kunnossapito 103

4.6 Esimerkkejä kaivosteollisuuden kunnossapidosta 103
4.7 Kehitysehdotuksia kaivosteollisuuteen.....127
5 Lähteet 130

LYHENTEET

CMMS, Computerized Maintenance Management System, kunnossapidon tieto-järjestelmä

CBM, Condition Based Maintenance, kuntoon perustuva kunnossapito

CNA, Client need Analysis, asiakastarveanalyysi

DOM, Design out Maintenance

EAMS, Enterprise Asset Management System

FMEA, Failure Mode and Effects Analysis, vika- ja vaikutusanalyysi

FMECA, Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, vika, vaikutus ja kriittisyys-analyysi

KTM, Kauppa- ja teollisuusministeriö

LCC, Life cycle cost, elinkaarikustannus

LCP, Life cycle profit, elinkaarituotto

LME, London Metal Exchange

MIS, Management Information System

NPV, Net Present Value, nykyarvo

ODM, Operator Driven Maintenance, käyttäjäkunnossapito

ODR, Operator Driven Reliability, käyttäjäkunnossapito

PM, Preventive Maintenance, ehkäisevä kunnossapito

RCA, Root Cause Analysis, Juurisyyanalyysi

RCM, Reliability Centered Maintenance, luotettavuuskeskeinen kunnossapito

SAG, Semiautogenous grinder, puoliautogeeninen jauhinmylly

SPM, Shock Pulse Method, Iskusysäysmenetelmä

TBM, Time Based Maintenance, aikaan perustuva kunnossapito

TPM, Total Productive maintenance, tuottava kunnossapito

TUKES, Turvallisuus- ja kemikaalivirasto

VVA, Vika- ja vaikutusanalyysi

VVKA, Vika- Vaikutus ja Kriittisyysanalyysi

YVA, Ympäristövaikutusten arviointi

1 JOHDANTO

Kunnossapidon päällimmäinen tavoite on yksinkertainen: laiteviat häiritsevät mahdollisimman vähän tuotantoa. Kunnossapidolla parannetaan tuotannon toimintavarmuutta, laatua, turvallisuutta ja vähennetään ympäristövaikutuksia. Toinen lähes yhtä tärkeä tavoite on, että ehjiä laitteita ei korjata, koska se lisää kustannuksia, mutta ei tuo mitään hyötyjä. Yrityksen johto tekee kunnossapitoon liittyviä päätöksiä päivittäin. Päätöksien myötä voidaan jokin kone korjata tai jättää korjaamatta ja ostaa uusi tilalle. Johto päättää myös kunnossapidon resursseista ja strategioista. Kunnossapidon tavoitteiden tulee perustua johdon pitkän aikavälin suunnitelmiin ja toteuttaa yrityksen strategiaa.

Vielä 80 vuotta sitten kunnossapito oli sitä, että kun jotain meni rikki, se korjattiin. Vähitellen syntyi ajatus siitä, että vikoja voidaan ehkäistä. Koneita alettiin huoltamaan määrävälein ja niiden kuntoa seurattiin. Koneiden ja laitteiden tekniikat kehittyvät ja monimutkaistuvat koko ajan. Uusimmissa koneissa niiden sisältämillä tekniikoilla seurataan koneiden käyntiä, käyntiolosuhteita ja käynnin rasittavuutta. Näin kerätään tietoa, jonka avulla koneen toimintaa ja käynnin luotettavuutta voidaan ennustaa. Etävalvontana suoritettu käynninvalvonta helpottaa resurssien käyttöä ja mahdollistaa asiantuntijoiden käytön entistä tehokkaammin. Kun anturit ilmoittavat, että toiminta poikkeaa normaalista, voidaan olettaa, että jossain on vikaa ja käynnistää toimet syyn määrittämiseksi ja korjaamiseksi. Näin perinteisen kunnossapidon suorittaminen jaksotetusti muuttuu enemmän kunnonvalvontaan perustuvaksi. Kunnonvalvontaan perustuvat tehtävät enenevässä määrin suorittaa koneen käyttöhenkilöstö. Käytön ja kunnossapidon saumaton yhteistyö edellyttää, että käyttöhenkilöstö on kiinnostunut kunnossapidosta ja kunnossapidon henkilöstö tuotannosta. Jos kunnossapito on tehotonta, syntyvät viat kiihdyttävät uusien vikojen syntymistä (domino-efekti). Laiterikot ja laitteiden puutteellinen toiminta aiheuttavat merkittäviä tuotannollisia menetyksiä.

Kunnossapidon kustannuksia kasvattaa tuotantomäärien kasvu ja tuotantoprosessien monimutkaistuminen. Automaation lisääntyminen vähentää tuotantotyöntekijöiden määrää, mutta lisää kunnossapitotarvetta. Niinpä asiantuntijat

ennustavat, että kunnossapitokustannukset kasvavat vielä ainakin 15 – 30 vuoden ajan. Kilpailukyvyn säilyttämisen kannalta oleellista on, että kun kokonaiskustannukset nousevat, samalla rahamäärällä on saatava aikaan enemmän. Määrärahat täytyy käyttää siellä, missä ne tuottavat eniten; tuottamattomiin kohteisiin ei kannata sijoittaa. (Järviö ym. 2007)

Vuosittainen panostus kunnossapitoon Suomessa on noin 24 miljardia euroa. Suomessa alan ulkoistamistrendi on myös edennyt varsin pitkälle eli 50 000:sta teollisuuden kunnossapitoalalla työskentelevästä 15 000 on palveluita tarjoavan kunnossapitoyrityksen palkkalistoilla. (Promaint-yhdistys)

1.1 Kunnossapidon merkitys kaivosteollisuudessa

Kaivosteollisuus on syklistä ja pääomavaltaista toimintaa, jossa kunnossapidon rooli on jopa merkittävämpi kuin perinteisessä teollisuudessa. Uuden kaivoksen ensimmäiset tuotantovuodet ovat erityisen kriittisiä, jotta koneet ja tuotanto saadaan toimimaan mahdollisimman nopeasti suunnitellulla tasolla ja sitä kautta kaivoksen kassavirta positiiviseksi. Laskusuhdanteiden aikana kaivosyhtiöt joutuvat taasen kilpailemaan vanhenevalla konekannalla kun investointirahat ovat tiukassa. Molemmissa tapauksissa kunnossapidolla on suuri merkitys kaivoksen kannattavuuteen.

Suomessa avattiin useita kaivoksia vuosina 2007–2012 metallien hintojen ollessa hyvällä tasolla, mutta tällä hetkellä investointirahaa uusien kaivosten avaamiseksi on vaikeaa saada. Tuotannossa olevat kaivoksetkin karsivat korvaus- ja laajennusinvestointeja. Tässä tilanteessa tuottavuutta voidaan parantaa nostamalla nykyisten prosessien käyttöastetta. Kunnossapidolle tämä on sekä haaste että mahdollisuus.

Kunnossapito arvioidaan usein sillä perusteella kuinka paljon siihen menee rahaa. Säästöpotentiaali kunnossapidossa on usein kuitenkin merkittävästi pienempi kuin sen tuottopotentiaali. Mikkosen (2011) mukaan teollisuudessa kunnossapidon osuus liikevaihdosta on vain muutamia prosentteja, mutta hävikkien aiheuttamat tuotantomenetykset jopa 30 %. Kaivosteollisuudessa kunnossapidon merkitys korostuu, sillä ympäristöllisesti vaikeiden olosuhteiden takia kunnossapito on yksi suurimmista kaivosalan kustannuksista. Kunnossapidon kustannusten osuus kaivoksilla on yleensä noin 20 -30 % käyttökustannuksista (Ha-

kapää & Lappalainen 2009). Chilessä tehdyn tutkimuksen mukaan kunnossapidon osuus tuotantokustannuksista oli peräti 44 %. Tutkimuksessa oli mukana kuusi suurta avolouhosta, jotka vastasivat 58 % Chilen kuparituotannosta. (Knights & Oyanader 2001) Holmbergin ym. (2004) mukaan seisokkipäivän hinnaksi kaivosteollisuudessa on laskettu 100 000 €/päivä. Se vastaa seisokkipäivän hintaa kemian- tai terästehtaassa, mutta on 50 % vähemmän kuin seisokkipäivä paperitehtaassa tai ydinvoimalassa.

Taloudellisen merkityksen lisäksi kunnossapidolla on myös ympäristöllisiä vaikutuksia. Silloin kun prosessit toimivat tasaisesti, päästöt ilmaan sekä vesistöihin ovat pienemmillään. Sen sijaan kemiallisten prosessien ylös- ja alasajovaiheet aiheuttavat epätasapainotilanteita prosesseissa, mikä lisää tuotantolaitosten ympäristövaikutuksia. Ennakoivalla kunnossapidolla voidaan vähentää kaivosten ympäristökuormitusta.

Kaivoksilla on muutamia ominaispiirteitä verrattuna moneen muuhun teollisuuden alaan. Kaivoksilla työskentelyolosuhteiden lämpötilat voivat vaihdella rajusti esimerkiksi -40 asteen pakkasesta +40 asteen helteeseen. Lisäksi malmilla tai sen rikastamisessa käytettävillä kemikaaleilla on usein hapettavia vaikutuksia, jotka lyhentävät laitteiden, koneiden ja putkistojen elinkaaria. Hieno pöly ja tärinä ovat myös tyypillisiä ongelmanaiheuttajia kaivoksilla. Pohjoismaissa kallioperä on pääsääntöisesti kovaa, mikä lisää laitteiden ja koneiden kunnossapitotarvetta. Kaivosten syrjäinen sijainti voi tarkoittaa sitä, että lähellä ei ole saatavilla kunnossapitopalveluita vaan kunnossapitotyöt pitää tehdä itse.

1.2 Devico -projektin tausta, tavoite ja toteutus

Aloittavat kaivokset ja kaivosten laajennusprojektit ovat usein tuotantovetoisia ja kunnossapitoon kohdistettavat taloudelliset sekä henkilöstöresurssit ovat rajalliset. Aloittaville kaivoksille on kuitenkin tärkeää, että tuotannon käynnistyessä käyttöasteet saadaan mahdollisimman nopeasti tavoitetasolle. Kaivoksilla on myös kasvava tarve minimoida ympäristövaikutuksia. Tähän tarpeeseen tarvitaan helposti, nopeasti ja kevyellä organisaatiolla käyttöönotettava ennakoivan kunnossapidon toimintamalli.

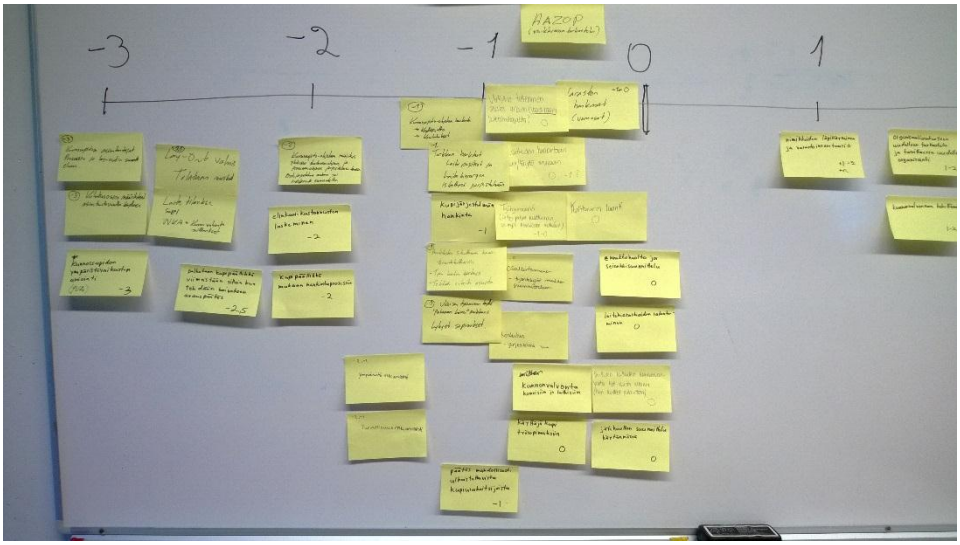
Projektin päätavoitteena oli kehittää kunnonvalvontaan hyödyntävä ennakoivan kunnossapidon toimintamalli, jota voidaan toteuttaa kevyellä organisaatiolla aloittavalla kaivoksella. Projekti on jaettu kahteen pääosaan; kunnossapitomallin

kehittäminen (prosessit) ja kunnonvalvontaan perustuva tutkimustoiminta (teknologia). Kajaanin ammattikorkeakoulu vastaa kunnossapitomalleja tutkivasta sekä kehittävästä osiosta ja Oulun yliopisto kunnonvalvontaratkaisuja tutkivasta osasta. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun käynnissäpitoryhmä vastasi projektin yhden työpaketin (Kunnossapidon ja käytön toimintojen integroiminen) toteutuksesta.

Projektissa kehitettyä toimintamallia voidaan soveltaa myös jo tuotannossa olevilla kaivoksilla. Toimintamalli huomioi kaivoksen elinkaaren ja mahdollistaa kunnossapidon ulkoistamisen. Tavoitteena oli myös luoda uutta tietoa kunnossapidon tiedonhallintaratkaisuista. Projektin tuloksena kaivosyhtiöiden kunnossapitotoiminnot kehittyvät ja ennakoivan kunnossapidon toimintamalli vahvistuu. Kunnossapidon kehitystyön tuloksena:

1. Koneiden ja laitteiden elinkaaret pitenevät
2. Prosessien toimintavarmuus lisääntyy ja ympäristöriskit pienenevät
3. Kaivosten materiaali- ja energiatehokkuus paranee

Projekti toteutettiin vuosina 2012-2013 ja projektin tutkimusosuus oli luonteeltaan laadullista tapaustutkimusta. Projektin yleisessä osassa kuvattiin uudenlainen toimintamalli kunnossapidon johtamiseksi aloittavalla kaivoksella. Projektin alussa valittiin kaivosyhtiöiden kanssa käytyjen keskuteluiden perusteella kaksi case-kohdetta ja projektin resurssit kohdistettiin niissä tarvittavien ratkaisujen tutkimiseen ja kehittämiseen. Toinen case oli jo tuotannossa olevan kaivoksen murskauspiiri ja toisessa casessä keskityttiin aloittavan kaivoksen rikastamon kunnossapitoon. Caseissä otettiin huomioon uusien ratkaisuiden soveltamismahdollisuudet myös muissa kohteissa. Teollisuuden caset loivat lähtökohdat toimintamallin kuvauksella ja antoivat tarvittavaa tietoa käytännön haasteista, ongelmista ja hyväksi havaituista käytänteistä. Projektissa hyödynnettiin lisäksi kirjallisuuslähteitä, haastattelututkimuksia sekä GOPP-työpajoja.



Kuva 1. Projektissa järjestetyn GOPP-työpajan taulutyöskentelyä.

Osana projektia tehtiin kaksi insinöörityötä Kajaanin ammattikorkeakoululle, yksi Professional Development (PD) -työ Oulun yliopistolle sekä yksi ylempi AMK -työ Kajaanin ammattikorkeakoululle. Lisäksi projektin aikana toteutettiin kaksi simuloimiseen liittyvää projektiyötä opiskelijoilla. Projektissa järjestettiin yhdessä Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun kanssa kolme GOPP-työpajaa sekä yhteistyössä Oulun yliopiston ja Aalto yliopiston (SOREX-projekti) kanssa tulosseminaari kesällä 2013.

Kuva 2. DEVICO ja SOREX -projektien tulosseminaarin yhteydessä järjestetty kaivosvierailu Kittilän kaivokselle.

Kunnossapidon toimintamallikuvauksen tavoitteena oli tarkastella kaivosyritysten kunnossapitokysymyksiä laajempana kokonaisuutena – ei keskittyä yksittäisen kunnossapito-osaston toimintaan. Hagbergin (1996) mukaan yrityksen keskeisimpiä kunnossapitoasioita ovat: 1) Kunnossapitonäkökulmien huomioiminen suunnittelussa ja hankinnassa, 2) hyvien käyttö- ja huolto-ohjeiden luominen, 3) taloudellisen varaosaohjauksen kehittäminen, 4) pätevän kunnossapito-organisaation kehittäminen ja 5) suunnittelu-, seuranta- ja analyysirutiinien luominen. Tässä on hyvät peruslähtökohdat myös kaivoksille suunnatun ennakoivan kunnossapidon toimintamallille.

1.3 Aikaisempia tutkimuksia

Suomessa on tutkittu kaivosteollisuuden kunnossapitoa muun muassa kolme vuotta kestäneessä vuonna 2003 alkaneessa Prognos - Prognosis for Industrial Machinery Availability -projektissa. Siinä olivat mukana VTT, Lappeenrannan yliopisto, Tampereen yliopisto, Oulun yliopisto sekä joukko yrityksiä. (VTT 2006)

Osana Prognos projektia tutkittiin mm. etäohjattavan maanalaisen lastauskoneen luotettavuutta (VTT 2006) sekä 3D-käyttöliittymän hyödyntämismahdollisuuksia diagnostiikassa ja prognostiikassa Pyhäsalmen kaivoksella.

Useat aikaisemmat suomessa tehdyt kunnossapidon tutkimukset ovat keskittyneet diagnostiikkaan, prognostiikkaan, öljy- ja värähtelyanalyyseihin sekä signaalien derivoimiseen (Lahdelma 2002, Lahdelma & Kotila 2003, Vähäoja ym. 2004, Vähäoja 2006). Sen sijaan kaivosten kunnossapitostrategioista ja kunnossapitoprosesseista ei löydy Suomesta aikaisempia tutkimustuloksia ja maailmaltakin löytyy vain muutamia aiheeseen liittyviä tieteellisiä artikkeleita.

2 Kaivosteollisuuden ominaispiirteet ja kaivosten elinkaari

Tämän kappaleen tarkoituksena on kuvata lyhyesti kaivostoiminnan erityispiirteitä, kaivoksen elinkaarta sekä tuotantoprosesseja. Kaivostoiminnan elinkaari voidaan jakaa neljään vaiheeseen: malmin etsintään, rakentamiseen, tuotantoon ja jälkihoitoon.

2.1 Malmin etsintä, kannattavuuslaskelmat ja luvittaminen

Kaivostoiminta alkaa aina malmin etsinnästä. Esiintymän löytymisestä kuluu vähintään 5-10 vuotta siihen, että kaivos on tuotannossa. Useissa tapauksissa aikaa on kulunut useita kymmeniäkin vuosia.

Malminetsinnän tavoitteena on löytää ja paikantaa maakamaran mineraaliesiintymä, jota voidaan taloudellisesti ja teknisesti hyödyntää. Malminetsintä on pitkäjänteistä työtä, joka etenee vaiheittain alueellisesta kohteelliseen tutkimukseen. Suomesta on saatavissa paljon alueellista tietoutta kivilajeista ja kallioperästä GTK:n ansiosta. Malmipotentiaaliset vyöhykkeet ovat nykyisen melko hyvin tiedossa ja yritykset kohdentavat malminetsintää näille alueille.

Kaivostoiminnan käynnistämiseen johtava prosessi koostuu eriasteisista kannattavuusselvityksistä. Kannattavuusselvitysprosessin edetessä jokainen vaihe perustuu tiedon lisääntymiseen ja tarkempaan käsitykseen esiintymän hyödyntämisestä. Kannattavuusarvioinnin vaativat aikaa ja rahaa, kukin vaihe edellistä enemmän. Eriasteisen selvityksen vievät yleensä yhteensä viidestä kymmeneen vuotta ja maksavat kaivoksen koosta riippuen miljoonista euroista kymmeniin miljooniin. (Hakapää & Lappalainen 2009) Yleisesti käytetyt nimityksen eri vaiheille ovat:

1. Alustava arviointi (conceptual study)
2. Kannattavuuden esiselvitys (pre-feasibility study)
3. Kannattavuustarkastelu (feasibility study)
4. Pankkikelpoinen kannattavuustarkastelu (bankable feasibility study)

Potentiaalisen esiintymän hyödynnettävyyden ja kannattavuuden selvittämiseksi osana malminetsintää ja kaivoshankkeen kehittämistä tehdään

koelouhintoja sekä rikastuskokeita. Koelouhinta ja rikastaminen tehdään vastaavilla tekniikoilla kuin varsinainen tuotantokin on suunniteltu tehtävän, mutta mittakaava on pienempi. Mikäli koerikastustulokset ja pankkikelpoiset kannattavuuslaskennat näyttävät positiivisilta, voidaan tehdä kaivoksen avauspäätös. Kaivoksen avaaminen edellyttää rahoituksen järjestymistä sekä voimassaolevia ympäristö-, kaivospiiri- ja turvallisuuslupia. (Hakapää & Lappalainen 2009)

2.1.1 Kaivoslupa ja kaivosturvallisuuslupa

Kaivoksen perustamista ja kaivostoiminnan harjoittamista varten tulee olla kaivoslupa Turvallisuus- ja kemikaalivirastolta (TUKES). Lupa oikeuttaa hyödyntämään kaivosalueella olevat mineraalit sekä toiminnan sivutuotteena syntyvää materiaalia, kuten rikastushiekkaa ja sivukiveä, jonka lisäksi sen haltija saa suorittaa kaivosalueella myös malminetsintää. Kaivosluvassa määriteltävän kaivosalueen tulee olla yhtenäinen alue, joka on suuruudeltaan ja muodoltaan sellainen, että turvallisuutta, kaivostoiminnan sijoittamista ja kaivostekniikkaa koskevat vaatimukset täyttyvät. Kaivosluvan myöntämisen edellytyksenä on, että esiintymä on kooltaan, pitoisuuksiltaan ja teknisiltä ominaisuuksiltaan hyödyntämiskelpoinen. Esiintymän kokoa ja pitoisuutta voidaan pitää riittävänä, jos sen louhinnasta saatavat tulot kattavat käyttökustannukset ja takaavat vaadittavan tuoton sijoitetulle pääomalle. Teknisistä ominaisuuksista tärkeimmät ovat louhintatekniset ja rikastustekniset ominaisuudet. Kaivoslupa on voimassa toistaiseksi, mutta sen määräyksiä tarkistetaan kaivosviranomaisen toimesta vähintään 10 vuoden välein. Lupa voidaan myös myöntää määräajaksi perustellusta syystä, jolloin lupa on voimassa enintään 10 vuotta päätöksen lainvoimaiseksi tulosta. Määräaikaiselle luvalle voidaan myöntää jatkoaikaa toistaiseksi tai enintään kymmeneksi vuodeksi kerrallaan, sen mukaan mitä esiintymän hyödyntäminen edellyttää. Kaivosluvan voimassaolo raukeaa määräajan päättyessä. Lupa raukeaa myös, jos kaivostoiminta on ollut luvanhaltijasta riippuvasta syystä keskeytyneenä yhtäjaksoisesti vähintään 5 vuoden ajan tai toiminta on loppunut. Lupaviranomainen voi kuitenkin enintään kahdesti lykätä luvan raukeamista ja antaa uuden määräajan toiminnan aloittamiseksi tai jatkamiseksi. Lykkäämistä voidaan tehdä enintään 10 vuoden ajan. Ennen heinäkuuta 2011 kaivoslupaa vastaavan kaivospiirin myönsi kauppa- ja teollisuusministeriö (TEM). (Kaivoslaki 2011, Heikkinen & Noras 2005)

Kaivostoiminnan lopetus- ja jälkitoimenpiteitä varten kaivosluvan haltijan on asetettava vakuus, jonka lajin ja suuruuden määrää lupaviranomainen. Luvan haltija on lisäksi velvollinen toimittamaan vuosittain selvityksen kaivosviranomaiselle esiintymän hyödyntämisen laajuudesta ja tuloksista sekä ilmoittamaan, jos tiedot mineraalivarannoista oleellisesti muuttuvat. Toiminnan loputtua kaivosalue on saatettava kahden vuoden kuluessa yleisen turvallisuuden vaatimaan kuntoon, kunnostettava, siistittävä sekä maisemoitava, jonka lisäksi on toimitettava kaivosviranomaiselle aluetta koskeva yleinen ja geologinen tietoaineisto. (Kaivoslaki 2011)

Kaivostoiminnan harjoittaja on velvollinen huolehtimaan kaivosturvallisuudesta, johon liittyvät kaivoksen rakenteellinen ja tekninen turvallisuus sekä kaivoksessa tapahtuvien vaaratilateiden ja onnettomuuksien ehkäiseminen ja niiden seurauksien rajoittaminen. Kaivoksen rakentamiseen ja tuotannolliseen toimintaan tarvitaankin siis kaivosturvallisuuslupa, jonka myöntää kaivosviranomainen sen jälkeen kun kaivoslupa on tullut lainvoimaiseksi. Luvassa määrätään kaivosturvallisuuden edellyttämistä toimenpiteistä, kaivoksen sisäisestä pelastussuunnitelmasta, kaivosturvallisuuden kannalta keskeisen henkilöstön kouluttamisesta, opastuksesta ja ohjauksesta, kaivoskartasta, kaivostoiminnan lopettamisen huomioon ottamisesta sekä muista välttämättömistä ja lupaan liittyvistä seikoista. Kaivosturvallisuuslupa on voimassa toistaiseksi voimassaoleva, mutta kuitenkin enintään yhtä kauan aikaa kuin varsinainen kaivoslupa. Luvan määräyksiä tarkastetaan kaivosviranomaisen määräämin väliajoin, kuitenkin vähintään kymmenen vuoden välein. (Kaivoslaki 2011)

2.1.2 Ympäristövaikutusten arviointi ja ympäristölupa

Ympäristövaikutusten arviointimenettelystä annetun lain ja asetuksen mukaisen ympäristövaikutusten arviointimenettelyn tavoitteena on edistää ympäristövaikutusten tunnistamista, arviointia ja huomioonottamista hankkeiden suunnittelussa ja päätöksenteossa, lisätä kansalaisten tiedonsaantia ja osallistumismahdollisuuksia sekä tarkastella keinoja haitallisten vaikutusten vähentämiseksi. Menettelyssä ei arvioida kaivostoiminnan vaikutusta ainoastaan ympäristöön vaan myös ihmisiin ja yhteiskuntaan. Kaivostoiminnan merkittävimpiä vaikutuksia ovat maiseman muuttuminen, pöly, melu ja rapautuminen. Vaikutukset voivat

olla fysikaalisia, kemiallisia, ekologiaisa, sosiaalisia ja taloudellisia. Arviointimenettelyssä luonnonympäristöön ja sosiaaliseen ympäristöön kohdistuvia muutoksia verrataan alueen lähtötilanteeseen. (Hakapää & Lappalainen 2009)

Kaivosyhtiö tarvitsee tuotannon harjoittamista varten ympäristöluvan. Kaivosten ympäristö-luvat ratkaistaan hakemuksesta aluehallintovirastossa (AVI). Vireille tulleet ympäristölupa-asiat pyritään ratkaisemaan alle vuoden kuluessa hakemuksen vireille tulosta. Hakemuksen käsittelyä voi viivästyttää sen puutteellisuus tai käsittelyn aikana muuttuva hakemus. Lupapäätöksessä tarkastetaan että toiminta täyttää ympäristönsuojelulain ja jätelain sekä niiden nojalla annettujen asetusten ja päätösten mukaiset vaatimukset. Ympäristöluvassa annetaan myös tarpeelliset määräykset toiminnan lopettamiseen liittyvistä jälkihoitotöistä kuten sivukivialueiden maisemoinneista. (Kauppila ym. 2011)

2.2 Rahoitus ja kaivoksen rakentaminen

Lupaavakaan malmiesiintymä ei aina johda kaivoksen avaamiseen. Ympäristölliset, rahoitukselliset tai tekniset syyt voivat estää avaamisen. Esiintymän taloudellisuus selvitetään yleensä määriteltyjen koodien, kuten JORC tai NI 43–101, mukaisesti. Kaivostoimintaa rahoittavat pankit ja institutionaaliset sekä yksityiset sijoittajat edellyttävät koodien mukaisia mineraalivaranto- ja malmivara-arvioita. Monivaiheisista kannattavuusarviointimenettelyistä huolimatta kaivosprojektit sisältävät merkittäviä riskejä ja osa projekteista osoittautuu kannattamattomiksi. Kaivoksen rakentaminen käynnistetään välittömästi avauspäätöksen jälkeen. Kaivoksen rakentaminen kestää yleensä vähintään kaksi vuotta.

Kaivoksen rahoittaminen tapahtuu yleensä useassa eri vaiheessa. Kaivostoiminnalle on tyypillistä, että pienet ”junior” -yhtiöt etsivät lupaavia mineraaliesiintymiä ja kehittävät niitä kohti kaivostoimintaa. Kun projekti ja esiintymä on todettu kannattavaksi, muuttuu junior-yhtiö kaivosyhtiöksi, tai jo olemassa oleva kaivosyhtiö ostaa sen ja tekee tarvittavat investoinnit kaivostoiminnan käynnistämiseksi. Suomessa on tällä hetkellä lähes 50 kehitysvaiheessa olevaa kaivosprojektia. Näistä todennäköisesti vain muutama etenee tuotantoa harjoittavaksi kaivokseksi. (Hernesniemi ym. 2011)

Ongelmana Suomessa on erityisesti kaivoshankkeen alkuvaiheen rahoitus. Tässä vaiheessa esiintymän suuruutta ja ominaisuuksia ei tunneta kokonaan ja esiinty-

män louhittavuus sekä rikastettavuus voivat osoittautua oletettua haastavammaksi. Rahoittajan kannalta kaivoshanke on siis alussa erittäin riskipitoinen. Toisaalta onnistuneen hankkeen tuotot voivat olla suuret, jos osaa sijoittaa siihen tarpeeksi varhaisessa vaiheessa. Suomessa sijoittajat ja rahoituksen järjestäjät eivät ole tottuneet arvioimaan kaivoshankkeiden kannattavuutta ja riskejä, joten rahoituksella asetetaan ylimitoitettuja ehtoja, joihin taasen kehitysyhtiöiden ei ole mahdollista suostua. Pankit haluavat palkata myös asiantuntijoita arvioimaan sijoitustensa riskejä ja tuottoja, mutta se lisää rahoituspaketin järjestämisen kustannuksia niin paljon, että pieniä rahoituspaketteja ei kannata edes tutkia. (Hernesniemi ym. 2011)

Julkisuudessa on keskusteltu viime aikoina valtion roolista kaivosten rahoittajana. Valtio on keskittynyt viime vuosina tukemaan kaivosten tarvitsemia investointeja infrastruktuuriin, tutkimus- ja kehitystyötä sekä lainsäädäntöä, mutta se ei tee suoria sijoituksia kaivosten avaamiseksi. Valtio on tukenut pitkään mineraalialaa myös Geologian Tutkimuskeskuksen (GTK) kautta. Aikaisemmin kaivoksia perustivat valtionyhtiöt Rautaruukki, Outokumpu ja Kemira, mutta ne ovat luopuneet lähes kokonaan kaivostoiminnasta, eivätkä ne ole sijoittaneet kaivostoimintaan enää pitkään aikaan Kemin kromikaivoksen sekä Siilinjärven fosfaattikaivoksen laajennuksia lukuun ottamatta. Valtio on kuitenkin sijoittanut kaivosalaan Solidiumin, Suomen teollisuussijoitus Oy:n sekä Finnveran kautta. Lisäksi junior-yhtiöiden on mahdollista saada alkuvaiheen rahoitusta esimerkiksi ELY -keskuksilta.

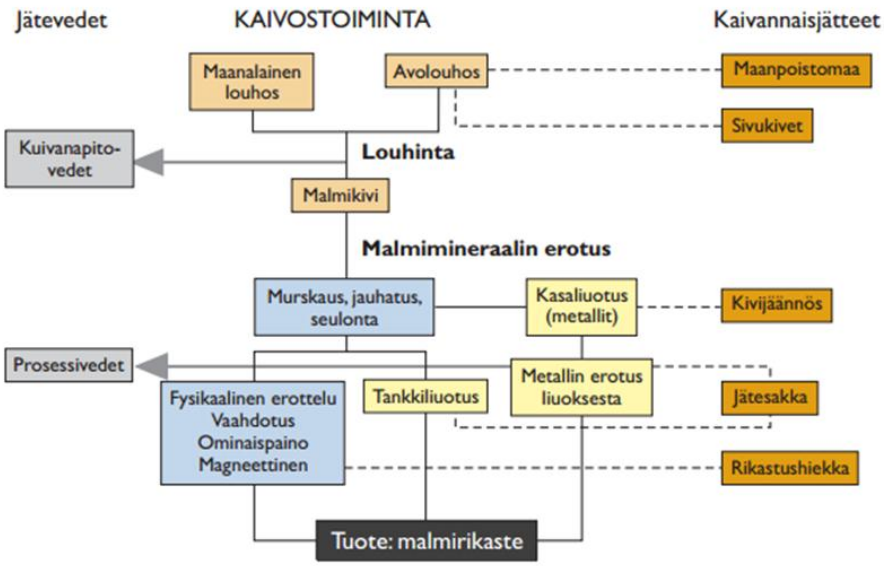
Taulukko 1. Kaivoksen rahoitusvaihtoehtoja.

Rahoittaja	Sijoitusmuoto
ELY-keskukset	Infrastruktuuri-investointien rahoitus
TEKES	Lainat ja avustukset
Valtio	Infrastruktuuri-investointien rahoitus
GTK	Malminetsintä valtion tukemana
Suomen Teollisuussijoitus	Osakepääoma, pääomalaina, osakaslaina, vaihtovelkakirja
Teollisuuskumppanit	Osakepääoma, tuotevirtasopimukset
Pankit ja rahastot	Vaihtovelkakirjat, lainat
Pörssit	Osakkeet ja osakeanti

Rahoituksen varmistuttua aloitetaan kaivoksen rakentaminen. Rakentamisessa projekti ositetaan pienempiin kokonaisuuksiin ja kilpailutuksen perusteella valitaan rakentajat eri kohteisiin. Rakentamisessa hyödynnetään yleensä sekä isoja suomalaisia rakennusalan yrityksiä sekä paikallisia yrittäjiä. Rakentamisvaihe työllistää myös useita suunnittelutoimistoja, kun yleissuunnitelmien pohjalta tehdään rakentamisvaiheen aikana detaljitason suunnitelmia. Rakentamisvaihe on kaivoksen elinkaareen suhteutettuna lyhyt, mutta intensiivinen ja tärkeä.

2.3 Tuotannon käynnistäminen

Tuotanto alkaa aina malmin irrottamisella kallioperästä. Irrotus- ja rikastusmenetelmät sekä tuotantoprosessi suunnitellaan malmin ominaisuuksien perusteella. Tämän vuoksi jokainen kaivosprojekti on erilainen ja kahta täysin identtistä kaivosta ei ole olemassa. Louhintaa seuraa yleensä louhitun kiven murskaaminen haluttuun kokoon. Sen jälkeiset prosessivaiheet riippuvat malmin ominaisuuksista ja kaivoksen valitsemasta tekniikassa. Kuvassa 3. on esitetty kaavio kaivosten yleisprosesseista ja seuraavissa kappaleissa on kuvattu kaivosten tyypillisimmät tuotantoprosessit.



Kuva 3. Kaaviokuva kaivostoiminnan yleisprosessista (Kauppila ym. 2011).

2.3.1 Louhinta

Louhinnan tavoitteena on irrottaa malmi- ja sivukivi kallioperästä ja rikkoa se jatkojalostuksen kannalta mahdollisimman edulliseen lohkarekokoon. Suomessa ja muissa pohjoismaissa, joissa kallioperää on kovaa, louhinta tehdään lähes poikkeuksetta poraus-panostusmenetelmää. Pehmeämmässä kivessä ja esimerkiksi hiilen louhinnassa voidaan käyttää myös jyrsiviä menetelmiä, joissa ei tarvita lainkaan räjäytysaineita. Suomessa niitä on käytetty vain lähinnä testimielessä. Malmin louhinta tapahtuu maan alla, maan päällä tai niiden yhdistelmänä.

Malmin louhinta edellyttää lähes poikkeuksetta myös sivukiven louhintaa. Sivukiven louhinnan tarve riippuu valittavasta louhintamenetelmästä, malmin muodosta ja asennosta sekä malmille määritettävästä cut-off pitoisuudesta. Louhittavan sivukiven määrä pyritään minimoimaan, koska se ei tuota kaivosprojektille lisäarvoa. Sivukiven hyödyntämismahdollisuuksia on selvitetty erilaisissa t&k -hankkeissa, mutta yleensä jokin haitallinen metallipitoisuus, sivukiven suuri määrä tai pitkä kuljetusmatka estävät sivukiven taloudellisen hyödyntämisen. Sivukiven louhintaa pyritään myös aikatauluttamaan mahdollisimman myöhäiseen vaiheeseen kaivoksen kassavirran maksimoimiseksi.

Jos esiintymä sijaitsee lähellä maan pintaa ja sen myötä avolouhinnan sivukivi-malmi suhde on edullinen, valitaan louhintamenetelmäksi yleensä avolouhinta. Maailman syvimmät avolouhokset (esim. Chuquicamata ja Bingham Canyon) ovat lähes kilometrin syviä, kun taas pohjoismaiden syvin avolouhos, Ruotsissa sijaitseva Aitikin kaivos, on noin 400 metriä syvä. Avolouhinnassa käytetään käytännössä kahta eri louhintamenetelmää: pengerlouhintaa ja paikalleen räjäytystä. Paikalleen räjäyttämistä on alettu soveltamaan Suomessa vasta viime vuosina. Se nostaa jonkin verran louhintakustannuksia, mutta sen avulla on mahdollista saada malmi tarkemmin talteen, mikä on ensiarvoisen tärkeää erityisesti kultakaivoksille. Pengerlouhinnan etuna ovat puolestaan suurempi tuotantoteho ja sitä kautta alhaisemmat tuotantokustannukset. Louhinnan pengerkorkeus on Suomessa tyypillisesti 5-15 metriä.

Maanalaiseen louhintaan päädytään yleensä silloin kun mineraaliesiintymä on muodoltaan kapea tai linssimäinen, sen kaade on jyrkkä ja se ulottuu syvälle maan pinnan alle. Maanalaisessa louhinnassa yksikkökohtainen louhintakustannus on suurempi kuin avolouhinnassa, mutta sivukivi-malmisuhde on pienempi. Maanalainen louhinta vaatii avolouhintaa enemmän valmistelevia töitä kuten vinotunneleiden, tuuletuskuilujen, maanalaisten tilojen sekä louhosperien louhintaa. Maanalaiset louhintamenetelmät jaetaan kolmeen pääluokkaan: Avoimiin menetelmiin, täyttömenetelmiin sekä sorrosmenetelmiin. Jos louhinta tehdään täyttölouhintana, osa sivukivestä käytetään suoraan louhinnassa louhoksen seinämien ja katon tukemiseen. Lisäksi sivukiveä voidaan usein myös hyödyntää toiminnan eri vaiheissa, mm. maarakentamisessa kaivosalueella. Maanalaisessa louhinnassa on tärkeää säilyttää työturvallisuus huolehtimalla riittävästä kallioseinämien tukemisesta. Toinen avolouhinnasta poikkeava piirre on kaivostunneleiden ja tilojen tuuletustarve.

Malmin irrotuksen jälkeen se lastataan lastauskoneita käyttäen louhosautoihin, dumppereihin, kuorma-autoihin tai jopa junan vaunuihin (muutamat kaivokset Venäjällä). Malmi kuljetetaan prosessin seuraavaan vaiheeseen, joka on yleensä primäärimurskaus.

Käytettävä louhintakalusto ja sen määrä valitaan louhintamenetelmän sekä tuotantomäärien mukaisesti. Avolouhinnassa käytetään poravaunuja, panostusajoneuvoja, kaivinkoneita, louhosautoja, pyöräkoneita, puskukoneita ja tiehöyliä.

Louhintakalustoa voidaan siirtää helposti paikasta toiseen joko telojen tai kumipyörien avulla. Maanalaisessa louhinnassa käytetään erikoiskoneita kuten porajumboja, panostus-, rusnaus-, ja pultitusajoneuvoja, Load-Haul-Dump (LHD)-koneita, maanalaisia lastauskoneita ja kuljetusajoneuvoja sekä tunnelirouhijoita.

2.3.2 Murskaus, jauhatus ja seulonta

Louhintavaiheen jälkeen malmi murskataan ja jauhetaan jatkoprosessoinnin edellyttämään partikkelikokoon. Murskaus voidaan tehdä useassa eri vaiheessa. Louhinnan jälkeen ylisuuret kappaleet rikotetaan iskuvasaralla ennen ensimmäisen vaiheen murskausta. Primäärimurskaimena käytetään yleensä leuka- tai karamurskainta. Tämän jälkeen murskaaminen jatkuu murskauspiirissä, joka koostuu yleensä murskaimista ja seuloista siten, että piiristä ulos tulevan materiaalin partikkelikoko on jatkoprosessin vaatimalla alueella. Materiaalia voidaan jakaa esimurskauksen jälkeen eri raeluokkiin myös pelkästään seulomalla ja luokittamalla. Taulukossa 2. on kuvattu murskaus- ja seulontaratkaisuita Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla.

Taulukko 2. Murskaus ja seulonta Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla (Kauppila ym. 2011).

Kaivos/Tuotantolaitos	Murskaus ja seulonta
Kemin kaivos	3-vaiheinen murskaus, joista 1. vaihe maan alla (karamurskain), 2. vaihe avoimena piirinä (STD-kartiomurskain) ja 3. vaihe avoimena piirinä (SH-kartiomurskain).
Kittilän kaivos	1-vaiheinen murskaus maan pinnalla (leukamurskain).
Pyhäsalmen kaivos	1-vaiheinen murskaus maan alla (leukamurskain), seulonta kolmeen raeluokkaan maan päällä, tarvittaessa jakeiden lisämurskaus seulonnan / jauhatuksen yhteydessä (kartiomurskain).
Talvivaaran kaivos	Esimurskaus karamurskaimella, kuljetus välivarastoon, 3-vaiheinen hienomurskaus kartiomurskaimella, joista kaksi viimeistä vaihetta suljetussa piirissä seulakoneiden kanssa, murskatun tuotteen raekoko 80 % alle 8 mm.
Sastamalan rikastamo	3-vaiheinen murskaus: I. vaihe leukamurskain, 2. vaihe karamurskain ja 3. vaihe kartiomurskain, jotka toimivat avoimena, lisäksi piirissä täryseula, joka erottelee valmiin hienon tuotteen jauhatukseen.
Lahnaslammen kaivos	2-vaiheinen murskaus, esimurskaus leukamurskaimelle, toisessa vaiheessa iskupalkkimurskain.

Murskauksen jälkeen malmi hienonnetaan sellaiseen raekokoon, että malmin sisältämät arvomineraalit esiintyvät riittävän puhtaina ja itsenäisinä rakeina, jotta ne voidaan erottaa arvottomista partikkeleista rikastusprosessissa. Jauhatuksessa malmia jauhetaan pyörivissä myllyissä, joita on kolmenlaisia: tankomyllyt, kuulamyllyt ja autogeenimyllyt. Näistä jälkimmäisissä malmikappaleet jauhavat toinen toisensa. Autogeenimylly on toimiessaan kustannustehokkain ratkaisu, mutta se voi olla vaikeaa saada toimimaan suunnitellusti. Semiautogeenimyllyssä malmikappaleet jauhavat toisiaan, mutta apuna käytetään myös rautakuulia tai -tankoja. Malmi jauhetaan yhdessä tai useammassa vaiheessa. Jauhatuspiirin

voidaan kytkeä myös karkeavaahdotuskoneita, ominaispainoerottimia tai magneettierottimia, joilla erotetaan karkeimpia arvomineraalien fraktioita. Jauhatus on erittäin energiaintensiivinen prosessivaihe ja sen takia jauhatuspiirin optimointi on kaivoksilla jatkuvan kehitystyön kohteena. (Kauppila ym. 2011) Alla olevassa taulukossa on kuvattu Suomessa käytettyjä metallimalmien jauhatusratkaisuita.

Taulukko 3. Jauhatusmenetelmät Suomessa toimivilla metallimalmikaivoksilla (Kauppila ym. 2011).

Kaivos/Tuotantolaitos	**Jauhatuspiiri**
Kemin kaivos	1. vaihe: tankomylly avoimessa piirissä
	2. vaihe: kuulamylly suljetussa piirissä luokittimina toimivien Derrick-seulojen kanssa
Kittilän kaivos	1-vaiheen jauhatus SAG myllyllä, joka on kytketty suljettuun piiriin sykloniluokittimen kanssa
Pyhäsalmen kaivos	1. vaihe: lohkaremylly (SAG) lohkareet + kuulat (100 mm)
	2. vaihe: 3 palamyllyä (AUTOG), tarvittaessa kuulia (60 mm)
	3. vaihe: kuulamylly (kuulat 30 mm)
	2. ja 3. vaihe suljetussa piirissä sykloniluokittimen kanssa
	Jauhatushienous: 65 % < 0,074 mm
Talvivaaran kaivos	Varsinaista jauhatusvaihetta ei ole, malmi menee murskaukseen ja seulonnan jälkeen kasaliuotukseen
Sastamalan rikastamo	1. vaihe: tankomylly
	2. vaihe: kuulamylly (kuulat 40 mm) suljetussa piirissä syklonin kanssa
	Ominaispainopiiri kiertokuorman käsittelyyn (Raichertin kartio, spiraaliluokittimet sekä kaksi tärypöytää)
	Vaahdotuksen syötteen jauhatushienous: 75 % < 0,074 mm
Sotkamon kaivos	Yksivaiheinen kuulajauhatus suljettuna sykloniluokittimien kanssa

2.3.3 Rikastus

Jauhetusta malmista rikastetaan arvomineraalit erilleen fysikaalisilla tai kemiallisilla erotustekniikoilla, esim. ominaispainoerotuksella, magneeteilla, sähköstaattisesti, uuttamalla ja/tai vaahdottamalla. Rikastuksen lopputuote, rikaste, siirretään lopuksi hihnakuljettimilla rikastamon läheisyydessä sijaitsevalle varastoalueelle, josta se kuljetetaan hyödynnettäväksi. Rikastuksessa syntyvä jäännöstuote, rikastushiekka varastoidaan kaivos- tai rikastamoalueelle padottuihin altaisiin, palautetaan kaivoksen louhostilojen täytteeksi tai hyödynnetään maarakentamisessa tms. kaivosalueella tai sen ulkopuolella. Metallisia mineraaleja sisältävät rikasteet kuljetetaan edelleen varastoalueelta sulatolle, jossa niistä erotetaan arvoaineet erilleen metalleina. (Heikkinen & Noras 2005)

Kaivosteollisuudessa on kehitetty useita erilaisia menetelmiä arvomineraalien erottamiseksi arvottomista. Ensimmäiset ja vanhimmat menetelmät ovat perustuneet ominaispainoerotukseen, josta on sitten jalostunut vaahdotusmenetelmiä. 1900-luvun puolivälissä on alettu kehittämään erilaisia liuotusmenetelmiä. Ominaispainoerotuksessa mineraalit erotetaan toisistaan hyödyntämällä niiden paino-eroja. Metallipartikkeleiden paino on usein huomattavasti suurempi kuin arvottomien kivipartikkeleiden. Ominaispainoerotusta hyödyntäviä tekniikoita ovat muun muassa tärypöytä, spiraaliluokitin sekä raskasväliaine-erotus. Magneettierotus perustuu mineraalien magneettisiin ominaisuuksiin ja sitä käytetään erityisesti rautamalmin käsittelyssä. Rauta on maaperässä hyvin yleinen, ja useilla kaivoksilla haitallinen mineraali. Joissakin tapauksissa se on tarpeellista poistaa rikastettavasta materiaalista ja myös tällöin voidaan harkita magneettierottimia. (Kauppila ym. 2011)

Vaahdotus on yksi käytetyimpiä rikastusmenetelmiä. Siinä malmilietteeseen lisätään kemikaaleja lietteen sähkökemiallisten olosuhteiden säätämiseksi ja mineraalipintojen muuttamiseksi sellaisiksi, että halutut mineraalirakeet saadaan tarttumaan ilmakupliin ja nousemaan niiden mukana lietteen pintaan. Pintaa kuoritaan ja kuoritusta vaahdosta poistetaan suurin osa vedestä ennen kuin se siirretään rikasteena jatkojalostettavaksi. (Kauppila ym. 2011)

Liuotusmenetelmiä käytetään yleensä helposti liukenevien malmien sekä matalapitoisten malmien käsittelyyn. Liuotuksessa arvometallit erotetaan erilaisilla

liuottimilla kuten hapolla tai syanidilla ja se voi perustua myös malmin luontaiseen bakteeritoimintaan. Liuotusmenetelmissä liuottaminen tapahtuu yleensä isoissa paineastioissa tai avoimissa kasoissa. Uraania on kyetty liuottamaan jopa suoraan maaperästä in-situ liuotusmenetelmällä.

2.4 Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoito

Kaivoksen tuotantovaiheen pituus riippuu malmiesiintymän koosta, laadusta ja louhintatekniikasta sekä louhittavien mineraalien ja metallien markkinahinnoista. Tuotanto voi kestää muutamasta vuodesta kymmeniin vuosiin asti. Kaivostoiminta voi olla sinä aikana suhdannevaihteluiden vuoksi väliaikaisesti pysähdyksissä pitkiäkin aikoja. Kun esiintymä on hyödynnetty kokonaan, alkaa kaivoksen alasajo, jonka aikana valmistellaan kaivoksen sulkeminen. Sulkemiseen kuuluu toiminnan lopettamiseen liittyvien toimenpiteiden ohella myös olennaisena osana alueen jälkihoito, jolloin alue maisemoidaan ja mahdolliset haitalliset ympäristövaikutukset estetään tai minimoidaan. Alueen jälkihoitovaihe, ja siten myös kaivoksen sulkeminen, voi jatkua seurannan muodossa vuosia, jopa vuosikymmeniä toiminnan päättymisen jälkeen.

Suomessa kaivostoiminta on hyvin säädeltyä tuotannon käynnistämisestä kaivoksen sulkemiseen saakka. Kaivoksen sulkeminen ja jälkihoitotarve huomioidaan jo alusta alkaen. Toimintaa säädellään etenkin kaivoslaissa ja ympäristöluvassa. Kaivoslain (120 §) mukaan kaivostoiminnan harjoittajan on kaivoksen suunnittelussa ja rakentamisessa sekä kaivostoiminnassa otettava huomioon, että kaivostoiminta voidaan lopettaa ja sulkea turvallisesti. Lisäksi kaivosluvan haltijan on asetettava kaivostoiminnan lopetus- ja jälkitoimenpiteitä varten vakuus, jonka on oltava riittävä kaivostoiminnan laatu ja laajuus, toimintaa varten annettavat lupamääräykset ja muun lain nojalla vaaditut vakuudet huomioon ottaen. (Kaivoslaki 2011)

Kaivoslain (2011) luvussa 15 on käsitelty vielä yksityiskohtaisemmin kaivostoiminnan lopettamista. Siinä määrätään alueen kunnostamisesta, kaivosmineraalien, rakennusten ja rakennelmien poistamisesta sekä ilmoitusvelvollisuuksista. Lopettamisilmoituksen saatuaan kaivosviranomainen on velvollinen tekemään lopputarkastuksen jossa arvioidaan ovatko laissa tarkoitetut lopettamistoimenpiteet tehty. Tarkastuksen ja sitä seuraavan kaivostoiminnan lopettamispäätök-

sen jälkeen kaivosalueen hallinta palautuu kaivostoiminnan harjoittajalta kiinteistöjen omistajien haltuun. Kaivostoiminnan harjoittajalle jää kuitenkin velvollisuus seurantaan ja korjaaviin toimenpiteisiin. Jos kaivostoiminnan harjoittajaa ei enää ole, siirtyy velvollisuus tietyin ehdoin alueen haltijalle tai kaivosviranomaiselle.

3 Kunnossapito ja kunnonvalvonta

Tämä kappale kuvaa kunnossapitoa sekä kunnonvalvontaa ja niiden sekä erilaisten kunnossapitostrategioiden kehittymistä. Lisäksi tarkastellaan kunnossapidon ulkoistamista, kunnossapitojärjestelmiä sekä kunnossapidon johtamista.

3.1 Kunnossapidon määritelmät ja tavoitteet

Kunnossapidolla tarkoitetaan toimia ja toimenpiteitä, joiden tarkoituksena on pitää laiteet käyttökunnossa tai saattaa laitteet käyttökuntoon vaurioitumisen tai pitkän seisontakauden jälkeen (Heinonkoski 1993). Kunnossapito on myös materiaalin, yksittäisen laitteen, laitteiston tai järjestelmän tekniseen kuntoon kohdistuvaa, koko elinjakson kestävää suunnitelmallista huolto- ja korjaustoimintaa (Komonen 2004). Kunnossapito voidaan Malisen (1996) mukaan jakaa neljään osa-alueeseen: korjaavaan, ehkäisevään, mittaavaan ja parantavaan.

SFS-EN 13306 standardissa kunnossapito määritellään seuraavasti: *”Kunnossapito koostuu kaikista kohteen elinajan aikaisista teknisistä, hallinnollisista ja liikkeenjohdollisista toimenpiteistä, joiden tarkoituksena on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde pystyy suorittamaan vaaditun toiminnan.”*

Standardin määritelmä on kaiken kattava, mutta sen perusteella esimerkiksi toimintasuunnitelman laatiminen on vaikeaa. Uudemman, Järviön (2008) määritelmän mukaan: *”Kunnossapidon menetelmin hallitaan tuotantoprosessin toimintaa ja sen luotettavuutta”.* Tämä määritelmä kattaa kaikki tekniset, liiketaloudelliset sekä lainsäädännölliset näkökulmat. Se myös sallii kunnossapidon käyttämisen liikkeenjohtamisen välineenä. (Järviö 2008)

Kunnossapidon keskeisimpinä tavoitteina ovat korkea tuotannon kokonaistehokkuus sekä hyvä käyttövarmuus. Oikein hoidettuna nämä luovat mahdollisuuden hyvätasoiseen käytettävyyteen ja käyttöasteeseen. Hyvä käyttövarmuus merkitsee myös toiminnan luotettavuutta. (Järviö & Lehtiö 2012)

Markkinataloudessa sijoittajilla ja omistajilla on joukko vaatimuksia toiminnan kannattavuuden suhteen. Tuotantoa varten yritykset tarvitsevat käyttöomaisuutta, joka määritellään yrityksen käyttöön tarkoitetuksi omaisuudeksi. Liiketoi-

minnan tuloksellisuuden kannalta oleellista on, että käyttöomaisuus on mitoitettu oikein, ja sen käyttö optimaalista ja hallittua. Mitoitus ja käytön optimaalisuus tarkoittavat sitä, että koneita käytetään mahdollisimman tehokkaasti ja näin aikaansaadaan investoinnille mahdollisimman suuri tuotto. Hallittavuus tarkoittaa sitä, että toiminta on luotettavaa. Kireässä kilpailutilanteessa tuotantotavoitteisiin on päästävä. Aikaisempi käsitys on ollut, että kunnossapidon tavoite on mahdollisimman suuri luotettavuus tai tuotantokyky. Uudempi käsitys on se, että luotettavuuden tulee olla sopiva ja hallittu. Sopivuuden määräävät markkinat. Kunnossapidon keskeisin tavoite on tuotannon kokonaistehokkuuden parantaminen.

Kunnossapidon on perinteisesti ymmärretty olevan vikojen korjausta. Tämä ymmärrys on nykyaikaisessa yhteiskunnassa aivan liian kapea. Kunnossapito onkin nimensä mukaisesti käyttöomaisuuden tuottokyvyn ylläpitämistä, säästämistä ja säilyttämistä, siis käynnissäpitoa. Kunnossapitotoiminnan tavoite muuttuu vikojen ennaltaehkäisyyn, tai tarkemmin sanottuna vikojen seurausten minimointiin. ”Vikaantumista ei voida poistaa, vikaantumisen seuraukset voidaan”. Yrityksen käyttöomaisuuden käytön tehokkuus on oleellinen tekijä, joka vaikuttaa yrityksen kannattavuuteen ja tätä kautta kilpailukykyyn. Investointitarve pienenee kun tuotantovälineitä käytetään tehokkaasti. Menestyvä yritys pystyy tuottamaan pienemmällä konekannalla tehokkaammin kuin kilpailija isommilla. (Järviö ym. 2007)

Vikojen syntyyn ja niiden kehittymistä ei ole huomioitu tarpeeksi. Näiden asioiden ymmärtäminen on kuitenkin kunnossapidon ehkä tärkein osa-alue. Tämän päivän kunnossapidossa on tärkeämpää estää vikaantuminen kuin korjata vikoja tehokkaasti. Kunnossapito-organisaation tärkein tehtävä on vikojen vähentäminen. Kunnossapidon tekeminen tehokkaasti on vasta toisella sijalla. (Järviö ym. 2007)

3.1.1 Keskeiset standardit ja kunnossapitolajit

Standardit luovat yhteisen kielen, joihin viittaamalla kaikki osapuolet tietävät, mitä tarkoitetaan. Keskeisimmät kunnossapidon standardit ovat eurooppalaisen standardisointijärjestön (CEN) standardit. EU–jäsenmaat ovat sitoutuneet vahvistamaan EN-standardit kansallisiksi standardeiksi sekä samalla kumoamaan ris-

tiriitaiset kansalliset standardit. (Järviö 2012) EU-määräysten mukaan kansallisten standardien on oltava harmoniassa EN- standardien kanssa. (Järviö & Lehtiö 2012, 39)

PSK Standardointi laatii Suomessa standardeja lähinnä prosessiteollisuuden tarpeisiin. Kunnossapidon terminologiaa ja tunnuslukuja käsittelevät standardit voidaan jakaa kahteen pääryhmään. Ensimmäinen käsittelee käsitteitä ja määritelmiä. ”SFS-IEC 60050-191:1990 Sähkötekninen sanasto. Luotettavuus ja palvelun laatu.” on käsitestandardeista vanhin, ja sen laati sähköalan teollisuuden järjestö IEC (International Electrotechnical Commission). Tämä heijastuu jonkin verran mm. vikaan ja vikaantumisiin liittyvissä termistöissä. Uudemmat ja puhtaasti kunnossapitoa käsittävät standardit ovat ”EN 13306:2010 Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia” sekä Kansallinen standardimme ”PSK 6201:2011 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät.” (Järviö 2012, Järviö & Lehtiö 2012)

Toinen ryhmä muodostuu tunnuslukustandardeista ”SFS-EN 15341:2007 Kunnossapito. Kunnossapidon avainluvut” ja ”PSK 7501:2010 Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut”. Nämä standardit määrittelevät kunnossapitotoimintaa mittaavia tunnuslukuja, antavat ohjeet niiden laskemiseksi sekä suosituksia tunnuslukujen käytöstä. Standardien tarkoitus on yhdenmukaistaa tunnuslukujen laskeminen ja niiden käyttö. Näin mahdollistetaan yritysten välinen suorituskyky vertailu eli ”benchmarking”. PSK 7501 on teollisuudessamme yleisesti käytetty ja se täydentää standardissa SFS-EN 15341 esitettyjä tunnuslukuja. (Järviö 2012)

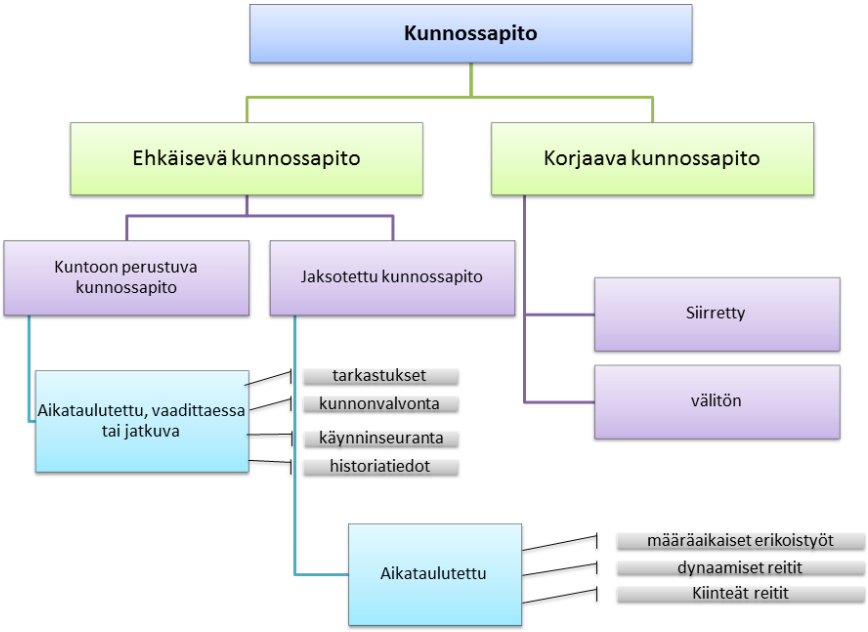
Muita keskeisiä kunnossapitoon liittyviä standardeja ovat: PSK 6202 Prosessiteollisuuden kuntokartoitus, PSK 6501 Teollisuuden tavaroiden nimikeohjeet, PSK 7201 Vaihteiden ja tuotantokoneiden sekä niiden voiteluaineiden puhtaus, PSK 7202 Teollisuuden voiteluaineet. Ryhmittely, käyttö ja ominaisuudet, PSK 7502 Logistiikan tunnusluvut. Materiaalitoiminnot, PSK 7901 Teollisuuden kunnossapito. Palvelusopimus, PSK-Käsikirja 3 Kunnonvalvonnan värähtelymittaus, PSK-käsikirja 5 Kunnonvalvonnan sähköiset menetelmät, SFS-ISO 2041 Mekaaninen värähtely, isku ja kunnonvalvonta – sanasto ja SFS-ISO 13372 Koneiden kunnonvalvonta ja diagnostiikka – sanasto. (Järviö & Lehtiö 2012)

Kunnossapidon alueelta löytyy myös joukko normeja, jotka ovat paikoitellen laitekohtaisia ja määrittelevät kunnossapitoon liittyviä asioita. Tarkemmin seurattavia ovat erilaisten kansainvälisten organisaatioiden julkaisemat normit (esim. IEC, ISO, FEM, BS, DIN). Näiden normien noudattaminen on vapaaehtoista. (Järviö & Lehtiö 2012)

EU:n alueella on myös voimassa direktiivejä ja viranomaismääräyksiä, joilla on vaikutusta kunnossapidon tekemiseen ja määrättyjen laitteiden tarkastamiseen. Nämä määräykset määräävät käyttöönotosta ja käytön aikana suoritettavista määräaikaistarkastuksista. (Järviö & Lehtiö 2012)

Standardeista ilmenee, että ne liikkuvat korjaavan kunnossapidon liittyvän käsitteistön piirissä. Tämä ymmärtämys on nykyaikaisessa globaalissa yhteiskunnassa aivan liian suppea. Kunnossapito on osa tuotanto-omaisuuden hallintaa ja tuotanto-omaisuuden tuottokyvyn ylläpitämistä, säätämistä, säilyttämistä ja kehittämistä. Yritys on hankkinut koneet suorittamaan jotain haluttua tehtävää. Tämä ”suorittaminen” on juuri se, jonka varmistamista kunnossapitäjiltä odotetaan. (Järviö & Lehtiö 2012)

Yrityksen kunnossapito koostuu korjaavasta ja ehkäisevästä kunnossapidosta. Korjaava kunnossapito on ilmaantuneiden vikojen korjaamista. Ehkäisevää kunnossapitoa tehdään sen sijaan säännöllisin välein tai asetettujen kriteerien täyttyessä. Tavoitteena on vähentää laitteen rikkoontumisen mahdollisuutta tai toimintakyvyn heikkenemistä. Katso kuva 4.



Kuva 4. Kunnossapitolajit SFS-EN 13306:2010.

Ehkäisevä kunnossapito käsittää seuraavat toimenpiteet:

- Vikaantumisen suhteiden havainnointi ja tarkkailu
- Kaikki ne toimenpiteet, joita suoritetaan, jotta kone pystyisi toimimaan suunnitellulla tavalla, muun muassa voiteluhuollon suorittaminen, koneen rakenteen ylläpito, sekä koneen toimintaympäristön siistinä pitäminen
- Alkaneen vikaantumisen havaitseminen ja korjaaminen ennen kuin vika pysäyttää koneen, sisältäen myös suunniteltu korjaava kunnossapito eli kunnostaminen
- Parantava kunnossapito mukaan lukien modernisaatiot
- Tutkiva kunnossapito, joka tutkii vikaantumisia (perussyyanalyysit) ja vikatilastoja, joiden mukaan kunnossapidon toimia pystytään kohdentamaan. (Järviö 2008)

3.1.2 Käynnissäpito

Kunnossapito on tärkeä osa käynnissäpitoa. Tässä yhteydessä käynnissäpito voidaan määritellä kunnossapidon sekä sellaisten käyttöhenkilöstön suorittamien toimenpiteiden kuten puhtaanapidon, puhdistuksien, voitelun, asetuksien, tuotantokoneiden pienten korjauksien, konekohtaisen kunnonvalvonnan ja tuotantokyvyn seurannan muodostamaksi kokonaisuudeksi. Käynnissäpito sisältää siis sekä kunnossapidon, että käytön suorittamia tuotantolaitteiston tuotantokykyyn vaikuttavia toimenpiteitä. (Komonen 2004)

Vastuu koneen toiminnasta siirtyy käynnissäpidossa enemmän käyttäjille, joilta vaaditaan enemmän osaamista ja monitaitoisuutta. Käyttäjän on ymmärrettävä koneen toiminta ja hallittava sen käyttö erilaisissa virhe- ja häiriötilanteissa. Ilman tuotannon ja kunnossapidon uudenlaista yhteistyötä ei muutosprosessia saada toteutettua eikä uutta vastuun- ja työnjakoa toimivaksi. (Malinen 1996)

Käynnissäpidon merkitystä painotetaan voimakkaasti johtamisen ja taloudellisen ohjaamisen välineenä ja korostetaan perinteisen kunnossapitotoiminnon ja käytön sekä talousjohtamisen yhteistyötä. Käynnissäpidon merkitys korostuu tulevaisuudessa kun investointien määrä vähenee ja painopiste siirtyy olemassa olevien tehtaiden ja koneiden ylläpitoon. (Hagberg 1996)

Tavoitteena käynnissäpidossa on yleensä saavuttaa korkea tuotantolaitteiston käytettävyys, käyttöaste ja hyvä tuotannon saanto. Tällöin sen avulla voidaan parantaa pääoman tuottoasteeseen ja yrityksen tuottavuutta. Käynnissäpitoon vaikuttaa lisäksi operatiivinen tuotannonohjaus. Nykyisin on alettu kiinnittämään enemmän huomiota operatiivisen toiminnan ja kunnossapidon suunnitteluun ja toteuttamiseen kokonaisuutena. Tätä ajattelua heijastaa englanninkielinen termi O&M, Operations and Maintenance, jonka suomennokseksi on usein valittu käynnissäpito. O&M toiminnan kehittäminen on ensisijaisesti organisatorinen asia, mutta myös tietojärjestelmien integraatiota tarvitaan. (Koskinen 2011)

3.1.3 Kunnossapidon kehittyminen

Kunnossapidon ensimmäinen vaihe voidaan tunnistaa 1930-luvulta toiseen maailmansotaan, jolloin teollisuus ei ollut vielä kovin koneellistettua. Laitteet olivat yksinkertaisia, ylimitoitettuja ja käyttöasteet olivat alhaisia, joten systemaattiselle kunnossapidolle ei ollut tarvetta. Tuohon aikaan riitti, että koneita puhdistettiin, rasvattiin sekä korjattiin jos jotain meni rikki. Toisen maailmansodan aikaan tilanne muuttui kun työvoimaa korvattiin koneilla, laitteista suunniteltiin monimutkaisempia ja käyttöasteita nostettiin. Riippuvuus koneisiin kasvoi ja ajatus siitä, että laiterikkoja voidaan ehkäistä, sai alkunsa. Koneille alettiin sen myötä tekemään määräaikaishuoltoja tasaisin väliajoin. Tämä johti kunnossapitokustannusten kasvuun ja seuraava tavoite oli maksimoida koneiden elinkaari ja samanaikaisesti minimoida kunnossapitokustannukset. (Moubray 1997)

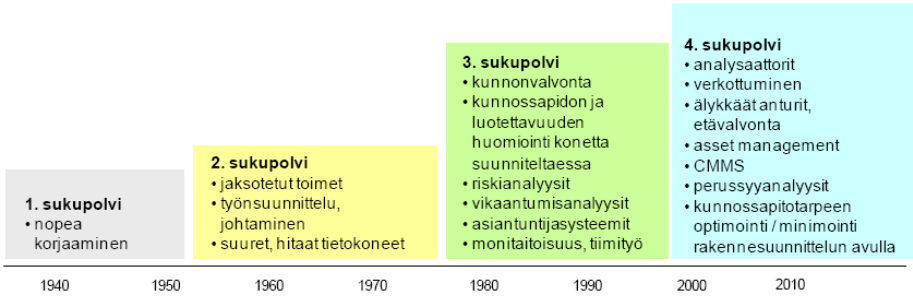
1970-luvulla koneiden käytettävyys ja luotettavuus tulivat yhä tärkeämmiksi ja automaatio lisäsi laitteiden kunnossapitovaatimuksia. Samaan aikaan myös laitteiden koko kasvoi ja turvallisuus sekä ympäristöasiat tulivat ajankohtaisiksi. Tällöin huomattiin että laitteiden vikaantuminen ei johdu pelkästään laitteiston iästä vaan myös muista tekijöistä kuten käyttäjästä johtuvista syistä. Näihin aikoihin keksittiin vika-seuraus -analyysit, kunnonseuranta ja mittaukset sekä laitteistojen kestävyyssuunnittelu. Huoltotoimet olivat määräaikaisuuteen perustuvia. Koneiden määräaikaisvaihtoja tehtiin paljon jolloin kohteita korjattiin turhaan ja samalla saatettiin aiheuttaa vaikkapa asennusvirhe kohteeseen. Ensimmäiset analogiset kunnonvalvonnan työkalut tulivat markkinoille ja aloitettiin kuntoon perustuvaa kunnonvalvonnan soveltaminen. (Moubray 1997)

1980-luvulla tietotekniikka tuli mukaan muuttamaan toimintatapoja. Siirryttiin tietokonepohjaisiin kunnossapito-ohjelmistoihin, jotka integroituvat yrityksen toiminnanohjaukseen. Tapahtui kunnonvalvonnan läpilyönti. (Moubray 1997)

1990-luvulla kunnossapitoyritykset erikoistuivat ja kunnossapitoa ulkoistettiin. Ulkoistamista alettiin toteuttaa joko kokonaan tai osittain. Samoin kokeiltiin käytön ja kunnossapidon yhdistämistä, jolloin varsinaiset kunnossapito-osastot lopetettiin ja kunnossapito siirrettiin käyttöorganisaation alle. Tätä kokeilua kesti muutaman vuoden, ja sitten palattiin takaisin omiin kunnossapito-organisaatioihin. Yhteydenpito parani, koska matkapuhelimet yleistyivät. (Moubray 1997)

Neljäs vaihe kunnossapidossa käynnistyi 1990-luvun lopulla tietotekniikan saavuttaessa kypsyytensä. Nykyisin kunnossapidolle on tyypillistä, että se ei kohdistu vain mekaanisille laitteille, vaan kasvavassa määrin ohjelmistoille, antureille ja kaapeleille. Laitteiden etävalvontamahdollisuudet ja on-line mittaukset ovat yleistyneet. (Moubray 1997)

2000-luvulla IT- ja automaatiotekniikan integroituminen tuotantolaitteisiin on jatkunut, mikä lisää paitsi laitteiden hintatasoa niin myös kunnossapitohenkilöstön osaamisvaatimuksia. Samaan aikaan jatkui kunnossapidon ulkoistaminen, ja uusina termeinä nousivat vahvasti esille käyttäjäkunnossapito sekä käyttäjävetoinen kunnonvalvonta. Ajan henkeä oli työntekijämäärän vähentäminen sekä tuotannosta että kunnossapidosta ja sitä kautta moniosaamiseen panostaminen. (Moubray 1997) Kuvassa 5. on esitetty kunnossapidon keskeisimmät kehitysaskeleet.



Kuva 5. Kunnossapidon kehitysaskeleet (Järviö 2007).

3.2 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta on olennainen osa kuntoon perustuvaa kunnossapitoa. Kuntoon perustuvan kunnossapidon termi viittaa toimintatapoihin, joista hyvin usein puhutaan käsitteellä kunnonvalvonta. Tämä määritelmä ei ota kantaa siihen, millä menetelmillä tai parametreilla kohdetta seurataan. Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan kannalta merkittävää kuitenkin on, että käytetään niitä menetelmiä, joilla voidaan havaita laitoksen käyttökunnossa tapahtuvat muutokset luotettavasti. Käytettävillä kunnonvalvontamenetelmillä tulee pystyä seuraamaan käyttökunnon kehitystä ja vielä ennustamaan tulevaisuuttakin. (Kautto 2011)

Kunnonvalvonta on kunnossapitoa ohjaava toiminto, ei päinvastoin. Kaikista pahin uhkaskenaario on se, että kunnonvalvontaa karsitaan tai vähennetään suunnittelemattomasti esimerkiksi säästösyistä. Saavutetaanko kunnonvalvonnan vähentämisellä oikeasti säästöjä? Kokemus on osoittanut, että missään tapauksessa kunnonvalvontaa ei saisi karsia ilman perusteellista harkintaa ja riskien arviointia. (Kautto 2011)

Syitä mittaavan kunnonvalvonnan käyttöön on useita. Tuotantolinjoja rakennetaan ilman varakoneita, jolloin yksittäisen koneen käynti tulee kriittisemmäksi koko tehtaan kannalta ja kunnonvalvonnalla pyritään varmistamaan avainkoneiden häiriötön toiminta. Tuotantomäärien kohoaminen on aiheuttanut sen, että seisokkituntien hinnat ovat nousseet. Pyörimisnopeuksien kasvun myötä vikojen kehittyminen tapahtuu nopeammin ja koneiden rakenteiden keventäminen on tuonut tärinävalvonnan rakenteiden keston kannalta yhä tärkeämmäksi. Lisäksi prosessien säädön muuttuessa yhä enemmän kierroslukusäätöiseksi vaihtelee koneiden tärinäkäyttäytyminen huomattavasti eri kierroslukualueilla. Koska huolto- ja käyttöhenkilökuntaa on vähennetty, säännöllinen aistienvarainen valvonta koneiden luona on myös vähentynyt. Aistienvaraisista huomioista ei saada kirjattua tunnuslukuja, joiden avulla voitaisiin koneiden kuntoa valvoa. Keräilevien mittalaitteiden kehittyminen on madalluttanut niiden käyttöönottokynnystä. Meluisa, vaarallinen tai muuten epämiellyttävä ympäristö on antanut aiheen siirtyä käyttämään mittauksia aistihavaintojen sijasta. [Nohynek & Lumme 2004)

3.2.1 Kunnonvalvonnan historia

Jonkinlaista maalaisjärkeen käyvää kunnonvalvontaa on suoritettu niin kauan kuin on ollut koneita. Ennen kunnonvalvontaa suoritettiin pääasiassa aistien avulla, esimerkiksi kuuntelemalla puukepin avulla laakereita, kokeilemalla koneenosien lämpöä ja tunnustelemalla jaloilla tai kädellä koneen tärinää. Koneiden kuntoa voitiin arvioida myös seuraamalla lopputuotteen laatua. Nämä menetelmät ovat edelleen käyttökelpoisia, eikä niitä pidä aliarvioida tänäkään päivänä, mutta niitä korvaamaan ja täydentämään on ryhdytty käyttämään yhä enemmän erilaisia mittausmenetelmiä. (Nohynek & Lumme 2004)

Mittaava kunnonvalvonta tuli kuvioihin 1970-luvulla. Shock Pulse Method (SPM) -menetelmä oli melko yleinen kunnonvalvonnan työkalu niissä yrityksissä, joissa

kunnonvalvontaa yleensä harrastettiin. Spektrianalysaattoreita tai vastaavia jonkintasoiseen taajuusanalyysiin kykeneviä laitteita oli käytössä joillain isoilla yrityksillä ja korkeakouluilla. Nämä vaativat melkoista perehtyneisyyttä, eikä niillä ollut mahdollisuutta järkevillä resursseilla suuren konemäärän rutiininomaiseen valvontaan. Varsinaista kuntoon perustuvaa kunnossapitoa tehtiin harvoissa laitoksissa. (Hakonen 2012)

Tietotekniikka tuli mukaan muuttamaan toimintatapoja 1980–luvulla. Se heijastui monin eri tavoin. Siirryttiin tietokonepohjaisiin ohjelmistoihin ja tietokoneesta tuli kunnonvalvonnan perustyökalu. Markkinoille tuli helppokäyttöisiä:

1. kannettavia tiedonkerääjä-spektrianalysaattoreita, ja niihin liittyvät tietokannanhallintaohjelmistot.
2. edistyksellisiä trouble shooting -työkaluja, mm. monikanavaisia kone- ja rakenneanalysaattoreihin tehtyjä erikoislaitteita, moodianalysaattoreita.
3. edistyksellisiä värähtelymittalaitteita, jotka mahdollistivat kunnonvalvonnalliset värähtelymittaukset, seurannan, historiatiedot ja suojaustoiminnot.
4. lämpökuvauslaitteet, öljyanalysaattorit ja ultraäänimittauslaitteet (Hakonen 2012)

Edistyksellisen kunnonvalvonnan piiriin voitiin ottaa entistä suurempi määrä koneita kohtuullisilla resursseilla. Tällaisen teknologia käyttöönotto ei voinut olla vaikuttamatta koko kunnossapidon toimintatapoihin. Kunnonvalvonnasta alkoi tulla kunnossapitoa ohjaava toiminta. 80-luvulla koulutettiin ja sovellettiin myös tulosjohtamista ja tavoitejohtamista. Tuottavan kunnossapidon eli TPM:n tuli myös käyttöön. (Hakonen 2012)

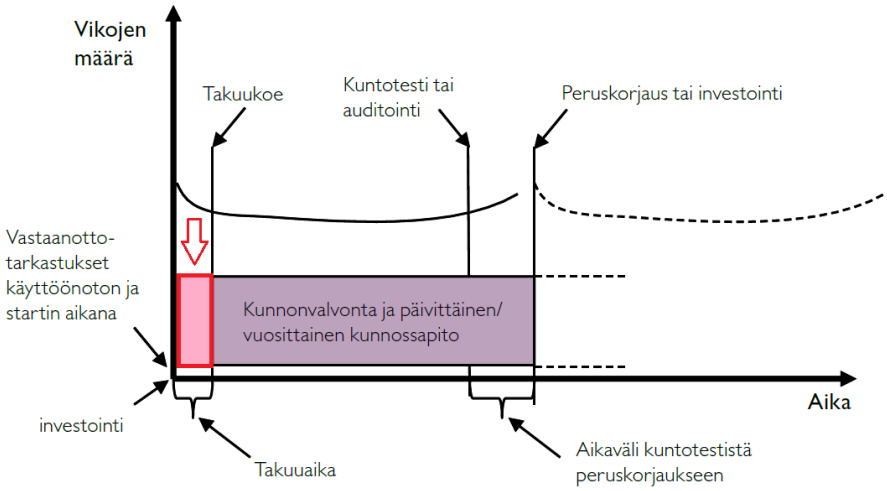
1990-luvulla tietotekniikan taso alkoi olla riittävää automaattiselle kunnonvalvonnan mittausdatan analysoinnille ja diagnosoinnille. Nämä järjestelmät pystyvät seulomaan selkeiden sääntöjen ja opetusdatan perusteella poikkeamat ja tavallisimmat viat automaattisesti. Kunnonvalvontalaitteiden käytettävyys parani ja hinnat laskivat huomattavasti. Kiinteät kunnonvalvontajärjestelmät kehittyivät

ja perustamiskustannukset halpenivat. Neuroverkkoja kokeiltiin vianmäärityksessä eri suureiden ja riippuvuussuhteiden ja korrelaatioiden määrittelyssä. (Hakonen 2012)

2000- luvuilla tapahtuneista muutoksista kärjistäen voitaneen sanoa, että muutokset ovat suorituskyvyn kehitystä ja ominaisuuksien hienosäätöä. Käyttömukavuuden ja kannettavuuden kehitys on ollut suurin muutos. Merkittävät periaatteelliset innovaatiot ja linjanvedot on tehty jo aiemmin. Kunnonvalvonnan eriasteinen tiedonhallinnan ulkoistaminen, ns. pilvipalvelut, lienee seuraava trendi. Kunnonvalvontaan liittyvän tietotekniikan rauta ja softat, ja jopa kunnonvalvonnan datan analysointi ostetaan ulkopuolisen toimijoiden palveluna. Kunnonvalvonnan rooli kunnossapitoa ohjaavana toimijana vahvistuu. Tekniikka tulee varmasti kehittymään siihen suuntaan, että valtavasta informaatiomäärästä saadaan tietoa yhdistettyä järjestelmien avulla päätöksen tekoa varten. Laitteet osaavat pian itse kertoa, mikä niitä vaivaa. (Hakonen 2012)

3.2.2 Kunnonvalvonta laitoksen käynnistysvaiheessa

Kunnonvalvonnalla ja sen suunnittelulla on merkittävä rooli jo hankintavaiheessa, kun määritellään, millä käyttöönotossa tehtävillä toimenpiteillä ja kriteereillä kone tai laite tullaan hyväksymään pitkäaikaiseen tuotantokäyttöön. Kunnonvalvonnan tulisi olla valmis toimimaan jo heti uuden laitoksen tai laitteen käyttöönotossa. Ollaan auttamattomasti jälkijunassa, jos kunnossapitoa ja kunnonvalvontaa aletaan suunnitella vasta laitoksen käyttöönoton jälkeen. Laitoksen tai laitteen hankinnan suunnitteluvaiheessa tulee määrittää, millä käyttöönotossa tehtävillä toimenpiteillä ja kriteereillä laitos tai laite tullaan hyväksymään pitkäaikaiseen tuotantokäyttöön. Näillä samoilla toimenpiteillä, menetelmillä ja kriteereillä laitoksen käyttökunnon seurantaa hoidetaan myös jatkossa. Kuvassa 6. on esitetty kunnonvalvonnan rooleja elinkaaren eri vaiheissa. (Kautto 2011, Alen & Kautto 2012)



Kuva 6. Kunnonvalvonnan rooleja elinkaaren eri vaiheissa (Kautto 2011).

On yleistä, että esimerkiksi kunnonvalvonta pääsee mukaan suunnitteluprosessiin vasta, kun laitosta ollaan käyttöönottamassa ja joku muistaa, että mitenkäs näiden vastaanottomittausten laita on. Vastaanottokokeet, niiden tulokset ja tehdyt havainnot on huomioitava käytössä ja kunnossapidossa erittäin tarkasti, koska kaikki ne ongelmat ja mahdolliset vikapaikat, jotka jäävät huomiotta konetta vastaanotettaessa, ovat laitoksen käytön ja kunnossapidon riesana tulevaisuudessa ja vaikeuttamassa tavoitteiden saavuttamista. (Kautto 2011)

”Kunnonvalvonta ei usein ole kustannustekijä, koska seisokkipäivän hinta määrittää kunnonvalvonnan kannattavuuden. Yksi estetty suunnittelematon alasajo maksaa koko toiminnan kustannukset takaisin monen vuoden ajalta” (Kautto 2011). Vastaanotto- ja takuukokeet sekä niiden tulokset ja tehdyt havainnot on huomioitava kunnossapidossa erittäin tarkasti. Tärkeässä roolissa ovat perinteisen kunnonvalvonnan lisäksi myös suorituskyvyn, energiatehokkuuden ja käyttötalouden seuranta sekä erilaiset prosessissa tehtävät mittaukset ja niiden seuranta. (Alen & Kautto 2012)

3.2.3 Kunnossapidon ja kunnonvalvonnan yhteys

Kunnonvalvonnan tehtäväksi voidaan määrittää tietojen tuottaminen, joiden avulla koneita ja laitteita voidaan käyttää keskeytyksettä suunnitellun käyttöjakson ja suorittaa oikea-aikaisesti korjaukset, huollot sekä parannukset. Mitä aikaisemmin kunnonvalvonnan avulla havaitaan koneen kunnossa tapahtuneet muutokset, sitä enemmän aikaa on käytettävissä kunnossapitotöiden suunnitteluun. (Nohynek & Lumme 2004)

Kokemusten perusteella on huomattu, että koneiden kunnossapitoon tarvittavat tiedot voidaan ilmaista hyvin yksikäsitteisesti:

- nopeasti kehittyvien vikojen ilmoittaminen (hälytys)
- kehittyvien vikojen havaitseminen ja tunnistaminen (diagnoosi)
- jäljellä olevan käyttöajan arviointi (prognoosi)
- korjaavien toimenpiteiden suunnittelu

Hälytystieto syntyy yleensä automaattisesti ja viesti kulkee suoraan käyttö- ja kunnossapitohenkilökunnalle. Kunnonvalvonta itse tarvitsee palautetietona tiedot koneen rakenteesta ja käyntiolosuhteista (nopeus, kuormitus) sekä suoritetuista korjauksista, huolloista tai parannuksista.

Edellisen perusteella voidaan esittää toimintamalli kunnonvalvonnan ja kunnossapidon tietojärjestelmien välille. Oleellinen seikka on havaittava, että kunnonvalvonta on ohjaava toimenpide, ei ohjattava. Useissa kunnonvalvontajärjestelmissä on jo sisään rakennettu itseohjaus. (Nohynek & Lumme 2004)

Kunnonvalvontajärjestelmän luomisen neljä päävaihetta ovat:

1. Valitaan mitattavan kohteen tilaa parhaiten mittaavat tunnussuureet.
2. Valituille tunnussuureille määritellään mittauksen suoritustaajuudet ja hälytysrajat.
3. Luodaan mittausten suoritusjärjestelmä sekä tulosten tulkinta- ja taltiointijärjestelmä.
4. Luodaan hälytys ja toteutusjärjestelmä mittaustulosten vaatimille päätöksille ja toimenpiteille.

3.3 Kunnossapidon toimintamallit ja kunnossapitostrategiat

Hyödyntäen eri kunnossapidollisia toimintamalleja ja soveltamalla niiden teorioita voidaan yritykselle määritellä kunnossapitostrategia. Kunnossapitostrategian valitseminen ei ole täysin yksiselitteinen asia. Strategiaa suunniteltaessa on oltava kunnossapidollinen visio, johon strategialla tähdätään. Strategiatyökaluja valitessa on kiinnitettävä huomiota mm. prosessin ominaisuuksiin, henkilöstö- ja talousresursseihin. Strategia ei saa olla vain kunnossapitopäällikön tiedossa, vaan jokaisen yrityksen työntekijän pitää tietää tavoiteltava päämäärä.

Aikaisemmin kunnossapitostrategia oli reagoivaa (RTF, Run-To-Failure) eli koneet ajettiin ”loppuun” ja sen jälkeen mietittiin, mitä tehdään. Elettiin kädestä suuhun eli toteutettiin korjaavaa kunnossapitoa ja se toteutettiin pääsääntöisesti itse. Kunnossapitohenkilöstöä oli paljon ja työt olivat eriytyneet kapeille sektoreille. Käytön ja kunnossapidon välillä oli suuria ristiriitoja. (Hakonen 2012)

Teollisuudessa on kehitetty viime vuosikymmenten aikana erilaisia kunnossapitostrategioita ja johtamismalleja. Strategiat ovat yleensä lähtöisin kulutushyödykkeitä valmistavasta teollisuudesta, mutta samoja strategioita ja toimintamalleja voidaan hyödyntää myös perusteollisuudessa kuten kaivoksilla. Kaivostoiminta on hyvin pääomavaltaista, joten pääoman tuottoasteen parantamiseksi kunnossapidolla on perusteltu rooli kaivostoiminnassa. Tuotantokoneiden on toimittava maksimaalisen luotettavasti minimaalisilla seisokkiajoilla. Tähän ei päästä pelkästään korjaavalla kunnossapidolla. Kunnossapidollisten ongelmien ratkaisemiseksi teollisuudessa on kehitetty erilaisia kunnossapitostrategioita ja toimintamalleja kuten RCM, TPM, Asset Management, CBM sekä uusimpana e-Maintenance. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi näiden strategioiden pääperiaatteet ja sisällöt.

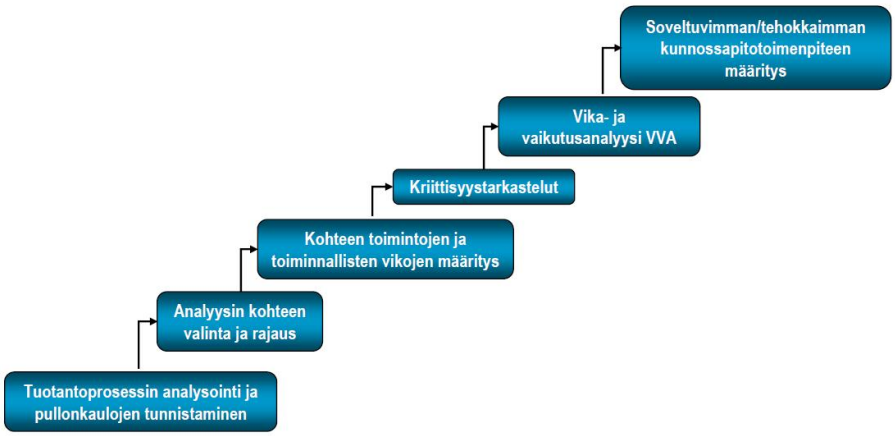
3.3.1 RCM - Luotettavuuskeskeinen kunnossapito

RCM:n kehitystyö lähti liikkeelle 1960-luvulla kun Yhdysvaltain ilmailuvirasto perusti työryhmän kehittämään lentokoneisiin soveltuvaa ennakoivaa kunnossapitoa. Työryhmä kehitti huolto-ohjelmat, jotka perustuivat olettamukseen, että vikaantuminen on ajasta riippuva tapahtuma. Projekti ei kuitenkaan saavuttanut toivottuja tuloksia ja perusteellisten testien tuloksena huomattiin, että ennakoivalla kunnossapidolla ei ollut juurikaan vaikutusta monimutkaisten laitteiden

luotettavuuteen, ellei laitteella ollut yhtä selvästi tunnistettavaa vikaantumistapaa. Toinen havainto oli että lentokoneissa oli paljon sellaisia osia, joille ei ollut olemassa tehokasta ennakoivan kunnossapidon ohjelmaa. Tämän seurauksena lentokoneiden huolto-ohjelma uusittiin. Ohjelma oli onnistunut ja vuonna 1974 Yhdysvaltain puolustusministeriö pyysi United Airlines -lentoyhtiötä valmistamaan raportin, jossa esitetään ne suuntaviivat, joiden mukaan siviililentokoneiden huolto-ohjelmat suunnitellaan. Raportti tehtiin ja sen nimeksi annettiin Reliability Centered Maintenance. (Järviö 2004b)

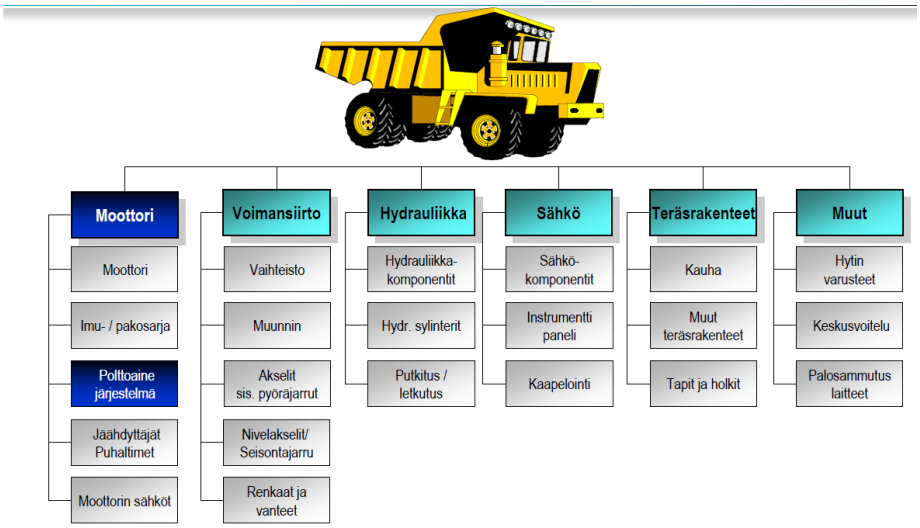
Tämän jälkeen RCM-metodia on sovellettu ydinvoimaloissa, öljynjalostuksessa ja muussa teollisuudessa. RCM-metodi on raskas ja kallis, koska kunnossapidon suunnittelu aloitetaan puhtaalta pöydältä ja kaikki asiat tutkitaan perusteellisesti. Tämän takia markkinoille on kehitetty kevennettyjä versioita joista käytetään nimitystä Streamlined RCM. (Järviö 2004b)

RCM:n kehitystyönä on luotu MSG3 -menetelmä, jonka avulla luodaan analyyttisesti valitulle kohteelle minimihuoltovaatimukset. Menetelmän tavoitteena on luoda paras mahdollinen huolto-ohjelma, joka takaa maksimiluotettavuuden valitulle kohteelle taloudellisesti järkevin kustannuksin. Menetelmässä jokainen vika ja vian syy prosessoidaan loogisen päättelykaavion avulla, jotta saadaan selville tarvittava huoltovaatimus ja huoltojakso. RCM -prosessin askeleet on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. RCM prosessin askeleet (Järviö 2004a).

Kuvassa 8. on puolestaan esitetty esimerkki RCM:n mukaisesta kiviauton toimintojen luokittelusta.



Kuva 8. Kaivoskoneen toimintojen luokittelu (Järviö 2004a).

RCM:ssä pyritään tekemään mahdollisimman vähän kunnossapitoa vaarantamatta kuitenkaan laitteen tai laitoksen toimintaa. Varsinaisen kunnossapitotoiminnan suorittamisen lisäksi yhtä tärkeänä tekijänä pidetään laitteiden suunnittelua ja sen kehittämistä kunnossapidettävyyden ja käyttövarmuuden lisäämiseksi. Tarkoituksena on harjoittaa systemaattista kunnossapitoa, joka mahdollistaa kaiken turhan pois jättämisen ja keskittymisen oleelliseen. (Mikkonen ym. 2009)

RCM:n merkittävimmät päämäärät ovat Mikkosen (2009) mukaan:

1. Priorisoida prosessiin kuuluvat laitteet ja näin kohdistaa kunnossapito sellaisiin laitteisiin, joissa sitä eniten tarvitaan. Tavanomaisimmat priorisointikriteerit ovat turvallisuus, kustannukset, ympäristövaatimukset sekä laatu
2. Selvittää laitteiden vikaantumismekanismit. Näin luodaan pohja oikeiden ja tehokkaiden kunnossapitomenetelmien käytölle
3. Kunnossapidon piiriin liitetään myös sellaiset raja ja turvalaitteet, jotka prosessin toimiessa ovat passiivisia
4. Laatia sellaisille laitteille valmiit toimintaohjeet käytettäväksi vikaantumisen ilmettyä, joille ei löydy tehokkaita ehkäisevän kunnossapidon menetelmiä
5. Käyttöhenkilökunta oppii seuraamaan kriittisten komponenttien toimintaa

3.3.2 Asset Management – tuotanto-omaisuuden hoitaminen

Yritys tarvitsee suoritteiden tuottamiseen resursseja, joista käytetään nimitystä *tuotanto-omaisuus.* Tuotanto-omaisuuteen kuuluvat koneet ja laitteet, kiinteistöt ja maa-alueet. Näille resursseille on yhteistä, että niitä saadakseen yrityksen on investoitava. ”Asset management” käsitteen voisi kääntää tuotanto-omaisuuden hallinnaksi tai vapaammin tuotantotehokkuuden hallinnaksi. Tätä käsitettä ei ole määritetty tai edes mainittu maamme voimassa olevissa standardeissa. Käsite on mielekäs, koska se korostaa kaikkien tuotantoprosessiin osallistuvien ihmisten roolia tuotannon koneiden ja laitteiden toimintakunnosta huolehtimisesta. (Järviö & Lehtiö 2012)

Tuotanto-omaisuuden hoitaminen on systemaattinen lähestymistapa, jonka tavoitteena on kokonaisvaltaisesti optimoida prosesseja ottaen huomioon teknologian, ympäristön tavoitteet ja taloudelliset lainalaisuudet. (Mikkonen ym. 2009). Asset management -strategian tavoitteena on hoitaa tuotantolaitteiden toimintaa siten, että yritys saavuttaa liiketoiminnalliset tavoitteensa kustannukset minimoiden. Periaate on yksinkertainen. Ensin selvitetään mikä on koneelle asetettava tuotantotavoite. Sen pohjalta lasketaan tarvittava luotettavuustaso ja suunnitellaan kunnossapito siten, että kustannukset minimoiden tuotantotavoitteet saavutetaan. Toimintamallissa tavoitteena on saada yrityksen käytössä oleva pääoma tuottamaan mahdollisimman hyvin. Se tarkoittaa usein tuotantokapasiteetin käyttöasteen nostamista ja tuottokyvyn parantamista. Lisäksi päätöksillä pyritään säilyttämään ja optimoimaan omaisuuden arvo. (Komonen 2009)

Kun RCM edellyttää perinpohjaista tuotantoprosessin laitteiston analysointia, Asset management keskittyy hoitamaan tärkeimmät laitteet (20 %) jotka aiheuttavat suurimman osan (80 %) vioista. Loput 80 % laitteista jätetään vähemmälle huomiolle koska niiden vaikutus tuotantoon on pieni. (Järviö & Lehtiö 2012)

Tuotanto-omaisuuden käytön tehokkuus vaikuttaa tuotannon tehokkuuden kautta yrityksen tulokseen. Näin käytön tehokkuus vaikuttaa suoraan tuotantoomaisuuteen tehtyjen investointien tuottoon ja edelleen yrityksen kannattavuuteen. Asset management ei tarkoita vain sitä, että käyttöomaisuudesta pidetään hyvää huolta, vaan myös kyky säätää tuotantolaitoksen tehoa siten, että suhdanteiden vaihdellessa käyttökustannukset ovat aina optimaaliset. (Järviö & Lehtiö 2012)

Perinteisesti yritykset ovat huolehtineet valmistusprosessin toimintakunnosta tekemällä kunnossapitoa. Nykyään on ymmärretty että:

- Kunnossapito ei ole ainoastaan korjaamista, vaan vikojen ja vikaantumisen hallintaa ja estämistä
- Koneiden tehokas käyttäminen ja toiminnan luotettavuus ei riipu yksinomaan kunnossapitäjästä, vaan myös koneiden käyttäjästä
- Kunnossapidolla ja asianmukaisella käyttämisellä on hyvin paljon päällekkäisiä toimintoja, joten tiukkoja tehtävien rajauksia ei voida tehdä, mikäli tavoitteena on käyttää koneita tehokkaasti ja järkevästi

- Tuotantolaitoksen luotettavuus ja toiminnallinen tehokkuus ovat osa suurempaa kokonaisuutta (Järviö & Lehtiö 2012)

Tuotanto-omaisuuden hallinnan (Asset Management) päätavoitteena on teollisuuden näkökulmasta ainakin neljä osatavoitetta: Tuotantokapasiteetin kehittäminen ja käytön johtaminen, tuotanto-omaisuuden hoitaminen, ympäristö- ja työturvallisuus sekä logistiikan hallinta. Liiketoiminnan tuloksellisuuden kannalta oleellista on, että tuotanto-omaisuus on mitoitettu oikein ja tuotanto-omaisuuden käytön on oltava optimaalisesti hallittua. Tuotanto-omaisuuden hoitamisessa yhdistyvät oikea käyttötapa, vikaantumisen hallinta, huolto sekä kunnossapito. (Järviö & Lehtiö 2012)

Kyseessä on toimintamalli, jonka yksi osa alue käsittää kunnossapidolliset toiminnot. Muut toiminnalliset kokonaisuudet asset management -mallissa ovat tuotanto ja investoinnit. Toimintamallissa otetaan kantaa yrityksen liiketoiminnan kaikkiin osa-alueisiin niin, että saadaan yrityksen käytössä oleva pääoma tuottamaan mahdollisimman kustannustehokkaasti. Toiminnalla pyritään tehostamaan yrityksen tuotantokapasiteettia. Tuotantokapasiteetin tehostaminen vaatii päätöksiä, joilla vaikutetaan laitteiston tuottokyvyn ylläpitämiseen ja parantamiseen. Lisäksi päätöksillä pyritään säilyttämään ja optimoimaan omaisuuden arvo. Turvallisuus- ja ympäristönäkökohdat tulee huomioida kaikessa toiminnassa, jotka vaikuttavat omaisuuden elinkaareen. Se tarkoittaa usein tuotantokapasiteetin käyttöasteen nostamista ja tuottokyvyn parantamista. Lisäksi päätöksillä pyritään säilyttämään ja optimoimaan omaisuuden arvo. (Komonen 2009)

Järviön & Lehtiön (2012) mukaan Asset Management -projekti kostuu viidestä vaiheesta:

1. Kunnossapito muutetaan reagoivasta suunnitelluksi
2. Toiminnan painopiste siirretään reagoivasta ehkäisevään
3. Kunnossapito ja käynnissäpito yhdistetään
4. Koneiden luotettavuuden tavoite nostetaan 95 %:iin, poistetaan pullonkaulat ja kapeikot sekä poistetaan koneiden rakenteelliset heikkoudet
5. Tuotantokapasiteetin käytön optimointi markkinatilanteen mukaan

3.3.3 CBM - Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito tarkoittaa sitä, että koneen todellinen tila tarkastetaan mahdollisia toimintahäiriöitä aiheuttavien muutosten ja tapahtumien selvittämiseksi. Optimaalisen kunnossapidon toimenpiteet perustuvat näihin tietoihin. Kuntoon perustuva kunnossapito on systemaattinen menetelmä, joka auttaa organisaatiota parantamaan ja lisäämään tärkeiden osa-alueiden valvontaa. Näihin alueisiin kuuluvat kunnossapitokustannukset, ympäristö- ja terveysasiat, turvallisuus, seisokkiajat sekä tuotteiden kokonaislaatu. (SKF 2011)

Tehokas kunnossapito ei ole mahdollista ilman ehkäisevää kunnossapitoa, jolla seurataan koneiden ja laitteiden kunnossa tapahtuvia muutoksia. Kunnonvalvonta käsittää prosessin laitteiden tärkeimpien osien määräajoin toistuvat tarkastukset, mittaukset sekä säädöt, korjaukset ja vikahavainnot. Tuotannon kannalta tärkeimpiä koneita ja laitteita mitataan määrävälein, esimerkiksi viikoittain tai kuukausittain. Yleisiä mittausparametreja ovat tärinät, lämpötilat ja paineet. Avainkoneita mitataan mahdollisuuksien mukaan jatkuvalla mittauksella. Tarkoituksena on saada aikaa suunnitella ja toteuttaa kunnossapidon toimenpide ennen koneen rikkoontumista. Systemaattinen kunnonvalvonta nostaa käyntiastetta sekä alentaa kunnossapitokustannuksia. (Tolonen 2009)

Ongelmia kunnonvalvonnassa aiheuttavat elektroniikka- ja automaatiokomponentit, koska niiden rikkoontuminen ei ole ennustettavissa vaan ne rikkoontuvat yllättäen ja satunnaisesti. Pieni anturivika voi pahimmillaan pysäyttää ison koneen viikoiksi kun vikaa ei kyetä paikallistamaan.

3.3.4 TPM – Tuottava kunnossapito

Laitteiden kunnossapidon parantamiseksi toisen maailmansodan jälkeen, Japaniin tuotiin Yhdysvalloista ennaltaehkäisevän kunnossapidon toimintamalli (PM=Preventive maintenance). Tästä kehittyi ajansaatossa tuottavan kunnossapidon (myös PM: Productive Maintenance) kautta Japanin teollisuuteen paremmin soveltuva TPM (Total Productive Maintenance), jossa ohjelmaan osallistuu koko organisaatio linjatyöntekijöistä johtoportaaseen. (Nakajima 1989)

Kunnossapito nähdään usein pelkkänä kustannuksena – tämä on TPM filosofian mukaan täysin väärä lähestymistapa. Kustannusten sijaan tulisi kiinnittää huo-

miota siihen miten kunnossapidolla luodaan toivottu tuotantovarmuus. Tavoitteena ei ole kustannusten minimoiminen vaan tuottojen maksimointi. TPM korostaa kunnossapidon merkitystä välineistön eliniän optimoinnissa. Kunnossapito yhdistetään usein pelkästään tekniseen osaamiseen. Tuottava kunnossapito on kuitenkin laajempi käsite – se pitää sisällään teknisten asioiden lisäksi organisatorisia ja hallinnollisia kysymyksiä. Kunnossapidossa on siis kyse kokonaisvaltaisen kunnossapitotoiminnan rakentamisesta tuotannon esittäminen tarpeiden pohjalta. (Hagberg 1996)

Tuottava kunnossapito on koko yritystä koskeva asia ja sitä voidaan hyödyntää parhaiten kun koko yritys sitoutuu siihen. Kunnossapitoa painotetaan suhteessa yrityksen tuloihin ja menoihin koko yrityksessä. Pisimmälle kokonaisvaltaista tuottavaa kunnossapitoa ovat kehittäneet japanilaiset yritykset. (Heinonkoski 1993)

Kunnossapidon panostuksen on mitoitettava kokonaisvaltaisesti ja arvioitava niiden kokonaistaloudellinen vaikutus yrityksen toimintaan. Tämä ajatus on peruslähtökohta LCP (life cycle profit) -konseptissa: optimoimalla kunnossapidon resurssit laitoksen koko eliniän ajan saavutetaan paras mahdollinen kannattavuus. (Hagberg 1996)

Käytettävyystappioista aiheutuu valtavia taloudellisia tuotannon menetyksiä. Pienenkin vian takia koko tuotantoketju voi olla seisokissa. Kunnossapidon parannustoimenpiteet ovat nopeampi ja joustavampi keino lisätä kapasiteettia kuin uusinvestoinnit.

Kunnossapitokysymyksiä on tarkasteltava mahdollisimman aikaisin hankintojen ja kunnostusten yhteydessä. Life Cycle Cost ja Life Cycle Profit ovat menetelmiä, joilla tarkastellaan koneen tai laitteen elinikätaloutta. LCC kattaa kaikki kustannukset tuotteen ostamisesta, käyttämisestä ja kunnossapidosta aiheutuneet käyttäjän kustannukset. Tällä tavoin päästään eroon yleisestä tavasta vertailla ainoastaan koneiden hankintahintoja. Pelkkä elinkaarikustannusten laskeminen ei aina riitä yrityksissä vaan tärkeämpi asioita ovat tuotot. Tätä varten on luotu LCP-malli, joka laskee tuottojen ja kustannusten erotuksen laitteen elinkaaren ajalta.

Pääinnovaatio TPM:ssä on se, että tuotantohenkilöstö tekee peruskunnossapitoa omilla välineillään. Tuotantohenkilöstö ylläpitää koneiden kuntoa ja kehittää

siinä samalla kyvyn huomata mahdolliset viat ennen koneen rikkoutumista. Se tarkoittaa myös tiedon siirtämistä jokaiselle. TPM laajentaa tuotanto- ja kunnossapitohenkilöstön tietopohjaa ja tekee heistä yhteistyökykyisen tiimin, joka tehostaa PM:n (Productive maintenance) toimia. (Nakajima 1989) TPM-filosofiassa merkille pantavaa on se, että vaikka puhutaan kunnossapitofilosofiasta, TPM on kokonaisvaltainen strategia jonka tavoitteena on maksimoida tuotannon tehokkuus ja laatu. Tämän vuoksi kyseessä on siis lähtökohtaisesti tuotanto- eikä kunnossapitostrategia. (Mikkonen ym. 2009)

TPM:n pääperiaatteet ovat (Mikkonen ym. 2009):

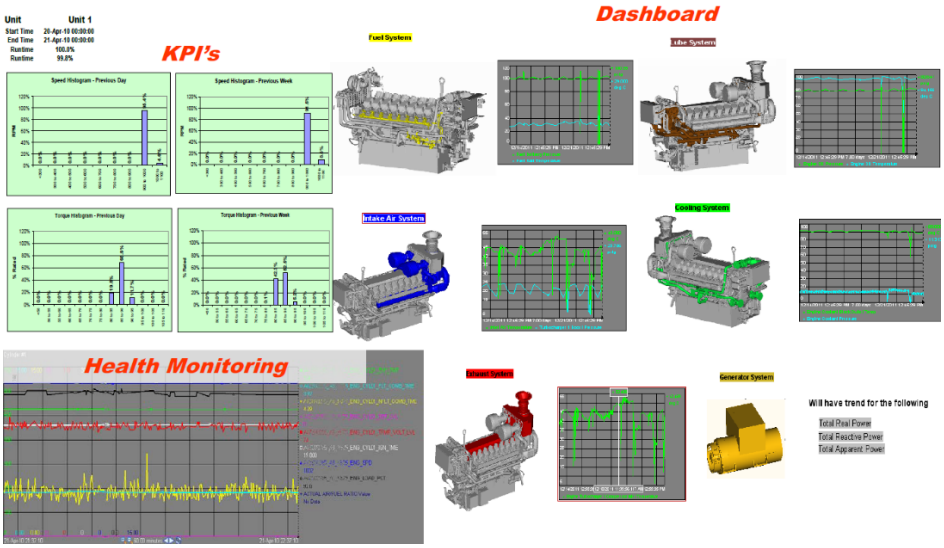
1. pyrkiä jatkuvasti vähentämään laiterikkoja
2. pitää koneet jatkuvasti huippukunnossa
3. tehdä koneiden "huolenpidosta" osa päivittäistä rutiinia
4. kehittää henkilöstön taitoja jatkuvasti, jotta laitteita pystytään huoltamaan ja käyttämään mahdollisimman tehokkaasti
5. suunnitella ja kehittää tuotantoprosessia ja laitteita siten, että ne ovat turvallisia, helppokäyttöisiä ja vaativat vähän kunnossapitoa

3.3.5 E-Maintenance

E-Maintenance on saanut käsitteenä alkunsa 2000 luvun alussa. Sillä on viitattu muun muassa erinomaisuuteen (e=excellent), taloudellisuuteen (e=efficient) ja tehokkuuteen (e=effective), mutta nykyisin sillä tarkoitetaan informaatio ja viestintätekniikan integroimista kunnossapitostrategiaan tai -suunnitelmaan. Strategiana e-maintenance tarkoittaa, että kunnossapitoa johdetaan reaaliaikaista dataa tarjoavien sähköisten palveluiden kautta. Toisaalta, sillä voidaan viitata kunnossapitosuunnitelmaan, jossa vastataan tulevaisuuden tarpeisiin yhdistää kuntoon perustuvaa kunnossapitoa, ennakoivaa kunnossapitoa, etäkunnossapitoa, reaaliaikaista tietoa sekä tuotantoa ja kunnossapitoa. E-maintenance symboloi myös muutosta perinteisistä kunnossapitolajeista ennakoivaan ja reagoivaan kunnossapitoon. Edellisten lisäksi se voidaan nähdä myös kunnossapitoa tukevana älykkäänä ympäristönä ja viestintäkanavana joka tarjoaa tietoa päätöksenteon tueksi ja lisää yhteistyötä kunnossapitoa ja älykkäitä järjestelmiä. (Muller ym. 2008)

”E-Maintenance” ratkaisuja ja palveluita on jo tarjolla lähes kaikilla suurilla kaivosalan laitevalmistajilla kuten Caterpillarilla, Sandvik Mining and Constructionilla, Komatsulla ja Hitachilla. Useita palveluita käytetään enemmänkin tuotantodatan kuin kunnossapitodata seuraamiseen, mutta palveluista löytyy myös kunnossapitoa tukevia toimintoja. Esimerkiksi Hitachi tarjoaa asiakkailleen ”Global e-Service” palvelua, jossa asiakkaat voivat valvoa koneitaan etäyhteyden kautta lähes reaaliajassa. Palvelu on saatavilla kaivinkoneisiin, pyöräkoneisiin sekä louhosautoihin. Koneet lähettävät tuotantodataa päivittäin GPRS tai satelliittiyhteyden kautta Hitachin palvelimelle. Data prosessoidaan ja sen jälkeen se on nähtävillä verkkosivun kautta. Palvelusta voi seurata tuotantodataa kuten työtunteja, paineita, lämpötiloja, kuormien painoja, polttoainetasoja sekä hiilidioksidipäästötasoja. Palvelusta näkee myös suositellut huolto- ja tarkistusvälit, kunnossapitohistorian sekä jokaisen koneen fyysisen sijaintipaikan. Sivuston kautta asiakas voi tallentaa yksityiskohtaista tietoa valmistuneista sekä tulevista huolloista, seurata käyttöasteita sekä tilata varaosia. Palvelusta voi myös ladata päivittäistä tietoa tarkistuksista ja ennakkohuolloista. (Hitachi 2012)

Vastaavasti Sandvik tarjoaa asiakkailleen San Remo -nimistä palvelua, josta voi seurata poravaunujen tuotantodataa, mutta lisäksi myös koneiden kunnossapitohistoriaa ja järjestelmä muistuttaa ennakkohuolto-ohjelman mukaisista huolloista. Seuraava askel olisi rakentaa järjestelmiin ja palveluihin mahdollisuus valvoa koneen kuntoa, esimerkiksi moottorin lämpötilaa, polttoainejärjestelmää, voitelua ja jäähdytysjärjestelmää reaaliajassa. Laitevalmistajat tekevät jo tutkimus- ja kehitystyötä tavoitteen saavuttamiseksi (kuva 9.)

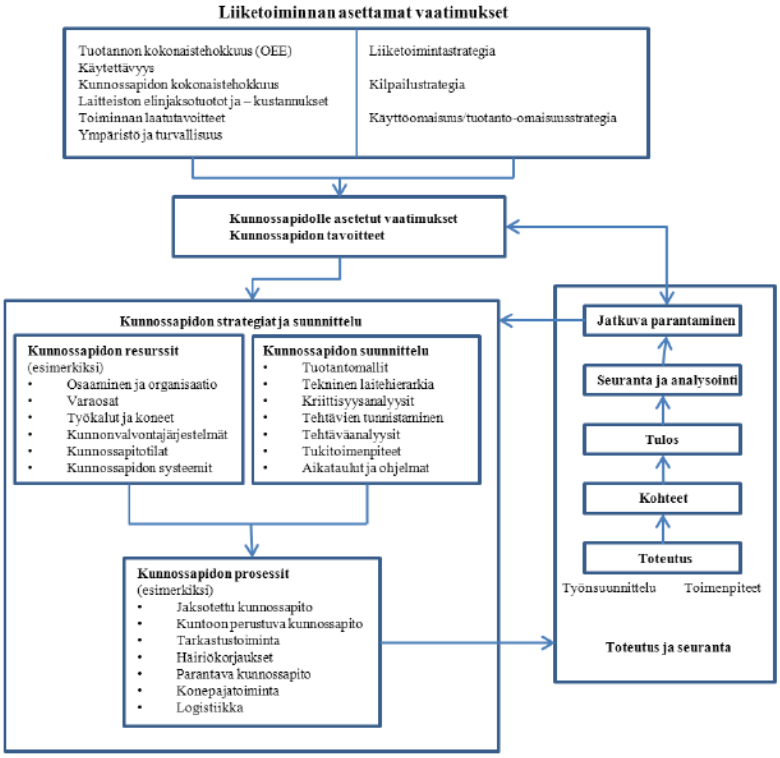


Kuva 9. Caterpillar Electronic Data Condition Monitoring Services (Otmishi 2012).

Englanninkielessä koneen tai laitteen kuntoa kuvataan kahdella eri sanalla: "health" ja "condition". "Health" kuvaa enemmän koneen sen hetkistä tilannetta ja voi kertoa että jotain on nyt vialla. "Condition" kuvaa koneen tilannetta pidemmällä aikavälillä tarkasteltuna ja ennustaa sen tulevaisuutta.

3.3.6 Kunnossapitostrategian valinta

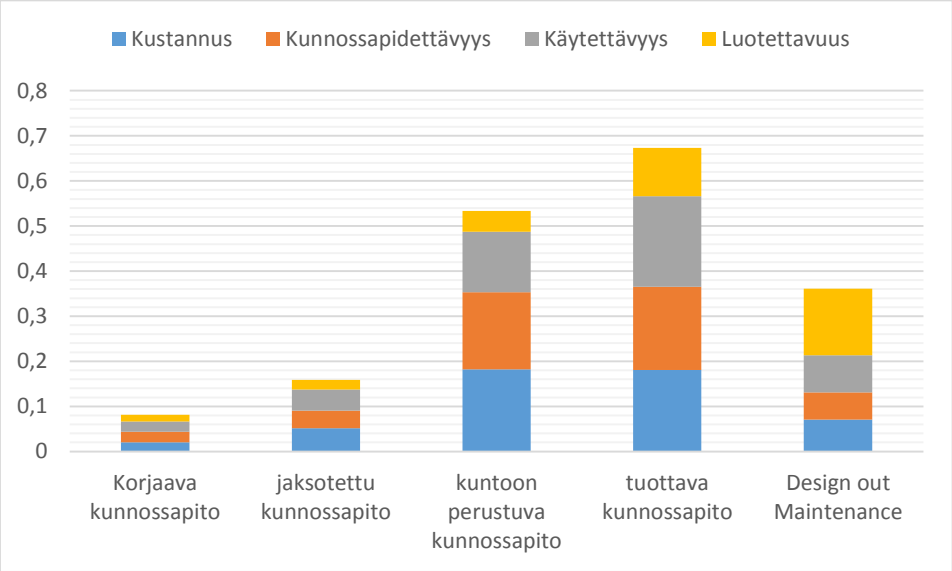
Kunnossapidon strategia luodaan yrityksen liiketoiminnan mukaan. Kunnossapitostrategiaan vaikuttaa muun muassa liiketoiminta-alue, jolla yritys toimii. Kuvassa 10 on esitetty kunnossapidon kokonaiskenttä johtamisen näkökulmasta. Sen mukaisesti liiketoiminnan johdosta tulee strategiaa tukevat mittarit, joilla kunnossapitotoimintaa analysoidaan. Liiketoimintavaatimusten perusteella laaditun strategian pohjalta suunnitellaan tarvittavat kunnossapidon resurssit ja toimintamallit. Toiminnan laatua voidaan analysoida, toimintaa kuvaavien mittareiden avulla. (Komonen 2009)



Kuva 10. Kunnossapito johtamisen näkökulmasta (Komonen 2009).

Shahin ym. (2012) on tutkinut kunnossapitostrategioiden soveltuvuutta vertaamalla eri strategioiden välisiä riippuvuuksia, vahvuuksia ja heikkouksia. Tutkimuksessa on verrattu korjaavaa kunnossapitoa (EM), kuntoon perustuvaa kunnossapitoa (CBM), jaksotettua kunnossapito (TBM), Design out Maintenance (DOM) sekä tuottavaa kunnossapitoa (TPM) suhteessa luotettavuuteen, käytettävyyteen, kunnossapidettävyyteen sekä kustannuksiin. Tutkimuskohteeksi on valittu Chadormalu Mining-Industrial Company (CMIC), joka on Iranissa toimiva rautakaivos. Tulosten mukaan kuntoon perustuva kunnossapidon ja tuottavan kunnossapidon strategiat ovat muita strategioita parempia. Tutkimus oli rajattu vain yhdelle kaivokselle, joten sen tuloksia ei pidä yleistää. Tutkimuksessa käytettiin neljää eri valintakriteeriä (luotettavuus, käytettävyys, kunnossapidettävyys sekä kustannukset). Esimerkiksi työturvallisuuden ja ympäristövaikutusten ottaminen valintakriteereiksi olisi voinut muuttaa tulosta. Shahinin tutkimus on

tehty jo pitkään tuotannossa olleelle kaivokselle eikä se myöskään ota huomioon kaivoksen elinkaarta.



Kuva 11. Kunnossapitostrategioiden vertailututkimuksen tulokset ja valinnan kriteerit (Shahin ym. 2012).

Erilaiset kaivokset vaativat erilaista kunnossapidon johtamista. Tämän takia yrityksen tilanteeseen sopivan kunnossapitostrategian määrittäminen on yrityksen johdon tärkeimpiä tehtäviä.

3.3.7 Keskitetty vai hajautettu organisaatio?

Keskeisen strateginen päätös kunnossapidossa on organisaatiomallista päättäminen. Kunnossapito-organisaatiot ovat kunnossapidon merkityksen kasvaessa muutoksen tilassa ja yksi peruskysymys kunnossapidon organisoimisessa on valinta keskitetyn ja hajautetun kunnossapito-organisaation välillä. Keskitetyssä organisaatiossa yrityksellä on omat kunnossapitoon keskitetyt resurssit jolloin tuotanto ja kunnossapito ovat erillisiä osastoja. Heinonkosken (1993) mukaan keskitettyä organisaatiota pidetään vanhanaikaisena ja ammattiyhdistyksellisesti ongelmallisina koska niissä ammattien monimuotoisuus häviää ja syntyy erikoistuneita ammattimiesryhmiä. Keskitetty organisaatio on jäykkä, mahdollisesti tehoton ja resurssien jako voi tuottaa ongelmia. Aallon (1993) mukaan hyviä huolia ovat yhtenäinen ja helposti siirrettävä työvoimaresurssi, keskitetty osaaminen ja

koulutus, mahdollisuus hyödyntää erityisosaamista koko yrityksessä sekä selkeä johtamismalli.

Hajautetun organisaation peruslähtökohtana on, että tuotantohenkilöstö on viime kädessä vastuussa omista koneistaan ja sen tulee itse vastata huollosta ja kustannuksista. Hajautetussa organisaatiossa kunnossapidon henkilöstö on sijoitettu tuotannon alaisuuteen ja tuotantovälineiden välittömään läheisyyteen. Hajautetun organisaation etuja ovat sen keveys ja edullisuus, tietoisuus tuotannosta, yleisammattilaisuus ja nopea päätöksenteko. Mahdollisia haittoja ovat hajallaan oleva varastointi ja työntekijöiden heikko motivaatio tiettyihin sekatöihin. (Aalto 1994, Heinonkoski 1993)

3.4 Kunnossapidon ulkoistaminen

Ulkoistaminen liittyy liikkeenjohdolliseen ajatukseen, jonka mukaan yritysten tulisi keskittyä heidän ydinosaamiseensa. Sana ulkoistaminen tulee englannin kielen sanasta outsourcing. Se tarkoittaa tavaroiden tai palveluiden hankintaa yrityksen ulkopuolelta. Tällöin yrityksen resursseja vapautuu sellaisista toiminnoista, jotka eivät kuulu yrityksen ydinosaamiseen. Ulkoistaminen koskee fyysisten tuotteiden valmistuksen lisäksi usein myös erilaisia palveluita kuten suunnittelua, kuljetusta, tietojärjestelmä-palveluja, siivousta, rahoitusta, energiapalveluita, kunnossapitoa tai muita tuotannon tukipalveluita. (Karjalainen ym. 1999)

Ulkoistamisessa on kyse tuotantoketjun joidenkin osien siirtämisestä ulkopuolisen toimittajan vastuulle. Siinä voidaan nähdä kaksi ulottuvuutta: mikrotaso ja makrotaso. Mikrotasolla se liittyy yritysstrategioiden ja -rakenteiden muutokseen ja makrotasolla toimialojen ja koko talouden rakenteen muutokseen. (Pajarinen 2001)

Teollisuuden kunnossapitotoiminnoissa alkoi tapahtumaan rakenteellisia muutoksia 1980-luvulla, jolloin osa yrityksen itse tuottamista palveluista hankittiin ulkopuolisilta yrityksiltä. Laitetoimittajien lisätessä ja kehittäessä omia kunnossapitopalveluita ovat yritykset hankkineet kunnossapito-osaamista myös oman organisaationsa ulkopuolelta. Laitetoimittajat ovat kehittäneet palveluitaan itsenäisiksi liiketoiminnan alueiksi, joilla varmistetaan myynnin jatkuminen myös laitetoimitusten jälkeen. Lisäksi kunnossapidon alueella toimii nykyisin useita huolto-, asennus-, ja varaosapalveluita tarjoavia yrityksiä. Kunnossapito on palvelutoimintaa, jolle on ominaista seuraavat asiat:

- palvelun tuottaminen tapahtuu suurelta osin asiakkaan luona eikä sitä voi varastoida
- asiakas osallistuu tuotantoprosessiin
- markkinointiin ja myyntiin osallistuu myös suorittava henkilöstö
- tärkein pääomatekijä on osaaminen

Mikäli yritys sijaitsee suuren teollisuusalueen läheisyydessä, voidaan kunnossapidossa mahdollisesti hyödyntää keskusten yhteisiä toimintoja ja ostaa kunnossapitopalveluita. Toisaalta jos yritys haluaa kehittää kilpailuetua kilpailijoiden verrattuna, on oma tietotaito tärkeää myös kunnossapidossa. Ympäristönsuojelu asettaa omat vaatimuksensa yrityksen toiminnalle. Ilman riittäviä kunnossapitoresursseja yrityksen toimintavarmuus vaarantaa ja puolestaan liian suuria henkilömäärä voi viedä yritykseltä kilpailukyvyn etenkin laskusuhdanteiden aikana. Kunnossapidon tarve vaihtelee luontaisesti seisokkien ja päiväkunnossapidon osalta, jolloin kunnossapitoresurssien tulisi olla riittävän joustavia. Investointeja tehtäessä tulee arvioida uusi kunnossapitotarve. Korvausinvestointi voi laskea kunnossapitotarvetta, mutta tuotannon laajennus kasvattaa resurssitarvetta. Laitteiden ja koneiden kehittyessä tulee työntekijöitä jatko- ja uudelleen kouluttaa. (Heinonkoski 1993)

Kunnossapidon palveluihin vaikuttavat ratkaisevasti asiakkaan tuotantoprosessi, kunnossapitokohteen teknologia, seisokkikustannukset sekä kunnossapitofilosofia. (Komonen 1998) Kunnossapidossa suunniteltujen ja suunnittelemattomien töiden määrä vai vaihdella paljon. Keskimäärin kunnossapitotöistä 60–80 % käytetään suunniteltuihin töihin. Yli 90 %:n kuormitus on harvinaista eikä silloin jää riittävästi aikaa häiriötöille. Koska kuormitus vaihtelee paljon, on töitä pyrittävä tarvittaessa jakamaan seuraaville päiville ja viikoille. Häiriötöiden osuus on pidettävä mahdollisimman pienenä esimerkiksi suunniteltujen seisokkikorjausten, ennakkohuoltojen, valvovan kunnossapidon ja mittaavan kunnossapidon avulla. (Heinonkoski 1993)

Kunnossapidon ulkoistamista voidaan perustella useilla tekijöillä. Aallon (1994) mukaan useimmin sillä pyritään tasaamaan kapasiteettihuippuja, hankkimaan eritysosaamista tai pelkästään standardilaitteiden kunnossapito-osaamista niihin erikoistuneilta yrityksiltä. Ulkoistetusta kunnossapidosta maksetaan vain sitä tarvittaessa, kapasiteettijoustot on helpompi toteuttaa ja kilpailuttamalla voidaan kontrolloida kustannuksia. Haittapuolia ulkoistamisessa ovat osaamisen

siirtyminen yrityksen ulkopuolelle, mahdolliset yhteistyöongelmat ja oman prosessin tuotantolaitteiden huolto-osaamisena heikkeneminen. Dolan & Meredithin (2001) mukaan ulkoistaminen tarjoaa yrityksille myös muita etuja. Sen avulla voidaan päästä parempaan laatuun ja säästää kustannuksissa.

Kiristynyt taloudellinen tilanne ei tarjoa parasta toimintaedellytystä kunnossapidon pitkäaikaiselle suunnitelmallisuudelle. Kuluja karsitaan ja hankinnoissa haetaan säästöjä. On ajauduttu tilanteeseen, jossa oman kunnossapidon mahdollisuudet ovat vuosi vuodelta heikentyneet. On tultu tilanteeseen, jossa on otettava tarkasteluun kunnossapidon ulkoistamisen mahdollistavat toimintamallit. On tarkasteltava tarvittava osaaminen ja henkilöstöresurssit. Tarkastelun perusteella voidaan valita, mitä tehtäviä oman henkilökunnan on parasta suorittaa ja mitä palveluja on edullisempaa hankkia ulkoa. (Hynninen 2013)

Strategisesti valittujen kunnossapitopalveluja tarjoavien toimijoiden kanssa tehtävillä palvelusopimuksilla voidaan ulkopuolinen kunnossapito-osaaminen jakaa segmentteihin, joilla kullakin on omat yksilöidyt tavoitteet ja osaajat. Sopimalla palveluiden tarjoajien kanssa ehdoista, seurannasta ja mittareista parannamme ulkoisten palvelujen hallittavuutta. Tärkeitä seurattavia asioita kokonaiskustannusten lisäksi ovat häiriökustannusten määrä suhteessa ennakoivaan huoltoon sekä ehdotukset laitteistojen parantamiseksi. Kunnossapidon aloitteellisuus mittaa hyvin ilmapiiriä ja työmoraalia. (Hynninen 2013)

Mitä laajempi on ulkoa hankittu kunnossapito, sen kriittisemmäksi tulevat resurssien ohjaus ja eri sopimuksien hallinta. Toisaalta, mitä suurempi erikoisasiantuntijoiden määrä yrityksellä on, sen suuremmiksi muodostuvat kustannukset. Hallittavana on koko kunnossapidon osaamisverkosto, oma ja ulkopuolinen. Se mikä osaaminen kannattaa pitää omassa yrityksessä ja mitä kannattaa hankkia ulkopuolelta, ratkaisee yrityksen sijainti, kunnossapitostrategia, käytettävyystavoite sekä konekannan vaativuus. Tehokkaan ja ammattitaitoisen kunnossapidon asiantuntijaverkoston sekä selkeän palvelukonseptin ja tavoitteiden avulla voidaan kunnossapito pienelläkin omalla organisaatiolla saavuttaa kustannustehokkaasti hyviä tuloksia. (Hynninen 2013)

3.4.1 Kunnossapidon ostaminen ja myyminen

Kunnossapidon ostaminen voidaan jakaa kolmeen toimintatapaan: voimakas vuorovaikutteinen yhteistyö, vuorovaikutteinen tukea antava ja perinteinen

funktionaalinen. Kunnossapidon myyjällä tulee olla resursseja toteuttaa kokonaisuus, joka kohdistuu tietylle koneelle tai laitteelle. Kunnossapitopalveluiden toimitusprosessin on oltava suora ja lyhyt eikä se saa takerrella hierarkioiden koukeroissa. (Hagberg 1996)

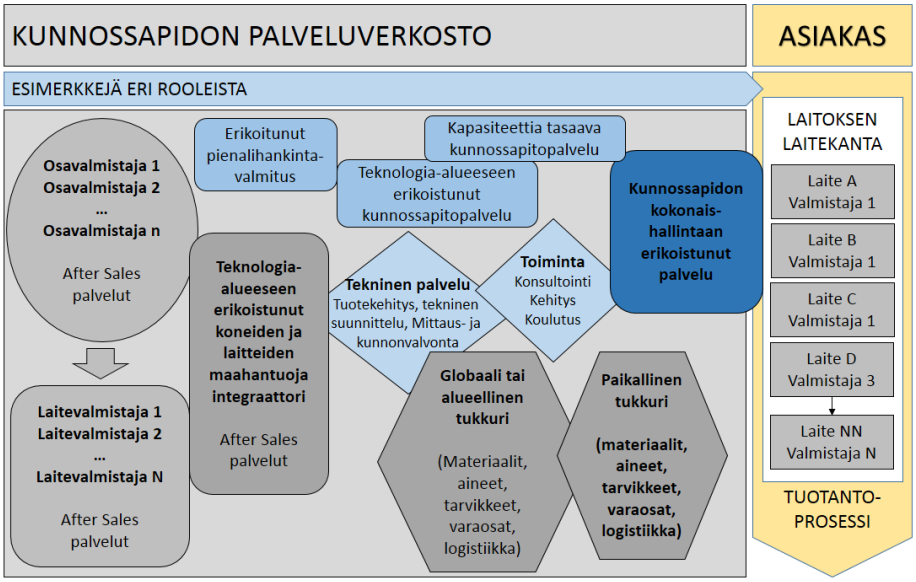
Ostajan on oltava koko ajan selvillä tuotantolaitteistonsa tilasta sekä tavoitetilasta. Tällä tavoin voidaan arvioida mille tasolle kunnossapitotoiminta asettuu. Tässä vaiheessa tulee myös tarkastella mihin asioihin ja toimintoihin oman henkilökunnan kannattaa keskittyä ja mitä taas on järkevää ostaa ulkopuoliselta kunnossapidon toimittajalta. Mikäli kunnossapitopalveluiden myyjä haluaa kehittää toimintaansa ja kasvaa, tulee sillä olla resursseja joilla se voisi huolehtia myös niistä kunnossapitotoiminnoista, jotka ovat tällä hetkellä asiakkaan omassa hoidossa. Tarkkojen kriteerien saamiseksi ostaja ja myyjä voivat käydä yhteistyössä läpi kunnossapidettävät laitteet komponenteittain niiden kulumis- ja vikaantumismekanismien selvittämiseksi ja miettiä millä kunnossapitotoimilla näihin vastataan ja mikä on haluttu kunnossapitotaso. (Hagberg 1996)

Ostetun kunnossapitopalvelun laadun mittaaminen on tärkeässä roolissa. Mittaamalla ja arvioimalla palvelutuotantoa palvelun tuottaja ja asiakas pystyvät arvioimaan palvelun vaikuttavuutta, laatua ja palvelun saatavuutta. Lisäksi mittaamista voidaan käyttää palvelun tuottaman asiakasarvon todentamiseen esimerkiksi elinjaksolaskelman avulla. Mielenkiintoisia ovat tilanteet, joissa palvelun tarjoaja ja asiakas yhdessä hakevat elinkaarimallilla simuloiden tarkoituksenmukaisinta sekä taloudellisinta hankinta- ja palvelukokonaisuutta koko kaivoksen elinkaaren ajalle. (Kärri ym. 2012) Kilpailun kiristyessä ja kustannustietoisuuden lisääntyessä asiakkaat ovat alkaneet kasvavassa määrin kyseenalaistaa palvelun kiinteää hinnoittelua, ja kiinnostua ostamansa kunnossapitopalvelun ”arvontuottokyvystä”. Tällaisessa palvelusuuntautuneessa ajattelussa korostetaan palvelusta asiakkaan käytössä syntyvää arvoa, value-in-use, pelkän palvelutuotoksen nimellisen arvon, value-in-exchange sijaan. Palvelun arvopohjainen hinnoittelu on haasteellinen palvelun tuottajalle, sillä palvelun arvon elementit voivat vaihdella paljon asiakasyrityksestä toiseen ja voivat sisältää myös riskielementtejä. Tämä korostaa tarvetta tilanteen jatkuvalle seuraamiselle, jotta eri osapuolten palvelusta saavuttama arvo ja riski saadaan jaettua oikeudenmukaisesti. (Vargo & Lusch 2004)

3.4.2 Ratkaisu- ja palvelumyynti

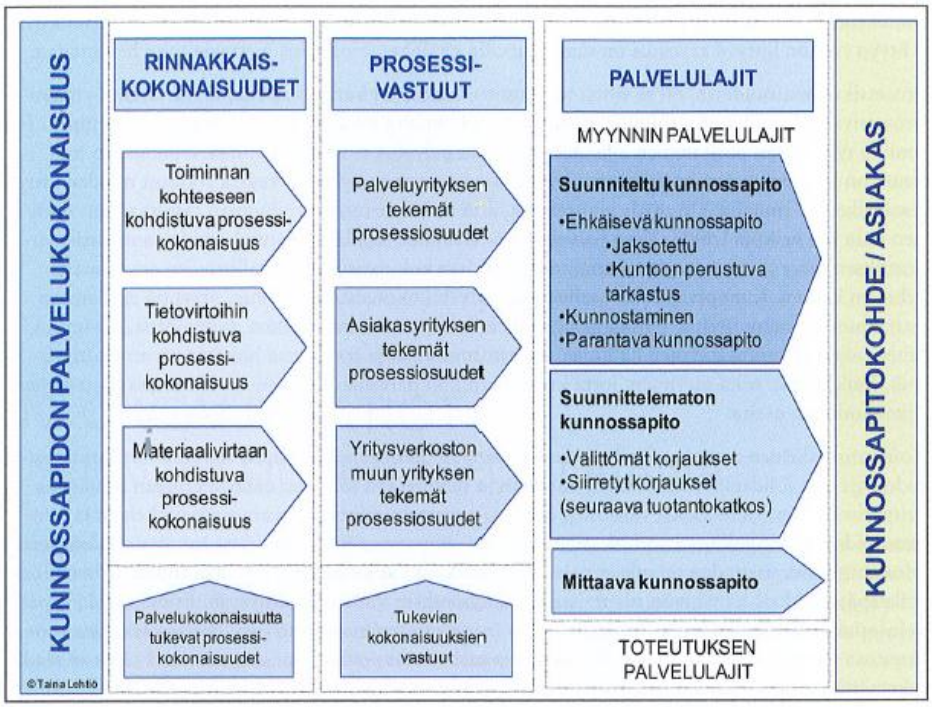
Palveluliiketoiminnasta on muodostunut yhä kasvava osa globaalia markkinataloutta. Useat laitetoimittajat ovat pyrkineet kasvattamaan omaa liiketoimintaansa suuntaamalla panostuksiaan kunnossapitopalveluiden kehittämiseen. Laaja asennettu laitekanta tarjoaa usealle laitetoimittajalle kattavan pohjan rakentaa palveluliiketoimintaansa erityisesti kunnossapidon saralla. Laitetoimittaja myy laitteidensa arvonlisänä käyttövarmuutta. (Kärri ym. 2012)

Ulkoistamisen seurauksena teollisuuden ympärille on syntynyt uudenlaisia palvelualan yrityksiä, jotka ovat sidoksissa teollisuusyrityksiin. Ne toimivat osana verkostoja, joissa on mukana valmiita tuotteita valmistavia yrityksiä, suunnittelutoimistoja ja alihankkijoita. Verkostot ovat kompleksisia ja nykyinen teollisuustoiminta ei enää pysyisi kilpailukykyisenä ilman niitä. Verkostoituneessa toiminnassa korostuvat ihmisten ja ihmisten välisen vuorovaikutuksen, kommunikaation ja yhteistyötaidon merkitys. Samassa verkostossa toimivien yritysten sisäiset ja ulkoiset tavoitteet voivat vaihdella ja olla välillä ristiriidassa keskenään. Lisäksi yritysten käytännön, toimintatavat ja yrityskulttuurit voivat olla erilaisia. Tämän vuoksi yritysten rajapinnoilla työtä tekevien ihmisten on hallittava sekä oman yrityksen sisällä että eri yritysten välillä keskinäinen yhteistyö ja kommunikaatio erilaisista toimintatavoista huolimatta. Kunnossapidon palveluverkoston rooleja on tarkasteltu kuvassa 12. (Järviö & Lehtiö 2012)



Kuva 12. Kunnossapidon palveluverkoston eri rooleja (Lehtiö 2009).

Laitteen tai laitekokonaisuuden kunnossapito on palvelukokonaisuus, joissa korostuu ihmistyövaltaisuus, suuri hallittavan tiedon määrä ja teknologian hallintaan kohdistuvat osaamisvaatimukset. Mitä monimutkaisempaa ja automatisoidumpaa teknologiaa on käytössä, sitä merkittävämmäksi yleensä kunnossapito muuttuu. Mikäli laitteiden kunto ja kunnossapito vaikuttavat merkittävästi laitekantaa käyttävän organisaation toimintaan, voidaan kunnossapidon kohdalla puhua strategisesti merkittävästä palvelusta. Kunnossapidon palvelukokonaisuudesta voidaan esittää kuvaus, jossa kunnossapito on jaettu palvelulajien osalta suunnitellun, suunnittelemattoman ja mittaavan kunnossapidon palveluryhmiin (kuva 13.) Palvelulajit voidaan vielä jakaa tarkempiin alaryhmiin kuten sähköautomaatio ja mekaaninen kunnossapito. Palvelukokonaisuuden mallin osalta on merkittävää ymmärtää, että myytävät palvelut sijoittuvat johonkin kolme eri rinnakkaiskokonaisuuden alueelle tai ne muodostuvat eri palvelulajien yhdistelmistä. (Järviö & Lehtiö 2012)



Kuva 13. Kunnossapidon palvelukokonaisuuden palvelulajit osana palvelurakennetta (Järviö & Lehtiö 2012).

Kunnossapidon palveluita tukevia prosesseja ovat esimerkiksi tiedonhallinnan tukipalvelut (ICT-ratkaisut), työvaatteiden huolto ja kunnossapitotilojen puhtaanapito. Varaosien osto- ja varastointipalvelut, laite- ja varaosatietojen sekä kunnossapidon työlajien tiedonhallinta ja raportointi ovat sen sijaan osa kunnossapidon palvelukokonaisuutta. Ajantasaiset laite- ja varaosatiedot nopeuttavat kunnossapitotyön tekemistä kun taas puuttuva varaosa voi pidentää seisokkia useilla päivillä tai jopa viikoilla. Kunnossapito ajatellaan usein tuotannon tukitoiminnoksi ja merkitykseltään vähempiarvoiseksi kuin esimerkiksi tuotekehitystä, tuotanto ja myyntiä. Kunnossapito ei ole vähempiarvoista vaan koko ajan keskeisempi osa kokonaisuutta. (Järviö & Lehtiö 2012)

Monimutkaiset vastuiden rajaukset palvelusopimuksissa aiheuttavat usein operatiiviselle henkilöstölle epäselvyyksiä käytännön tilanteissa ja sekaannuksia sekä hidastuksia töiden toteutukseen. Huonosti valmistellut palvelusopimukset ai-

heuttavat usein pitkäaikaisia haittavaikutuksia, joiden seuraukset ilmenevät viimeistään organisaatioiden yhteistoiminnan toteutusvaiheessa. (Järviö & Lehtiö 2012)

Teollisuuden palveluita tarjoavia yrityksiä on syntynyt Suomessa viime vuosina paljon. Ratkaisumyyntiä, kestävää liiketoimintaa luodaan palvelumyynnin kautta. Tyypillisiä teollisuuden palveluita ovat huolto- ja varaosapalvelut sekä suunnittelupalvelut. Vakioitujen palvelutuotteiden avulla palveluliiketoimintaa voidaan tehostaa ja asiakkaalle voidaan viestiä palvelun tuoman hyöty paremmin ja palvelun laatu paranee. (Mäkipirtti 2013)

Perinteisesti kunnossapidon palveluita ostetaan tilaaja-tuottaja -mallilla käyttäen transaktioihin perustuvaa hinnoittelua. Tällöin asiakkaan tavoitteena on ostaa ylläpitoa, kuten kunnossapidon toimenpiteitä, komponentteja, varastointia, varaosia, kuljetuksia ym. mahdollisimman alhaisella transaktiokustannuksella. Palvelun tuottajan tavoitteena on puolestaan myydä palveluita mahdollisimman paljon mahdollisimman korkealla hinnalla. Tällöin palvelun tuottajalle maksetaan jokaisesta palvelusta riippumatta siitä oliko toimenpide tarpeellinen toteuttaa käytettävyyttä ylläpitävänä tai nostavana palveluna. Transaktioihin perustuvassa hinnoittelussa asiakas saa sen, mistä on sovittu, muttei välttämättä sitä, mitä haluaa saavuttaa. (Mäkipirtti 2013)

Uudenlaisessa Performance base logistics –toimintamallissa (PBL) riski käytettävyydestä, tai ainakin osa siitä, on siirretty työn toteuttajalle. Tällöin tilaaja määrittää käytettävyysvaatimuksen. Toteuttaja arvioi tavoitteen vaatimat toimenpiteet ja niistä aiheutuvat kustannukset. Laskutus perustuu todennettuihin käytettävyyden parametreihin, joiden alittamisesta muodostuu sanktio ja ylittämisestä rahallisia kannusteita osana kiinteähintaista sopimusta. Teoriassa toimintamalli mahdollistaa vähintään lyhyellä aikavälillä win-win tilanteen syntymisen kasvattamatta kustannuksia. Asiakas saa suurempaa käyttövarmuutta ja palveluntuottaja suurempaa katetta. Palvelutuottajan kate muodostuu sitä suuremmaksi, mitä suuremman käytettävyyden he pystyvät tuottamaan vähäisimmällä työmäärällä. (Mäkipirtti 2013)

Yksi PBL -mallin ominaisuuksia on riskien jakaminen. Palveluntuottaja hinnoittelee sopimuksen toteuttamiseen liittyviä riskejä sopimuksen hintaan. Kyseisiä ris-

kejä voivat olla esimerkiksi varaosien heikko saatavuus sekä asiakkaan kyky käyttää tuotantolaitteita oikein. Palvelun hinnoitteluun liittyvien riskien hallinta on avainasemassa. Oikeiden mittareiden valinta on vaikeaa, ja sitä voidaan pitää toimintamallin yhtenä suurimpana haasteena. (Mäkipirtti 2013)

Laitevalmistajat pyrkivät kehittämään organisaatioitaan ja toimintaansa tuotetoimittajasta kohti ratkaisuliiketoimintaa. Ratkaisuliiketoiminnassa asiakkaan liiketoiminnan kehittäminen edellyttää usein ratkaisuntarjoajan ja asiakkaan tiivistä ja pitkäaikaista yhteistyötä sekä kokonaisvaltaista ymmärrystä asiakkaan prosesseista. Ratkaisuliiketoiminnassa keskitytään asiakkaan liiketoimintatavoitteiden edistämiseen tuotteen ja sen ominaisuuksien argumentoinnin sijaan. Liiketoimintatavoitteiden lähtökohdat sijaitsevat asiakasyrityksen tai -toimialan ulkoisessa ympäristössä ja asiakasyrityksen omassa tilassa. Liiketoimintatavoitteet voivat olla erilaisia eri liiketoimintayksiköissä ja eri päätöksentekotasolla.

Kuva 14. Tuotetoimittajasta ratkaisuliiketoimintaan (Veikkolainen 2010).

Ratkaisunmyynnin menestystekijät ovat toimialalogiikan ja asiakkaiden keskeisten liiketoimintahaasteiden ymmärtäminen, omien ratkaisujen ymmärtäminen

liiketoiminnallisen lisäarvon tuottajana, luottamuksen rakentaminen asiakaskunnan liiketoimintajohtoon, oman ratkaisun lisäarvon uskottava ja konkreettinen argumentointi sekä pysyvän kumppanuuden rakentaminen asiakkaan kanssa. Asiakkaalle myydään fyysisen tuotteen lisäksi tuotteen elinkaaren aikaisia tukipalveluita.

3.5 Kunnossapitojärjestelmä

Nykypäivän yritystoiminnassa lähes kaikilla on käytössä toiminnanohjaukseen tarkoitettu tietojärjestelmä. Toiminnanohjausjärjestelmät ovat syntyneet korvaamaan manuaalista kirjanpitoa ja toimintoja sekä nopeuttamaan ja helpottamaan jokapäiväistä työskentelyä. Tietokoneiden ja ohjelmistojen kehittyessä yritysten lähes kaikki toiminnot tulevat linkittymään johonkin tietojärjestelmään. Kunnossapidon tietojärjestelmillä tarkoitetaan kunnossapidon toiminnanohjaukseen ja materiaalivirtojen hallintaan tarkoitettuja järjestelmiä. Kunnossapidon tietojärjestelmistä on rakennettu tarvittavat yhteydet tuotantolaitoksen muihin tietojärjestelmiin. Järjestelmiä käyttävät tuotantolaitoksen oma käyttö ja kunnossapitohenkilöstö sekä mahdollisesti ulkopuolinen kunnossapitopalvelua tarjoava yritys. Käyttäjistä työntekijät ovat tärkeässä roolissa ja he vastaavat suurelta osin uuden tiedon tuottamisesta järjestelmään. (Rauhala 2013)

Markkinoilta löytyy useita erilaisia järjestelmiä, joilla on mahdollista toteuttaa kunnossapitojärjestelmä. Yksinkertaisimmillaan järjestelmän pohjana voi käyttää Excel- ja Word-ohjelmistoja. Laajimmat järjestelmät, kuten SAP, sisältävät kaiken mitä suuren konsernin toiminnot vaativat toimiakseen. Terminologia vaihtelee jonkin verran riippuen teollisuuden alasta, mutta yleisimmät termit ovat ”kunnossapidon tietojärjestelmä” ja ”kunnossapitojärjestelmä”. Vastaavat englanninkieliset termit ovat CMMS (Computerized Maintenance Management System), uudempia termejä ovat EAMS (Enterprise Asset Management System) sekä MIS (Management Information System). (Järviö ym. 2007)

Kunnossapidon tietojärjestelmä on usein yksi toiminnanohjausjärjestelmän moduuleista. Esimerkkinä tästä SAP toiminnanohjausjärjestelmän PM (Plant Maintenance) moduuli. Tällöin kunnossapitomoduuli on linkitetty suoraan yrityksen toiminnanohjausjärjestelmään. Kunnossapidon tietojärjestelmä voi myös olla itsenäinen ohjelmisto kuten Artturi tai Maximo. Näissäkin tapauksissa tiedonsiirtorajapinta on yleensä rakennettu ainakin materiaalihallinnon sekä oston ja

myynnin ohjelmistoihin. Reaaliaikainen tiedonsiirto eri valmistajien ohjelmistojen kesken on yleisesti ottaen kuitenkin vaikeampaa verrattuna kokonaisiin toiminnanohjausjärjestelmiin. (Rauhala 2013)

Toiminnanohjaukseen tarkoitetuissa tietojärjestelmissä olevat tiedot voidaan jakaa kahteen pääryhmään; masterdataan ja transaction dataan. Ensin mainitulla tarkoitetaan järjestelmän perustietoja, jotka luodaan suurimmaksi osaksi jo järjestelmän käyttöönoton yhteydessä. Kunnossapidon tietojärjestelmässä näitä perustietoja ovat esimerkiksi laitehierarkia, laitepaikkatiedot, laitetiedot ja varaosatiedot. Perustietoja on päivitettävä säännöllisesti. Transaction datalla tarkoitetaan päivittäin järjestelmään syötettäviä tietoja, joita kerätään jokapäiväisistä työtehtävistä. Kunnossapidon tietojärjestelmässä transaction dataa ovat esimerkiksi laitteiden vikatilanteista sekä huoltoja korjaustoimenpiteistä järjestelmään kirjattuja tietoja. Transaction data on tietoa, joka kerättäessä yhdistetään masterdataan. Esimerkkinä tästä laitehistoria, jota kerätään laitekortteihin. Luotettava masterdata on perusedellytys luotettavan transaction datan keräämiselle. (Rauhala 2013)

Terminologiasta ja toiminnallisesta laajuudesta riippumatta yleisimmät kunnossapitojärjestelmien toiminnallisuudet ovat: laitepaikkojen ja laiteyksilöiden perustiedot, materiaalihallinta, vika- ja häiriöilmoitusjärjestelmä, työmääräinjärjestelmä, ennakkohuoltojärjestelmä, ostotilausjärjestelmä, palvelun myynti ja laskutus, dokumenttien hallinta, yhteystietorekisteri, resurssihallinta, työtuntien kirjaus palkkahallinnon pohjaksi sekä projekti/seisokkihallinta. (Järviö ym. 2007)

Kunnossapitotoiminnan ohjauksella on tyypillistä, että järjestelmään vuosien mittaan kertyvästä tiedosta (transaction data) suurimman osan syöttävät käyttö ja kunnossapito-organisaatioiden työntekijät. Kunnossapidon tietojärjestelmään kirjattuja tietoja puolestaan hyödyntävät eniten käyttö- ja kunnossapito-organisaatioiden toimihenkilöt. Kunnossapidon tietojärjestelmään kerätään päivittäin suuri määrä erilaisia tietoja, mutta vain osaa niistä käytetään systemaattiseen toiminnan ohjaamiseen. Tämä voi johtua myös siitä, että tiedonkeruusta ei ole annettu selviä ohjeita. Tämän seurauksen henkilöt keräävät tärkeäksi katsomiaan tietoja ja kirjaavat ne järjestelmään omalla tavallaan. Tietoa kerätään järjestelmään paljon, mutta kertyvä tieto on hyvin erilaista ja erimuotoista. Tiedonkeruu on aikaa vievää työtä ja se kuormittaa henkilöresursseja jokapäiväisten työ-

tehtävien rinnalla. Hyvänä periaatteena voisi olla, että tiedonkeräämiseen käytetty panos ei saisi olla suurempi kuin kerättyjen tietojen kautta saavutetut hyödyt. Tiedonkeruun epäonnistumiseen voi olla monia syitä, mutta yksi yleisimmistä on ohjeistuksen puute. Päivittäisten työtehtävien lomassa tietoa keräävät henkilöt eivät aina tiedä mitä tietoa heidän tulisi kerätä, missä muodossa ja miksi. Toiminnanohjauksesta vastaavien henkilöiden tulisi määritellä, mitkä tiedot ovat tärkeimpiä päivittäisten työtehtävien suorittamisen kannalta sekä toiminnanohjausta ajatellen. Kun toiminnan kannalta tärkeimmäksi todetut tiedot ovat selvillä, tulisi tietojen keräämisestä tehdä suunnitelma ja ohjeistus. Tietojen keräämiseen tehdyn suunnitelman ja ohjeistuksen perusperiaate on:

- Kuka kerää?
- Mihin kerää?
- Mitä kerää?
- Missä muodossa?

Suunnitelman ja ohjeistuksen perusteella tiedonkeruuseen voidaan luoda yhtenäiset käytänteet käytön ja kunnossapidon tehtävissä työskenteleville henkilöille. Toiminnanohjausta varten jalostettujen tunnuslukujen muodostamisessa on tärkeää, että niiden pohjalla olevat tiedot on kerätty oikeassa ja yhtenäisessä muodossa. On parempi lähteä liikkeelle periaatteesta, jossa hallitusti kerätään välttämättömimmät tiedot ja sen jälkeen laajennetaan tiedonkeruuta tarpeen mukaan. (Rauhala 2013)

3.5.1 Kannettavat laitteet kunnossapidon apuna

Markkinoilla on tarjolla monenlaisia kannettavia laitteita, joihin voidaan rakentaa erilaisia sovelluksia tuotanto- ja kunnossapitohenkilöstön tarpeisiin. Kemi-Tornion ammattikorkeakoululla on tutkittu PDA-laitteiden hyödyntämismahdollisuuksia osana kunnossapitoprosessia. Teollisuuden tuotanto- ja kunnossapito-organisaatioiden yleisimmin käyttämistä PDA-laitteista ovat erilaiset kunnonvalvonnan mittauksiin tarkoitetut kannettavat laitteet. Yleisimmin nämä laitteet on tehty vain mittauksia varten ja niissä puuttuu useimmat tavallisten PDA-laitteiden toiminnot, kuten 3G, WLAN, internet, GPS ja kamera. Kunnonvalvonnan mittauksiin tarkoitetuilla PDA-laitteilla mittaustulokset siirretään tietojärjestelmiin toimistossa olevan telakka-aseman välityksellä kunnonvalvontakierroksen päät-

teeksi. Kunnonvalvontaan tarkoitetut PDA-laitteet on tehty esimerkiksi lämpötila- ja värähtelymittausten mittausten suorittamiseen. Kunnossapito ajatellen erilaisten mobiililaitteiden käytöllä voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä. (Rauhala 2013)

Mobiililaitteiden tuoma etu on luonnollisesti tietojärjestelmien saavutettavuus, jolloin järjestelmiin päästään heti tarpeen vaatiessa ajasta ja paikasta riippumatta. Tämän ansiosta esimerkiksi vikailmoitukset ja työmääräimet voidaan vastaanottaa nopeammin, jolloin niiden vaatimat toimenpiteet voidaan myös aloittaa välittömästi. Lisäksi ilmoitukset voidaan kohdistaa osastojen sijasta henkilöille, mikä nopeuttaa toimenpiteiden aloittamista entisestään. Yhteenvetona voidaan todeta, että mobiililaitteiden käyttö helpottaa ja nopeuttaa tiedonkeruuta sekä tekee siitä luotettavampaa. Lisäksi niiden avulla kerättyjä tietoja voidaan hyödyntää helpommin ja tehokkaammin. Mobiililaitteiden hankinta viestittää myös tiedonkeruun merkityksestä yritykselle sekä työntekijöiden tärkeää roolia tiedonkerääjinä. Näillä kaikilla on positiivinen vaikutus henkilöstön asenteisiin ja motivaatioon tiedon keräämiseen liittyen. (Rauhala 2013)

3.5.2 Hiljaisen tiedon kerääminen ja hyödyntäminen

Kunnossapitojärjestelmiin ja kunnossapidon johtamiseen liittyy hiljaisen tiedon hallinta. Hiljainen tieto on äänetöntä, piilossa olevaa, henkilökohtaista kokemustietoa. Se on persoonallista ja vaikeaa muotoilla, se on juurtunut toimintoihin, menettelytapoihin, velvollisuudentuntoon, arvoihin sekä tunteisiin. (Seidler-de-Alwis ym. 2008) Eksplisiittinen tieto on puolestaan dokumentoitua ja tallennettua, se voidaan helposti ilmaista sanoina tai numeroina ja sitä voidaan jakaa sekä prosessoida. (Suurla 2001) Kunnossapidon tietojärjestelmiin kerätään siis eksplisiittistä tietoa, mutta yritysten työntekijöillä on hallussaan myös paljon hiljaista tietoa jota tulee ja menee työntekijöiden mukana.

Henkilön osaamisella tarkoitetaan työn vaatimien tietojen ja taitojen hallintaa sekä niiden soveltamista käytännön työtehtäviin. Osaaminen koostuu hiljaisesta ja eksplisiittisestä tiedosta. Kokemuksen ja osaamisen kautta syntyvää hiljaista tietoa on hyvin vaikeaa ja työlästä dokumentoida. (Hovila & Okkonen 2006)

Kriittistä hiljaista tietoa on se tietämys, jota ilman organisaation toiminta ei saavuta maksimaalista kokonaistehokkuutta tai pahimmassa tapauksessa vaarantuu kokonaan. Kriittinen hiljainen tieto on myös erityistä osaamista ja tietämystä,

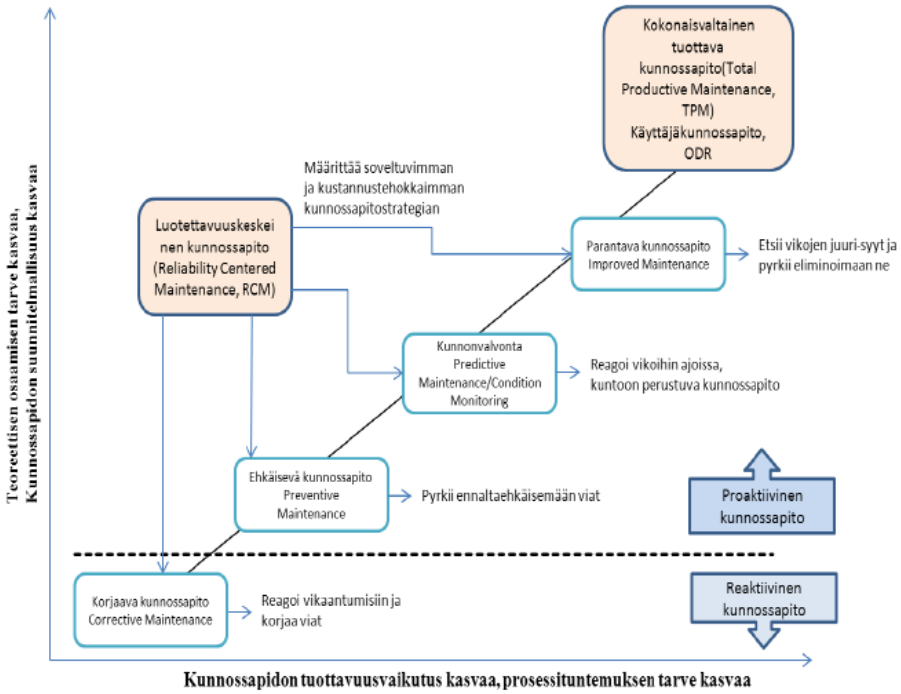
jota työntekijällä on. (Virtainlahti 2009) Käynnissäpidossa on tunnistettava se tieto, mikä on kriittistä laitteiden ja prosessin toiminnan kannalta.

Henkilöstön on ymmärrettävä hiljaisen tiedon merkitys ja sen tunnistaminen, mitkä ovat käsitteenä hieman epämääräisiä, sillä jos sen merkitystä ei tiedä ja sitä ei ole tunnistettu sitä on hankala jakaa, kehittää tai hyödyntää. Ongelmana on usein se, että työntekijät eivät tunnusta tai tunnista omaa tietämystään. Kokemusperäinen tieto pitää tuoda näkyväksi ja jakaa myös muille, siinä laajuudessa kuin se voidaan konkreettisesti merkitä muistiin. Henkilön koko kokemuspolkua ei ole tarkoituksenmukaista avata. (Virtainlahti 2009)

3.6 Kunnossapidon tehokkuus ja sen mittaaminen

Kunnossapidon tehokkuutta voidaan arvioida perinteisillä mittareilla, eli kustannustehokkuudella, epäkäytettävyyskustannuksilla, käytettävyydellä, tuotannon kokonaistehokkuudella, oman ja alihankintatyön tehokkuudella sekä materiaalin kulutuksella. (Järviö & Lehtiö 2012)

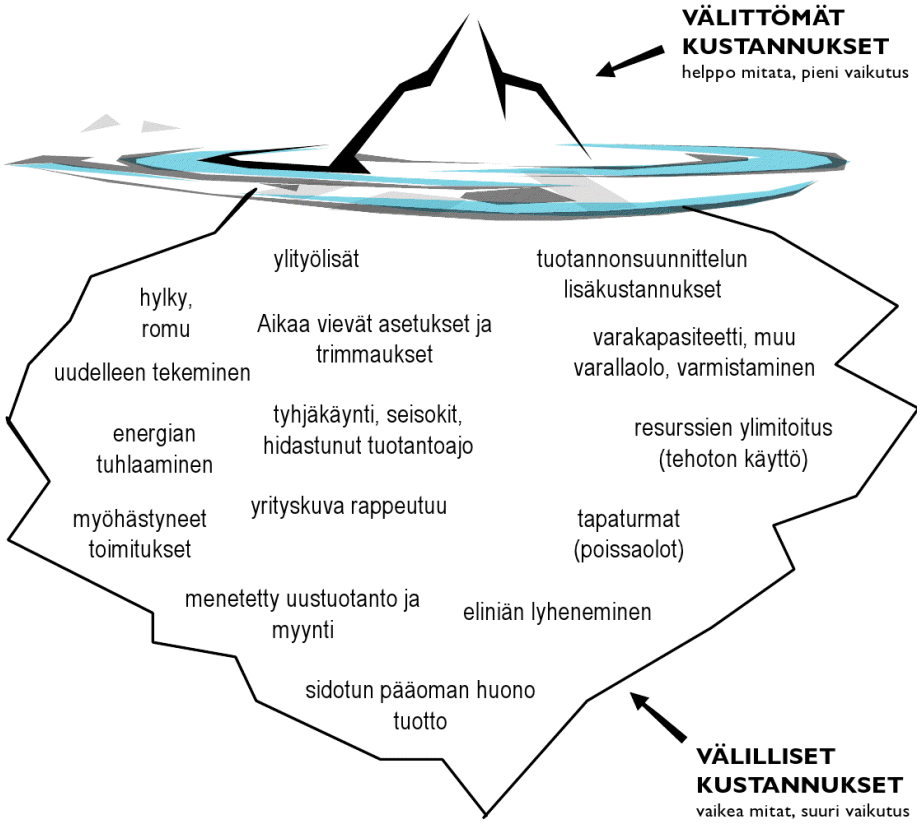
Kunnossapidon keskeisimmät tavoitteet ovat korkea tuotannon kokonaistehokkuus (OEE) sekä hyvä käyttövarmuus. Toteutuessaan nämä luovat mahdollisuuden hyvään käytettävyyteen ja käyttöasteeseen sekä luovat pohjan toiminnan luotettavuudelle. Tärkeimmät kunnossapidon tunnusluvut laskentakaavoineen on esitetty standardissa PSK 7501:2010. Luotettavuus ja käyttö-varmuus osatekijöineen on kuvattu tarkemmin standardissa SFS-IEC 50 (191). (Järviö & Lehtiö 2012, 59) Kunnossapidon tehokkuudelle voidaan asettaa tasoja. Lähtötasolta nouseminen tavoitetasolle ei tapahdu yhdessä vuodessa vaan se vaatii useiden vuosien jatkuvaa kehittämisen toimintamallia sekä systemaattista ja pitkäjänteistä kehitystoimintaa. Alla olevassa kuva esittää kunnossapidon kehityksen strategisia tasoja.



Kuva 15. Kunnossapidon strategiset tasot (Mäki 2009).

Kunnossapidon tehokkuutta voidaan arvioida perinteisillä mittareilla, eli kustannustehokkuudella, epäkäytettävyyskustannuksilla, käytettävyydellä, tuotannon kokonaistehokkuudella, oman ja alihankintatyön tehokkuudella sekä materiaalin kulutuksella. (Järviö & Lehtiö 2012)

Ehkäisevää kunnossapitoa käytettäessä törmätään käsitteeseen e*päkäytettävyyskustannukset*. Ne ovat kustannuksia, jotka jäävät ns. kustannusjäävuoressa (kuva 16.) näkymättömiin pinnan alle. Epäkäytettävyyskustannus koostuu suoranaisista kustannuksista sekä menetetyistä tuotoista. Materiaali- ja lisäarvotekijät huomioidaan, mikäli tuote joudutaan hylkäämään, eikä käytettyjä raaka-aineita voida hyödyntää. Jäävuoresta nähdään noin kolmasosa, eli pinnan päällä oleva osuus. Loput ovat ylimääräisiä kustannuksia, lisiä, toteutumattomia tuottoja ja tekijöitä, jotka vaikuttavat yrityskuvaan ja/tai sen markkina-arvoon (maine, luotettavuus toimittajana, ympäristöystävällisyys, jne.). (Järviö 2008)



Kuva 16. Kunnossapidon kustannusjäävuori (Järviö 2008).

Pinnalla olevia kustannuksia on helppo mitata, mutta niillä on suhteellisen pieni vaikutus. Pinnan alla olevia kustannuksia on vaikeaa mitata, mutta niillä on suuri vaikutus tulokseen. Epäkäytettävyyskustannuksia laskettaessa on vaikea arvioida kunkin kustannuserän kohdalla kunnossapidon, käytön ja käyttötavan vaikutus. Jos tällaista vaikutusta ei ole tai se on vähäinen, ennakkohuollolla ei ole vaikutusta.

Ehkäisevään kunnossapitoon sisältyy toimintoja, jotka ovat varsin arvokkaita. Tällaisia toimintoja ovat esimerkiksi toiminnanohjausjärjestelmät, erikoisvälinein tapahtuva kunnonvalvonta, isommat modernisaatiot ja vikahistorioiden analysoinnit. Nämä kustannukset on kuitenkin helppo laskea. Kalliita mittauslaitteita ei välttämättä kannata hankkia, vaan toiminnot voi ulkoistaa alihankkijoille. (Järviö 2008)

Chilessä vuonna 2000 tehdyssä tutkimuksessa (Knights & Oyanader 2001) on vertailtu kuuden suuren avolouhoksen tunnuslukuja kuten käytettävyyttä, kunnossapitokustannuksia sekä kunnossapitotyöntekijöiden koulutustasoa. Tulokset on esitetty taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Kaivosten kunnossapidon suorituskykyindeksit (Knights & Oyanader 2001).

Performance Index	Mines	Inferior	Superior	Mean
CLIENT (EFFECTIVENESS) INDICES				
Availability per fleet (%)[2]				
Blasthole drills	6	64 %	89 %	78 %
Shovels	6	68 %	93 %	84 %
Wheel loaders	6	69 %	88 %	78 %
Haul trucks	6	76 %	89 %	83 %
Auxiliary equipment	6	63 %	85 %	79 %
Accident frequency[3]	5	0	8.	4.12
Severity index[3]	5	0	45	15
FINANCIAL INDICES				
Maintenance cost[4] per ton extracted (US$/ton)[5]	5	0.46	0.29	0.36
Maintenance cost as % of mining cost	5	40 %	50 %	44 %
Maintenance cost per equipment (KUS$/equip)[6]	5	4	68	54
Labor cost as % of direct cost of maintenance	5	0	28 %	14 %
Spares & repairables as % of direct cost of maintenance	5	0	49 %	32 %
Contractors as % direct cost of maintenance	5	16 %	99 %	50 %
Overhead as % direct cost of maintenance	5	1	7	4
INTERNAL PROCESS INDICES				
Planned maintenance per fleet (%)[7]				
Blasthole drills	5	11 %	65 %	35 %
Shovels	6	45 %	67 %	56 %
Wheel loaders	6	19 %	71 %	40 %
Haul trucks	5	25 %	58 %	44 %
Auxiliary equipment	5	21 %	66 %	42 %
Scheduled maintenance compliance	3	47 %	91 %	67 %
Maintenance man hours as % production man hours[8]	5	37%	54 %	45 %
Contractor man hours as % production man hours[9]	5	20 %	98 %	56 %
Overtime (%)[10]	5	0	5.3 %	2.5 %
Ratio of supervisors to technicians (span of control)[11]	4	1	1/16	1/
Ratio of maintenance planners to technicians[11]	4	1/10	1/24	1/14
Stores turnover[12]	2	1	1.	1.
Stores service level[12]	3	80 %	100 %	92 %

Taulukko 5. Kaivosten kunnossapidon koulutus- ja kasvutasoindeksit (Knights & Oyana-der 2001).

Learning and Growth				
Training cost as % total maintenance cost[13]	4	0.06 %	0.39 %	0.21 %
Annual training hours per maintenance employee	4	2	7	5
Employees in training as % total employees	4	32 %	100 %	77 %
Training investment per maintenance employee (US$/per-	4	7	87	49
Education status of the maintenance workers:[14]				
University (%)	4	3	24 %	13 %
Technical Professional qualification (%)	4	4	42 %	27 %
Technical training (%)	4	24 %	52 %	40 %
High school (%)	4	13 %	17 %	15 %
Primary school (%)	4	0	17 %	5

Vuonna 1998 James Humphrien teki vastaavanlaisen vertailun, jossa mukana oli 148 globaalia teollisuusyritystä. Yrityksistä 75 % oli Pohjois-Amerikasta, 16 % Aasiasta ja 9 % Euroopasta. Humphrie määritteli tulosten perusteella neljä suorituskykyluokkaa eli parhaat 25 % kuuluivat luokkaan 1 ja huonoimmat 25 % luokkaan 4. Chilen avolouhoksilta saatuja tuloksia on vertailtu taulukossa 6. Humphrien tekemän luokittelun (harmaat solut) mukaisesti.

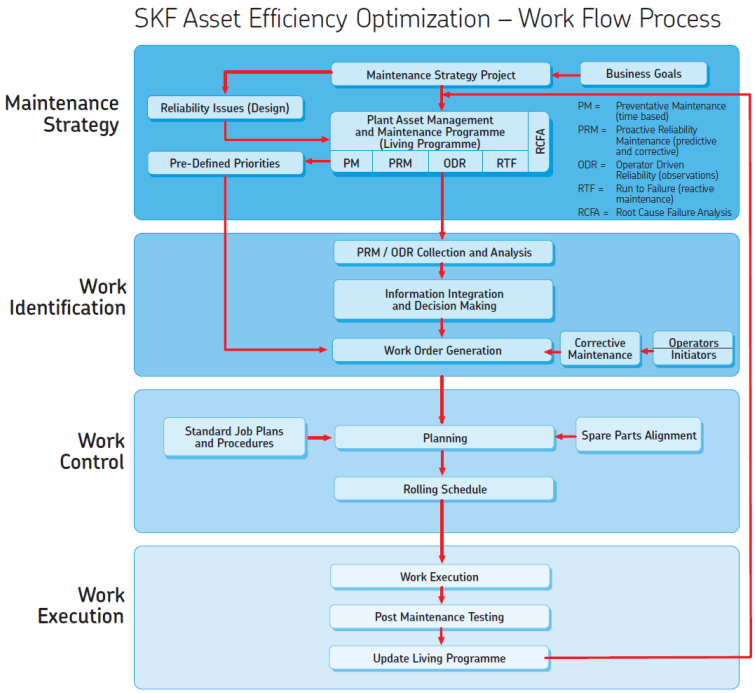
Taulukko 6. Kaivosten kunnossapidon koulutus- ja kasvutasoindeksit (Knights & Oyanader 2001).

Performance Index	Q			
	Fourth	Third	Second	First
CLIENT (EFFECTIVENESS) INDICES				
Availability per fleet (%)				
Blasthole drills	<78%	78-84 (78%)	85-91	>91%
Shovels	<78%	78-84 (84%	85-91	>91%
Wheel loaders	<78%	78-84 (78%)	85-91	>91%
Haul trucks	<78%	78-84 (83%)	85-91	>91%
Auxiliary equipment	<78%	78-84 (79%)	85-91	>91%
Accident frequency				
Severity index				
FINANCIAL INDICES				
Maintenance cost per ton extracted (US$/ton)				
Maintenance cost as % of mining cost				
Maintenance cost per equipment (KUS$/equip)				
Labor cost as % of direct cost of maintenance				
Spares & repairables as % of direct cost of maintenance				
Contractors as % direct cost of maintenance	<8	8-19	20-	>40
Overhead as % direct cost of maintenance				
INTERNAL PROCESS INDICES				
Planned maintenance per fleet (%)				
Blasthole drills	<65%	66-78	79-94	≥95
Shovels	<65%	66-78	79-94	≥95
Wheel loaders	<65%	66-78	79-94	≥95
Haul trucks	<65%	66-78	79-94	≥95
Auxiliary equipment	<65%	66-78	79-94	≥95
Scheduled maintenance compliance	<15	15-35	36-70	>70
Maintenance man hours as % production man hours				
Contractor man hours as % production man hours				
Overtime (%)				
Ratio of supervisors to technicians (span of control)	<1/9	1/9-1/17	1/18-1/40	>1/40
Ratio of maintenance planners to technicians	<1/25	1/25-1/59	1/60-1/80	>1/80
Stores turnover	<0.5	0.5-0.7	0.7-1.2	>1.2 (1.8)
Stores service level	<93	93-96	97-99	>99
LEARNING & GROWTH INDICES				
Training cost as % total maintenance cost				
Annual training hours per maintenance employee	<40	40-69 (55)	70-80	>80
Employees in training as % total employees				
Training investment per maintenance employee (US$/person)				

Tuloksista nähdään, että Chileläiset kaivokset ovat sijoittuneet luokkaan yksi ainoastaan urakoitsijoilla teetettyjen kunnossapitotöiden osuudessa sekä varastonkierrossa. Aikataulutetun kunnossapidon noudattamisessa Chileläiset kaivokset sijoittuvat ryhmään kaksi. Sen sijaan kaikissa muissa kohdissa kaivokset sijoittuvat joko ryhmään kolme tai neljä. Tutkimus osoittaa, että Chileläisillä avolouhokset voisivat parantaa kaluston käytettävyyttä ja laskea kunnossapitokustannuksia kehittämällä kunnossapidon suunnittelua sekä kouluttamalla kunnossapitotyöntekijöitä. (Knights & Oyanader 2001)

3.6.1 Kunnossapidon nykytila-analyysit

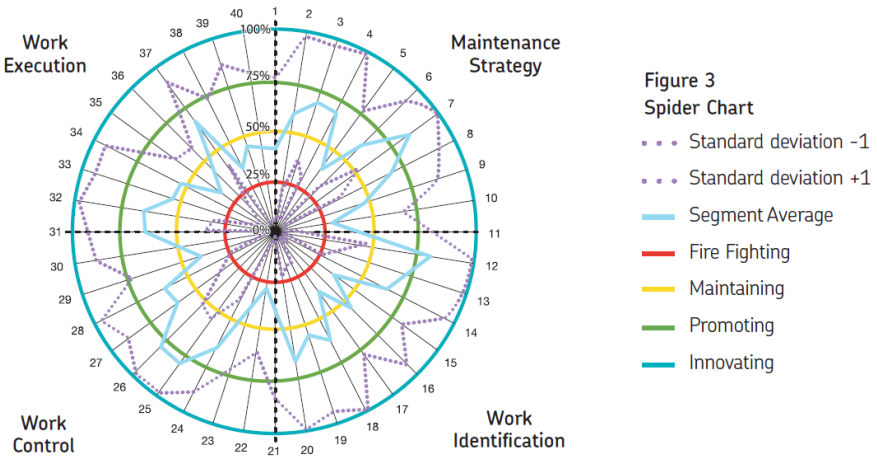
Yksi tapa analysoida kunnossapidon nykytilannetta on SKF Oy:n CNA-analyysi (CNA, Client need Analysis, asiakastarveanalyysi). Asiakkaan tarveanalyysin tarkoituksena on huolellisesti ja järjestelmällisesti selvittää kunnossapidon todellinen nykytilanne ja löytää tehtaan käyttöomaisuuden parantamisen mahdollisuudet. Prosessin vaiheet on esitetty kuvassa 17.



Kuva 17. Cna-analyysi, käyttöomaisuuden tehokkuuden optimointi (SKF 2013).

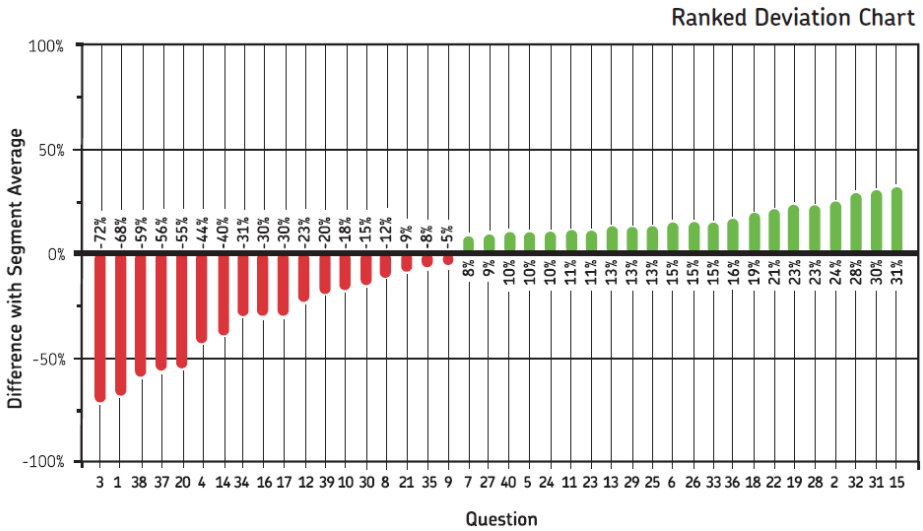
CNA-analyysissa kysytään kymmenen kysymystä neljältä AEO-prosessin (Asset Efficiency Optimization = käyttöomaisuuden tehokkuuden optimointi) pääalueelta: kunnossapidon strategia, töiden tunnistaminen, töiden hallinta ja töiden toimeenpano. (SKF 2013)

Nämä 40 kysymystä tehdään tehtaan kunnossapidon kypsyyden tilanteen määrittämiseksi. Kuvassa 18 on esitetty esimerkki tuloksista ”hämähäkki”-kaaviossa. Kaavio havainnollistaa mikrotason arvioinnin jokaiseen kysymykseen verraten kehitysvaihetta alan yritysten keskiarvoon (sininen pisteviiva). (SKF 2013)



Kuva 18. Vastaukset hämähäkki kaaviossa (SKF 2013).

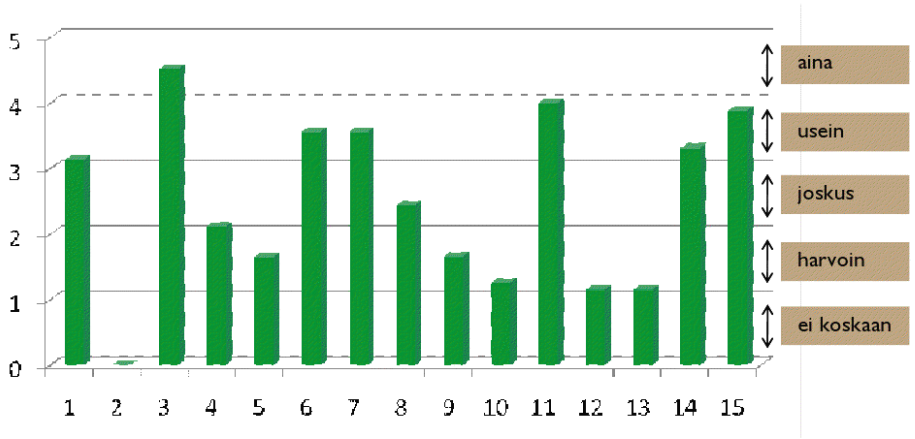
Kuvassa 19 on puolestaan esitetty vastausten näkyvät poikkeamat alan yritysten keskiarvoon verrattuna pareto-kaaviossa.



Kuva 19. Pareto-analyysi kehityskohteista (SKF 2013).

Toinen työkalu kunnossapidon tilanteen analysoimiseksi on SMS Oy:n kehitystarveanalyysi, joka luotaa seuraavia asioita: Työmääräinkäytäntö, työmääräimen tarkkuus, reagoivan kunnossapidon määrä, töiden toteuttaminen, materiaalikäytännöt, asiantuntijoiden saatavuus, osaaminen, materiaalien ja -listojen saatavuus, varaosien ostotietojen saatavuus, töiden raportointi, työajan hallinta, vikaantumisen syiden selvitys, työraporttien informatiivisuus, yleinen järjestys sekä yhteistyö koneiden käyttäjien kanssa

Analyysin tulos ilmoitetaan graafisesti kuvan 20 esimerkin mukaisesti. Kumpikin analyysi on peruskartoitus, jonka avulla analyysiä voidaan tarkentaa ja saada selville kunnossapitoa vaivaavat ongelmat. (Järviö 2008)



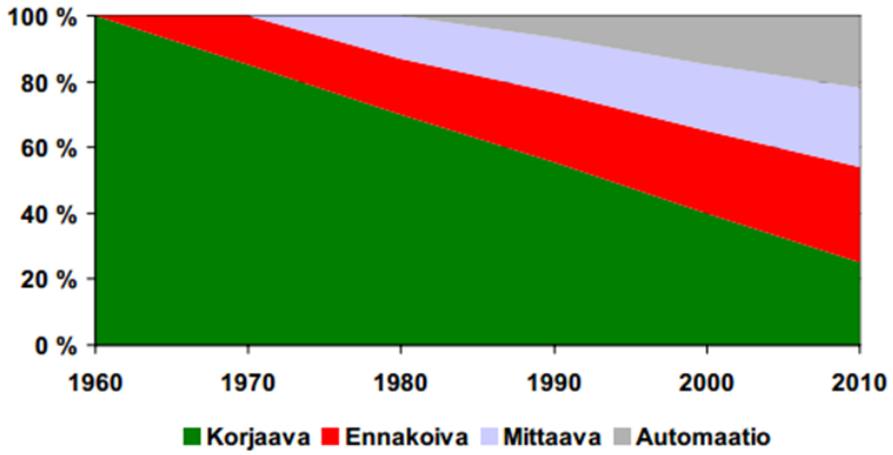
Kuva 20. Kehitystarveanalyysi (Järviö 2008).

Analyysien ja selitysten huolellinen tekeminen on perusvaatimus EH -ohjelman tehokkuudelle (Järviö 2008). Ehkäisevään ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon kuuluu jokaiselle laitteelle erikseen suunniteltuja ja aikataulutettuja mittaus-, tarkastus-, ja huoltotoimenpiteitä. Näiden toimintojen suunnittelussa pitää hyödyntää käytön, kunnossapidon ja kunnonvalvonnan asiantuntemusta sekä laitevalmistajan teknistä ja suunnittelun kautta syntynyttä tietoa. Se millainen kunnossapidon toimintatapa millekin laitteelle on määritetty, perustuu laitoksen koneiden ja laitteiden kriittisyyteen, todennäköisten vikaantumismekanismien tunnistamiseen ja vikaantumismekanismien ehkäisemiseen. Kriittisyysmenetelmiä käytetään kunnossapitosuunnitelmien lähtötietojen tuottamiseen. Kunnossapito-ohjelmassa määritellään, millainen kunnossapidon taso ja toimintatavat ovat kullekin laitteelle tehokkaimpia. Kun vikaantumismallit ja vikojen seuraukset tunnetaan, on mahdollista luoda kunnossapito-ohjelma, jolla mahdollisimman tehokkaasti pidetään laitos kunnossa. (Alen & Kautto 2012)

3.7 Kunnossapidon johtaminen kaivoksilla

Kunnossapidon luonne on muuttunut vuosikymmenten aikana (ks. kuva 21). Vielä 60-luvulla riitti, että korjattiin mekaanisia vikoja silloin kun jotain meni rikki. Sen jälkeen ennakoivan kunnossapidon osuus on kasvanut tasaisesti ja sen osuus kunnossapidosta on nykyisin n. 20–30 %. Mittaava kunnossapito sai alkunsa 70-

luvulla ja automaatio tuli mukaan 80-luvulla. Nykyisin kunnossapidettävät laitteet ovat entistä monimutkaisempia ja niissä on huollettava mekaanisten osien lisäksi sähkö- ja automaatiojärjestelmiä.



Kuva 21. Kunnossapidon toimintataso (Inmet mining 2006).

Kunnossapidon toteutuksessa voidaan havaita erilaisia strategioita eri puolella maailmaa. Pohjoismaissa kaivosteollisuuden pienuus verrattuna esimerkiksi Australiaan tai Kanadaan rajoittaa esimerkiksi kunnossapitopalveluita kaivoksille tarjoavien ulkopuolisten toimijoiden määrää. Tolosen (2009) mukaan Australiassa suositaan ulkopuolisia palveluyrityksiä kun taas pohjoismaissa pitkään toimineissa kaivoksissa kunnossapito mielletään kaivoksen omaksi toiminnaksi. Hänen mukaansa kaivosten kunnossapidon pääpaino on esimerkiksi Kazakstanilaisilla kaivoksilla korjaavassa kunnossapidossa. Ehkäisevän kunnossapidon mukaiset ennakkohuollot suoritetaan laitteiden valmistajien tuntitaulukoiden mukaan. Mittaavaan tai ennustavan kunnossapidon toimenpiteitä ei ole käytössä. Kunnossapidon ohjauksessa käytetään pääosin manuaalisia järjestelmiä ja ensimmäisiä ATK-pohjaisia ratkaisuita ollaan ottamassa käyttöön.

Emery (1998) on tutkinut TPM -mallin soveltamista hiilikaivoksilla. Hänen mukaansa tuottavan kunnossapidon mallin soveltamisesta kaivosteollisuudessa löytyy vain vähän tietoa. Useilla australialaisilla kaivoksilla on sovellettu joitakin TPM -mallin mukaisia tekniikoita vaihtelevalla menestyksellä, mutta TPM -mallin kokonaisvaltaisesta hyödyntämisestä ei löydy mainintoja. Muutamilla Pohjois-

Amerikan kaivoksilla TPM -mallia on hyödynnetty menestyksekkäästi. Emeryn tutkimuksen johtopäätös on, että TPM -mallin avulla ei voida nopeasti korjata suorituskykyä, mutta kuuden kuukauden jälkeen tulosten pitäisi alkaa näkymään. Sen sijaan TPM kulttuurin juurruttaminen koko organisaatioon voi viedä vuosia.

Turvallisuus ja ympäristöasiat ovat nousseet yritysmaailman tärkeimpien arvojen joukkoon. Jos yritykset eivät noudata yhteiskunnan ja ympäristön asettamia vaatimuksia, niiden toiminta loppuu. Kun yritykset automatisoivat prosessejaan, ympäristöön kohdistuvien riskien ja onnettomuuksien määrä kasvaa. Syy löytyy usein prosessin epäluotettavuudesta, jolloin komponentin rikkoontuminen aiheuttaa päästöjä. Turvalaitteen pettäessä prosessin hallinta voi karata käsistä. Kunnossapidon merkitys tuotantoprosessien luotettavan toiminnan suhteen on hyvin merkittävä. (Järviö 2005)

Koneiden ja laitteiden kunnossapito tuottaa jätteitä kuten jäteöljyjä, käytettyjä renkaita, metalliromua sekä likaisia pesuvesiä. Guerin (2002) on tutkinut öljypohjaisia kaivosteollisuuden jätteiden käsittelyä Australialaisella kaivoksella. Tutkimuksen mukaan öljyisiä jätevesiä syntyy yleisimmin kaivoskaluston huoltojen yhteydessä, murskauksessa ja jauhatuksessa, tankkausasemilla, pesuhalleissa sekä koneiden työalueilla. Muita jätteitä ovat jäähdyttimet, öljyiset rätit ja hanskat, öljynsuodattimet sekä öljyjen imeytysturpeet. Kaivosten kunnossapidon ympäristövaikutuksia on kuvattu taulukossa 7.

Taulukko 7. Kaivoksen kunnossapidon ympäristövaikutukset (suomennettu Guerin 2002).

Ympäristönäkökulma	Vaikutus tai mahdollinen vaikutus ympäristöön
Öljypohjaiset hiilivedyt	Pohjavesien likaantuminen
(polttoaineet, moottoriöljyt, hydrauliöljyt	Maaperän ja valumavesien likaantuminen
vaihteistoöljyt, ohjausjärjestelmän öljyt	Haihtumisesta johtuvat ilmansaasteet
öljyiset jätevedet)	
Liuottimet	Ilmansaasteet, pohjavesien likaantuminen
Rasvat	Maaperän likaantuminen
Metallit	Maaperän ja pohjavesien likaantuminen
Pesuaineet	Myrkyllisyys useille vesiorganismeille
Energian käyttö	Luonnonvarojen kestämätön käyttö
Veden käyttö	Luonnonvarojen kestämätön käyttö
	(voi vähentää laadukkaan veden määrää paikallisilta yhteisöiltä)
Likaiset rätit, paperit, hanskat ja tiivisteet	Tuhlaileva käyttö ja hävikki on kestämätöntä
Käytetyt öljysuodattimet, hydrauliikkaletkut,	Kuljetetaan usein kaatopaikalle mikä ei ole kestävää kehitystä.
tyhjät öljy ja rasva-astiat	Öljypohjaiset hiilivedyt voivat aiheuttaa pohjavesien likaantumisen.

Teollisuudessa kunnossapidon osuus liikevaihdosta voi olla vain muutamia prosentteja, mutta hävikkien aiheuttamat tuotantomenetykset jopa 30 %. Bevilaquan ja Braglia (2000) mukaan kunnossapitokustannus voi puolestaan olla 15–70 % tuotantokustannuksista teollisuuden alasta riippuen. Kaivosteollisuudessa kunnossapitokustannusten osuus kaivoksen liikevaihdosta on noin 30 %. Keskisuurella kaivoksella (liikevaihto 145 miljoonaa euroa) käyntiasteen nostaminen viidellä prosenttiyksiköllä lisää liikevaihtoa 7,3 miljoonalla. Kaivoksen tulos paranee siis kyseisellä summalla. (Hakapää & Lappalainen 2009) Toisaalta teollisuudessa yksi kolmasosa kunnossapitokustannuksista on väärin kohdennettu ja se tuhlataan tarpeettomiin kunnossapitotoimiin (Mobley 2002). Ennaltaehkäisevä kunnossapito tuotantolaitteistolle on myös hyvä keino vähentää koneperäisiä laatuvirheitä (Tuominen 2010). Näiden syiden vuoksi kunnossapitotoimintoa tulee lähestyä strategisesti ja systemaattisesti oikeiden päätösten tekemiseksi erityisesti pääomavaltaisilla aloilla kuten kaivosteollisuudessa (Simoens ym. 2011).

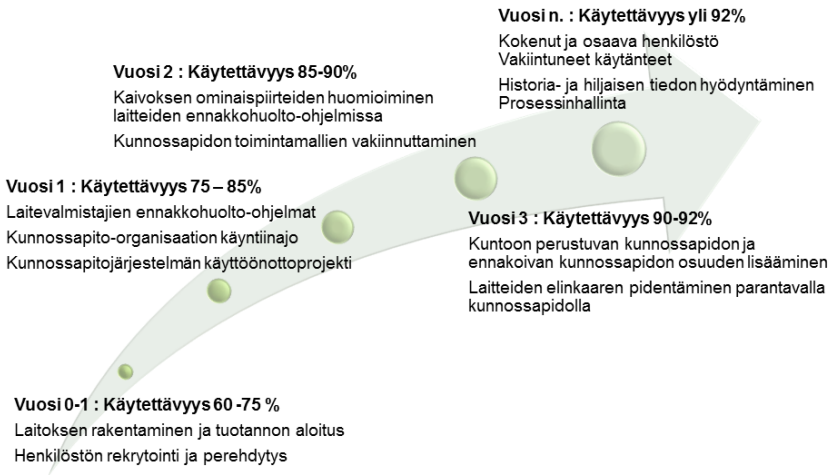
Tolosen (2009) mukaan uutta kaivosta perustettaessa toimivaksi vaihtoehdoksi on osoittautunut hajautettu kunnossapito-organisaatio. Toiminnan alussa luodaan kunnossapitotoiminnalle strategia, joka tukee yrityksen tavoitteita. Kunnossapidon ohjausjärjestelmän käyttöönotto vaatii alussa resursseja kun sinne kerätään sähköiseen muotoon kaikkien laitteiden perustiedot, huolto-ohjelmat, tekniset dokumentit, tärkeysluokitukset, varaosatarpeet sekä tehdasstandardit. Muutamien toimintavuosien jälkeen organisaatioon voidaan tehdä muutoksia

toimintojen tehostamiseksi. Hajautetussa organisaatiossa kunnossapitotoiminnot on liitetty rikastamon ja kaivososaston organisaatioihin. Tämä organisaatiomalli on usein käytössä kun malmivarat ovat loppumassa ja kaivoksen toimintaaika on lyhyt.

4 Kaivoksen elinkaaren huomioiva kunnossapidon toimintamalli aloittaville kaivoksille

Tämä kappaleen tarkoituksena on kuvata kunnossapidon toimintamalli aloittavalle kaivokselle. Toimintamalli on rakennettu siten, että se kuvaa asioita, jotka tulisi ottaa huomioon kaivosprojektin eri vaiheissa. Devico -projektissa on havaittu, että kaivosten tulisi panostaa nykyistä enemmän kunnossapidon suunnitteluun jo kannattavuusselvitys sekä investointi- ja rakentamisvaiheissa. Sen jälkeen tuotannon käynnistäminen sujuu kivuttomammin ja käyttöasteet saadaan nopeammin tavoitetasolle. Projektissa on havaittu, että kaivoksen suunnitteluvaiheessa alhainen investointipääoma (CAPEX) ja suunnitellun prosessin energiatehokkuus ovat projektien vetäjien mielestä tärkeämpiä asioita kuin kunnossapidolliset näkökulmat. Näiden asioiden yhdistäminen vaatiikin kompromisseja ja paljon suunnittelua, jotta paras lopputulos saavutetaan.

Kaikista kunnossapitoon kohdistuvista toimenpiteistä huolimatta, kannattavuus- ja kassavirtalaskelmissa tulee varautua siihen, että ensimmäisinä tuotantovuosina ei vielä saavuteta pitkän tähtäimen tavoitetasoa käyttöasteiden ja saantojen osalta. Tähän voidaan varautua joissakin tapauksissa louhimalla ensimmäisten tuotantovuosien aikana keskimääräistä parempipitoista malmia, jolloin on mahdollista saavuttaa tavoitellut tuotantomäärät pienimmilläkin prosessin käyttöasteilla ja saannoilla. Ensimmäisille tuotantovuosille kannattaa myös varata ylimääräistä käyttö- ja investointipääomaa odottamattomien ongelmien ratkaisemiseksi. Kuvassa 22 on esitetty perinteinen kehityskaari kunnossapidon kehittymisestä aloittavalla kaivoksella ja kuvassa 23. on esitetty toteutuneita lukuja Kittilän kultakaivoksen prosessin saannon kehittymisestä viiden ensimmäisen tuotantovuoden aikana. Niitä ei voi suoraan verrata toisiinsa, mutta kunnossapidon kehittymisellä on välillinen yhteys prosessin kehittymiseen. Ilman ennakoivaa kunnossapitoa prosessia ei kyetä pitämään tasaisena, jonka seurauksena laitehäiriöt, vikaantumiset ja seisokit laskevat saantoa.



Kuva 22. Käyttöasteen kehittyminen aloittavalla kaivoksella.

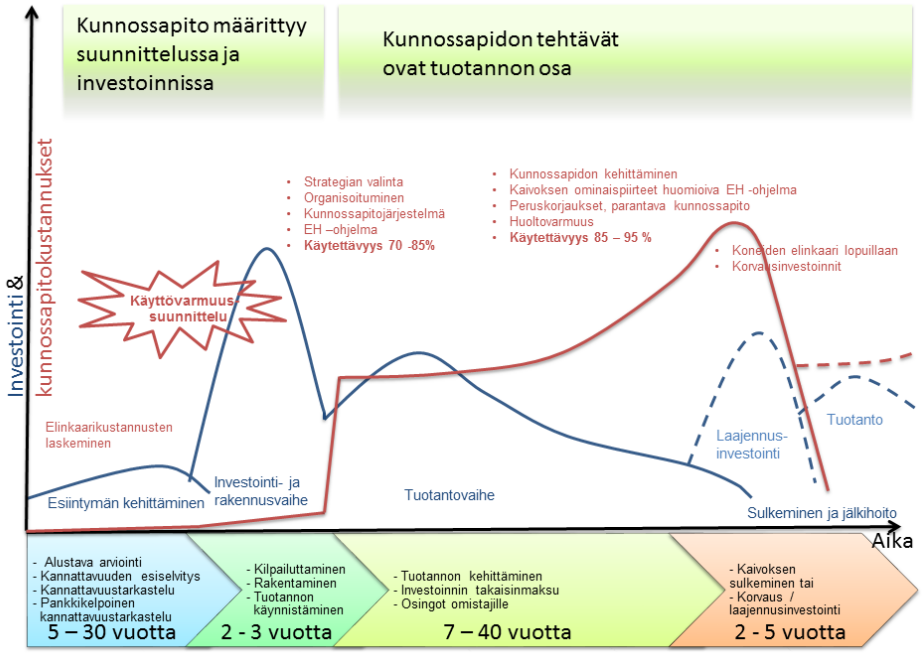
Alla on esitetty vertailu vuoksi toteumadataa Kittilän kaivoksen rikastamon saannon kehittymisestä viiden ensimmäisen tuotantovuoden aikana.

Kuva 23. Rikastamon saanto Kittilän kaivoksella (www.agnicoeagle.com).

Kuvan 23. luvut on saatu Agnico-Eaglen kotisivujen (www.agnicoeagle.com) ”Interactive Analyst Center” palvelusta. Sitä ylläpitää kolmas osapuoli ja Agnigo-Eagle Mines Ltd ei ota vastuuta tietojen tarkkuudesta.

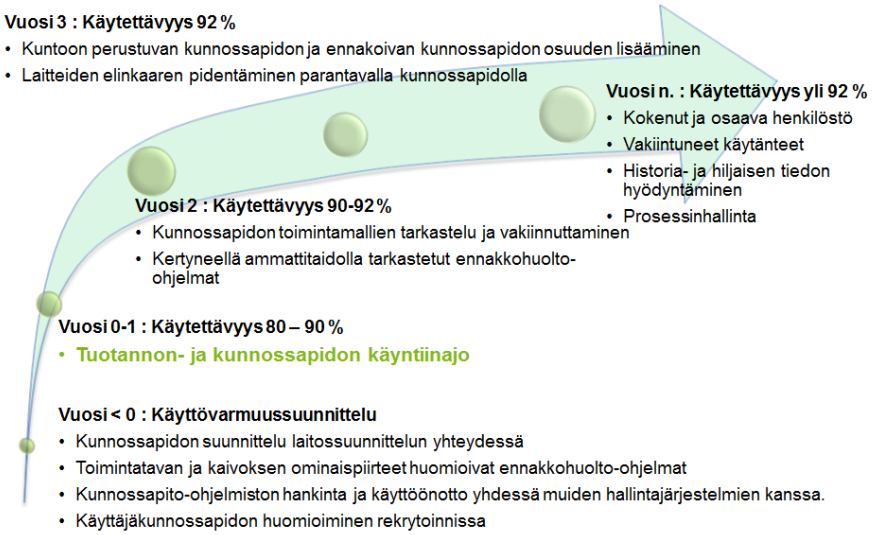
Tuotatoprosessin ja kunnossapidon suunnittelussa ei tavoitella 100 % käytettävyyttä ja saantoa, vaan prosessin luotettavuuden tulee olla ”sopiva ja haluttu”. Rikastettava materiaali, prosessin luonne ja tuotantolaitoksen suunnitteluun käytettävissä olevat resurssit määrittelevät järkevän, tavoiteltavissa olevan maksimaalisen käytettävyystason. Tämän tason ylittäminen on tietenkin haluttua, mutta ylittämisen aiheuttavat kustannukset kasvavat suhteettomiksi. Malmin murskaus- ja rikastusprosessit sisältävät suuria kiven murskaukseen ja jauhatukseen käytettäviä koneita, joidenka kahdentaminen ei ole kustannussyistä järkevää. Tällöin näiden koneiden seisokkihuollot ja kulutusosien vaihdot asettavat käytettävyydelle maksimiarvon. Tätä arvoa laskevat alaspäin ennakoimattomat vikaantumiset, joita on aina jonkin verran.

Toinen korostettava asia on että, kaivosten kunnossapitoa tulee johtaa eri tavalla kaivoksen eri elinkaaren vaiheiden aikana. Kuvassa 24. on kuvattu investointien ja kunnossapidon suhdetta kaivoksen elinkaaren aikana sekä kuvattu keskeisiä kunnossapidollisia toimenpiteitä kaivoksen eri vaiheissa. Johtaminen on keskeinen osa kunnossapidon toimintaa. Kunnossapidon johtaminen lähtee ylimmästä johdosta, jonka tulisi kuvata keskijohdolle yrityksen kunnossapitostrategia sekä kertoa mihin kunnossapidollisiin asioihin milloinkin panostetaan.



Kuva 24. Kunnossapidon johtaminen kaivoksen elinkaaren eri vaiheissa (mukaillen Ojansivu 2012).

Kaivoksen kunnossapito pitää sisällään paljon pieniä asioita, joista kaikkia ei voi ennakoida ja toteuttaa ensimmäisen tuotantovuoden aikana. Tämän toimintamallin periaatteena onkin keskittyä kaikista oleellisimpiin, ns. isoihin kysymyksiin ja panostaa kunnossapitoon jo investointi- ja rakentamisvaiheessa. Pareton periaate pätee myös kunnossapitoon: sen mukaan 20 % vioista aiheuttaa 80 % käyttöasteen menetyksistä. Keskittämällä resurssit keskeisimpiin asioihin saadaan tuotannon aloitukselle hyvät lähtökohdat ja pienempiä asioita voidaan kehittää myöhempinä tuotantovuosina. Käyttöasteen mahdollisimman nopea kehittyminen parantaa merkittävästi aloittavan kaivoksen kassavirtaa. Kuvan 25 mukainen käyttöasteen kehittyminen parantaa 100 miljoonan euron liikevaihtoa tavoittelevan kaivoksen kassavirtaa ensimmäisen 3 vuoden aikana yhteensä 38 miljoonaa euroa verrattuna kuvan 22 mukaiseen käyttöasteen kehittymiseen. (taulukko 8.)



Kuva 25. Käyttöasteen kehittyminen aloittavalla kaivoksella kunnossapidolliset näkökohdat huomioiden.

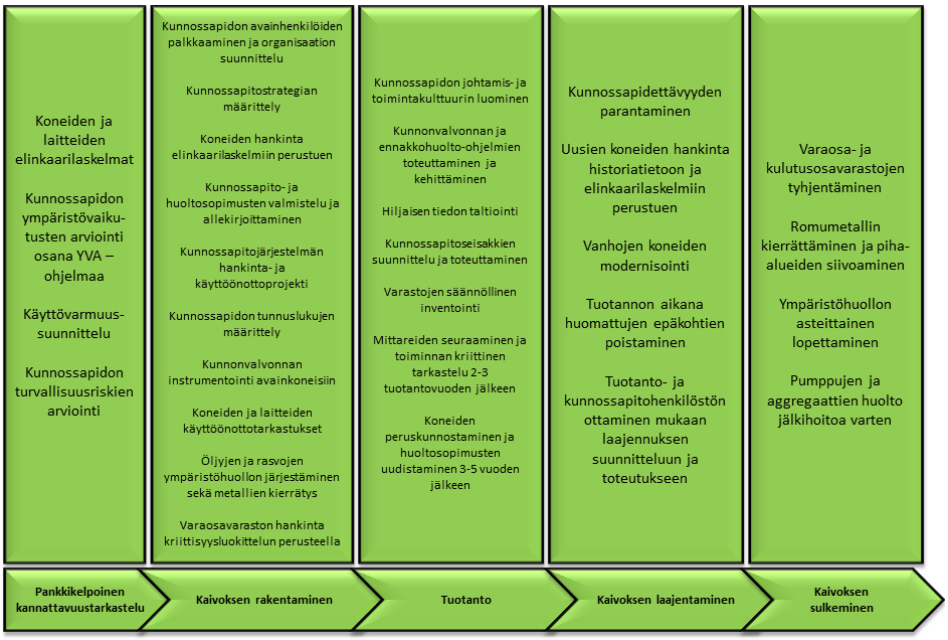
Aikainen panostaminen kunnossapitoon vaatii jonkin verran lisäresursointia, mutta esimerkiksi projektiryhmän kasvattaminen yhdellä tai kahdella kunnossapitoon keskittyvällä henkilöllä lisäisi projektin kustannuksia muutamia satoja tuhansia euroja riippuen suunnittelu- ja rakentamisvaiheen kestosta. Kunnossapitojärjestelmän hankinta sekä käyttöönottoresurssi vuotena -1 maksaa arviolta 100 000 – 200 000 euroa. Mikäli kunnossapitoon panostettaisiin keskikokoisella kaivoksella kaksi miljoonaa euroa ennen tuotannon käynnistymistä, sen takaisinmaksuaika taulukon 8. perusteella olisi vähän yli kuukausi. Kaikki toimintamallissa esitetyt asiat eivät edes vaadi lisäresursseja, vaan ne ratkeaisivat sillä, että asioita mietittäisiin päätöksenteon yhteydessä enemmän kunnossapidon näkökulmasta.

Taulukko 8. Käyttöasteen vaikutus kassavirtaan. Tavoiteltu käyttöaste 92 % ja liikevaihto 100 000 000 €/vuosi.

	toteutunut käyttöaste		toteutunut liikevaihto		vaikutus kassavirtaan	
	kaivos 1	kaivos 2	kaivos 1	kaivos 2	erotus / vuosi	kum. erotus
vuosi 0	60	80	65 217 391 €	86 956 522 €	21 739 130 €	21 739 130 €
vuosi 1	75	85	81 521 739 €	92 391 304 €	10 869 565 €	32 608 696 €
vuosi 2	85	90	92 391 304 €	97 826 087 €	5 434 783 €	38 043 478 €
vuosi 3	90	91	97 826 087 €	98 913 043 €	1 086 957 €	39 130 435 €
vuosi 4	91	92	98 913 043 €	100 000 000 €	1 086 957 €	40 217 391 €
vuosi 5	92	92	100 000 000 €	100 000 000 €	- €	40 217 391 €

Aloittavan kaivoksen tulee luoda toimintamalli, missä tuotannonohjauksen ja kunnossapidon toiminnot ja järjestelmät integroituvat yhdeksi kokonaisuudeksi. Integraatiolla saavutetaan kokonaistehokkaampi tuotanto heti alkuvaiheessa lyhyempien ja suorempien informaatiokanavien vuoksi. Lähtökohtana on se, että datalähteet on integroitu laajemmin ja saatua uutta yhdistettyä datajoukkoa voidaan paremmin käyttää yhteisen informaation luomiseen. Integraation tavoitteena on tuottaa määrättyihin ohjaaviin tunnuslukuihin merkittävästi laadukkaampaa dataa oikea aikaisesti, jotta operatiivisen päätöksenteon informaatio on täsmällistä, luotettavaa ja ohjaa toimintaa kokonaistaloudellisesti. (Siimes ym. 2014)

Projektissa kehitetyn toimintamallin pääperiaate on esitetty kuvassa 26. Siinä on kuvattu tärkeimmät kunnossapidolliset asiat kaivoksen eri vaiheissa otsikkotasolla. Samoja asioita on kuvattu yksityiskohtaisemmin kappaleissa 4.1–4.5



Kuva 26. Kunnossapidon toimintamalli aloittavalla kaivokselle

4.1 Kunnossapito kaivoksen suunnittelu- ja kannattavuusselvitysvaiheessa

Kaivoksen suunnittelu- ja kannattavuusselvitysvaiheessa on suurin mahdollisuus vaikuttaa kunnossapidollisiin asioihin. Vain harvoja asioita on sovittu lopullisesti. Toisaalta tässä vaiheessa projektiin liittyy vielä paljon epävarmuustekijöitä.

Koneiden ja laitteiden elinkaarilaskelmat

Koneiden ja laitteiden kustannukset sekä tuotot tulee laskea kaivoksen suunnitellun elinkaaren ajalle. Jos kaivoksen elinkaari on pitkä, voidaan ainakin osa koneista suunnitella vaihdettavan korvausinvestoinnin kautta uuteen. Koneiden peruskorjaukset ovat hyvä vaihtoehto korvausinvestoinneille.

Kunnossapito muodostaa erittäin merkittävän osan tuotannossa olevan kaivoksen kokonaiskustannuksista. Kustannusten ohella vähintään yhtä merkittävä tekijä ovat laitteiden tai koneiden rikkoontumisesta aiheutuvat tuotantohäiriöt ja -katkokset. Kaivosteollisuudessa kysyntä ja tarjonta säätelevät tuotettavien metallien hintaa, mutta laitoksia pyritään ajamaan tasaisesti vuoden jokaisena päivänä tuotantomäärien maksimoimiseksi ja tuotantokustannusten minimoimiseksi. Tuotantokatkoksen aikana voidaan säästää joissakin kulutusosa- ja kemikaalikuluissa sekä energiakustannuksissa, mutta palkkakulut ja muut kiinteät kulut juoksevat koko ajan. Tämän vuoksi kunnossapitoa tulee kustannusten lisäksi tarkastella tuottonäkökulmasta.

Laitteiden vikaantuminen ei aiheuta aina tuotantoseisokkia vaan seurauksena voi olla myös tuotantohäiriö, joka ilmenee alentuneena prosessin ajonopeutena, epätasaisena käyntinä tai lopputuotteen laatuhäiriönä. Kaivosten asiakkaat eli sulatot ovat määritelleet kaivosten tuottamille rikasteille laatuvaatimuksista. Epäpuhtauksista voidaan sakottaa ja tuote-erä voidaan hylätä epäkuranttina, mikäli se ei täytä laatuvaatimuksia. Näin ollen laitteiden luotettavuuden taloudellinen merkitys kaivoksilla vain kasvaa entisestään.

Koneiden hankintojen suunnittelussa on huomioitava seuraavat asiat:

- Ratkaisevaa ei ole laitteen hankintahinta vaan sen elinkaarikustannus – ”life cycle cost”. Pahin virhe on tilata hankintahinnaltaan edullinen kone, johon ei ole saatavilla varaosia eikä kunnollisia huolto-ohjeita. Hankintahinnan osuus elinkaarikustannuksesta ei välttämättä ole kuin 15 % (koneen hankintahinta 500 000 €, käyttökustannukset 50 000 €/kk ja käyttöikä 5 vuotta). Koneiden energiataloudellisuuden merkitys on korostunut
- Kustannusten ohella vähintään yhtä ratkaisevaa on laitteen luotettavuus ja käytettävyys – ”life cycle profit”. Mikään huoltosopimus ei korvaa vä-

lillisiä tuotannon menetyksiä. Esimerkiksi laiterikon korjaamisesta voi aiheutua 10 000 € kulu, jonka maksaa laitevalmistaja, mutta päivän pituisesta tuotantokatkoksesta aiheutuva välillinen tuotannon menetys on 100 000 € ja se on kokonaan kaivosyhtiön vastuulla.

”Life cycle profit” ja ”life cycle cost” menetelmiä on kuvattu tarkemmin tuottavan kunnossapidon toimintamallissa kappaleessa 3.3.4.

Kunnossapidon ympäristövaikutusten arviointi osana YVA-ohjelmaa

Lukemalla läpi esimerkiksi Raahen, Talvivaaran, Kevitsan tai Kittilän kaivoksen ympäristövaikutusten arviointiohjelmia, voidaan havaita, että sana ”kunnossapito” mainitaan niissä korkeintaan kaksi tai kolme kertaa. Tämä on sinänsä erikoista, koska hyvällä kunnossapidolla voidaan merkittävästi pienentää kaivoksen ympäristövaikutuksia. Kunnossapidon yhteyttä ympäristövaikutuksiin voitaisiin arvioida jo ennen varsinaista YVA-ohjelmaa osana kannattavuusselvityksiä.

Kunnossapidolla todella vaikutetaan ympäristövaikutuksiin: silloin kun prosessit toimivat tasaisesti, päästöt ilmaan sekä vesistöihin ovat pienemmillään. Sen sijaan kemiallisten prosessien ylös- ja alasajovaiheet aiheuttavat epätasapainotilanteita prosesseissa, mikä lisää tuotantolaitosten ympäristökuormitusta. Esimerkiksi Talvivaaran kaivoksella hajuhaittoja on raportoitu erityisesti metallitehtaan alas- ja ylösajovaiheiden aikana. Hajuhaittojen lisääntyminen prosessin ylös- ja alasajovaiheissa on tuttu ilmiö myös paperiteollisuudesta. Kaivoksilla laiterikot voivat pahimmillaan aiheuttaa sen, että koko rikastamo tai tehdas joudutaan ajamaan hallitsemattomasti alas ja prosessivedet joudutaan tyhjentämään esimerkiksi varoaltaisiin. Tällaiset tilanteet voivat aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta luontoon.

Säännöllisillä öljynvaihdoilla ja koneiden huolloilla voidaan vaikuttaa edullisesti esimerkiksi moottoreiden päästöihin ja pidentää koneiden elinkaaria. Kunnossapitotoiminnon vastuulla onkin koneiden öljyjen, rasvojen ja nesteiden ympäristöhuolto. Useat näistä aineista ovat ympäristölle vahingollisia tai jopa myrkyllisiä. Ympäristön kannalta ei siis ole yhden tekevää missä ja miten öljynvaihdot suoritetaan. Koneissa sattuu ajoittain letku- tai moottoririkkoja, jolloin suhteellisen pieniä määriä öljyjä ja nesteitä valuu maahan. Tällöin on ensisijaisen tärkeää huolehtia öljyntorjuntatöistä vaikka määrät olisivatkin pieniä. Koneet likaantuvat

käytössä ja ovat usein rasvaisia sekä öljyisiä. Huoltojen yhteydessä koneet ja laitteet usein pestään, jotta esimerkiksi laakereiden ja hydrauliikan sisälle ei pääsisi pölyä ja likaa. Pesuvedet ovat tämän seurauksena öljyisiä ja sisältävät metalleja joten ne tulee käsitellä asianmukaisesti. Yleisesti ottaen öljyjen ja rasvojen säilytys tulisi hoitaa järjestelmällisesti ja siististi - ei avonaisissa astioissa ympäri pihoja.

Kaivosteollisuuden koneissa käytetään paljon metallisia kulutusosia kuten kaivinkoneen kauhan kynsiä, porakruunuja, murskainten teriä sekä hihnarullia. Niiden kierrättämisestä tulee huolehtia mikä tosin tapahtuu nykyisin lähes automaattisesti ”metalliromun” ollessa rahan arvoista tavaraa. Koneiden ja laitteiden elinkaaren päättyessä ne poistetaan tuotantokäytöstä, jolloin ne voi myydä varaosiksi tai metallien kierrätykseen. Kunnossapito vaikuttaa ympäristöön siis kahdella tavalla: se tuottaa öljy-, rasva ja nestepohjaista jätettä sekä metalliromua, mutta toisaalta se pienentää ympäristövaikutuksia ja ehkäisee ympäristöriskien toteutumista sekä pidentää laitteiden elinkaaria ja parantaa energiatehokkuutta.

Käyttövarmuussuunnittelu

Jotta kunnossapitotoiminnan riittävä taso pystytään määrittelemään ja toteuttamaan, on tuotantoprosessin suunnittelussa ja toteutuksessa onnistuttava hyvin. Tähän onnistumiseen vaikuttaa oma ja ulkopuolelta hankittu osaaminen, sekä laitoksen kunnossapito-organisaation rooli eri tehtävissä. Tarvittavat kunnossapitostrategiat tulee valita ja laitekohtaiset toimenpiteet määritellä laitoksen kunnossapitotoiminnan sisällä. Käyttövarmuussuunnittelun tavoitteena on määritellä millä keinoilla lopullisiin tavoitteisin päästään.

Kaivoksen suunnittelu- ja kannattavuusselvitysvaiheessa määritetään käytettävyys- ja kunnossapidettävyystavoitteet eli luodaan pohja kunnossapidon roolille. Näiden toteutumista arvioidaan kuitenkin vasta tuotantovaiheessa, usein liiketoiminnan asettamien tavoitteiden kautta. Tämä asettaa laitoksen käytölle ja kunnossapidolle haasteita, sillä niiden tehtävä on varmistaa, että asetetut tavoitteet saavutetaan. Sama haaste on myös laitetoimittajalla ja sen huolto-organisaatiolla, jonka tavoitteena on, että asiakas saa tavoittelemansa hyödyn kustannustehokkaasti ja on tyytyväinen hankintaansa. Asetettujen tavoitteiden saavuttaminen tarkoittaa sitä, että laitos toimii suunnitellusti, eikä suunnittelematto-

mia seisokkeja tai tuotantohäiriöitä ilmene. Laitoksen on oltava myös päivitettävissä tuotantotavoitteiden muuttuessa. Täten myös kunnossapidon sekä laite- ja prosessikehityksen tavoitteiden on oltava yhteneviä.

Keinoja käyttövarmuuden parantamiseksi:

- Prosessi- ja layoutsuunnittelu tehdään yhteistyössä kunnossapidon asiantuntijoiden ja laitetoimittajien kanssa
- Erilaisten kulutusosamateriaalien (metallit ja kumit) kestävyys testataan malmiesiintymän eri kivilajeilla (erityisesti murskaus ja jauhatus). Testitulosten pohjalta määritellään, mitä kulutusosamateriaaleja kannattaa käyttää sekä arvioida alustavasti tarvittavien kunnossapitoseisokkien tarvetta. Testauksessa tulee olla mukana henkilö, joka on työskennellyt kenttäolosuhteissa ja nähnyt kulumiseen vaikuttavat tekijät. Laitetoimittajat antavat vuorausasioihin suosituksia ja käyttöaikatakuita. Takuut ja hinta ovat ratkaisevassa osassa valintaa suoritettaessa. Ensimmäiseen kulutuskertaan on investointikuluihin vedoten perusteltavissa valita edullisempi vaihtoehto, ja sitten myöhemmin valitaan kalliimmat vaihtoehdot.
- Kriittisille pumpuille on oltava aina varapumput. Näihin varapumpun omaaviin pumppuihin, kuten lietepumppujen kunnonvalvontaan ei kannata käyttää aikaa, koska ne eivät vikaantuessaan pysäytä tuotantoa.

Käyttövarmuussuunnitelua jatketaan rakentamisvaiheessa suunnittelmien tarkentuessa, mutta se pitää aloittaa jo varhaisessa vaiheessa suunnittelua ja vertailtaessa eri prosessivaihtoehtoja.

<u>Kunnossapidon turvallisuusriskien arviointi</u>

Suuri osa kaivoksilla tapahtuvista sairaspoissaoloon johtavista tapaturmista on pieniä, esimerkiksi käsiin kohdistuvia ruhjeita. Kunnossapito- ja huoltotoimenpiteiden yhteydessä tulee helposti puristumisia, viiltohaavoja ja ruhjeita otteiden livetessä. Vahinkojen välttämiseksi tulee työntekijöille määrittää suojainmatriisit erilaisia työtehtäviä varten. Esimerkiksi viiltosuojahanskoilla voidaan estää edullisesti sairauspoissaoloihin johtavia tapaturmia. Työntekijöillä on oltava myös käytössään kunnolliset työkalut. Monet tapaturmat ovat myös seurausta välinpi-

tämättömästä asenteesta sekä työntekijöiden, että esimiesten osalta. Kunnossapidon työturvallisuusriskien arviointi kaivoksen suunnitteluvaiheessa auttaa tunnistamaan riskejä sekä luomaan työturvallisuutta edistävää toimintakulttuuria alusta alkaen.

4.2 Kunnossapito kaivoksen rakentamisvaiheessa

Rakentamisvaihe on kaivoksen elinkaaren huomioiden lyhyt, mutta sitäkin tärkeämpi. Rakentamisvaiheessa voidaan vaikuttaa merkittävästi kunnossapidettävyyteen, kunnossapitokustannuksiin sekä tuotannon käynnistymisen onnistumiseen.

Kunnossapidon avainhenkilöiden palkkaaminen ja organisaation suunnittelu

Rakentamisvaiheessa ei periaatteessa tarvita kunnossapitohenkilöstöä, mutta muutamien kunnossapidon avainhenkilöiden palkkaaminen viimeistään tässä vaiheessa kannattaa tehdä. Kunnossapidon toteutuksen suunnittelu voidaan silloin aloittaa ennen tuotannon käynnistymistä, mikä mahdollistaa ennakoivan kunnossapidon toimintamallin toteuttamisen heti tuotantolaitoksen käynnistyttyä. On parempi, että kunnossapito on askeleen edellä tuotantoa, kuin että se olisi koko ajan askeleen jäljessä. Tuotannon käynnistyessä voidaan tulipalojen sammuttamisen sijaan toteuttaa ennakoivaa kunnossapitoa.

Ensimmäisiä palkattavia henkilöitä voi olla kunnossapitopäällikkö, joka määrittelee käytettävän kunnossapitostrategian yhdessä muun johdon kanssa, osallistuu laitteiden hankintapäätöksiin, valmistelee ja sopii kunnossapidon ulkoistusta koskevia sopimuksia sekä palkkaa ympärilleen osaavan ydinjoukon. Kunnossapitosuunnittelija voi puolestaan aloittaa ennakkohuolto- ja seisokkisuunnittelun sekä vastata kunnossapitojärjestelmän käyttöönotosta. Kunnossapito-osaamista kannattaa hankkia eri osa-alueille kun mekaaniseen kunnossapitoon sekä sähkö- ja automaatiokunnossapitoon. Jälkimmäisten olisi tärkeää olla mukana tekemässä tehtaan sähköistystä ja automaatioasennuksia rakennusvaiheessa. Eräällä kaivoksella sanottiin, että ensimmäisenä aloittavalle kaivokselle pitäisi palkata kokenut voiteluinsinööri.

Kaivosteollisuudella on pitkät perinteet ja se on melko konservatiivinen ala. Sen takia uudenlaisten organisaatiomallien käyttöönotto on ollut hidasta. Suomessa

muutama pitkää toimineet kaivokset toimivat käynnissäpidon periaatteiden mukaisesti ja organisaatiomallit tukevat käyttäjäkunnossapitoa.

Organisaatiomalliin vaikuttaa etenkin se, kuinka suuri osa kunnossapidosta ulkoistetaan. Karkea jako organisaatiomallien suhteen on valita joko hajautettu tai keskitetty kunnossapito-organisaatio. Uutta kaivosta perustettaessa on toimivaksi vaihtoehdoksi havaittu hajautettu kunnossapito-organisaatio. Ammattitaitoisen kunnossapitohenkilöstön rekrytoiminen voi olla syrjäisillä ja pienillä paikkakunnilla haasteellista, mutta siihen kannattaa panostaa.

Kunnossapitostrategian määrittely

Kunnossapidon johtamisessa on huomioitava kaivoksen koko sekä sen elinkaaren vaihe. Kaivoksen ensimmäisinä tuotantovuosina ei saavuteta yhtä korkeaa käytettävyysastetta kuin kaivoksilla, jotka ovat voineet kehittää toimintaansa vuosikymmenten aikana. Perusvarma ratkaisu on tehdä laitevalmistajien kanssa yhteistyötä ja noudattaa laitevalmistajien laatimia huolto-ohjelmia. Koska kaivoksen ja kaivosyhtiön koko vaikuttaa erityisesti käytettävissä oleviin kunnossapitoresursseihin, on liitteessä 2 arvioitu eri kunnossapitostrategioiden vahvuuksia ja heikkouksia suhteessa kaivoksen kokoon.

Nykyisin kaikilta suurilta kaivosalan laitevalmistajilta löytyy valmiit ennakkohuolto-ohjelmat koneille ja laitteille. Aloittavan kaivoksen on helpointa lähteä liikkeelle näiden huolto-ohjelmien avulla. Laitevalmistajien ennakkohuolto-ohjelmat on kuitenkin määritelty jonkun referenssikaivoksen ominaispiirteiden mukaan ja ne on usein ylimitoitettu. Ylimitoittamisesta on hyötyä laitevalmistajille, koska tällöin niiden riski takuukysymyksissä pienenee ja varaosamyynti kasvaa. Toisaalta kaivoksen kiven ominaisuuksien (kovuus, kuluttavuus) tai sääolosuhteiden (kylmyys, kosteus) takia ennakkohuolto-ohjelma voi olla myös alimitoitettu. Tämän vuoksi kaivoksen tulisikin pyrkiä räätälöimään ja optimoimaan ennakkohuolto-ohjelmat sellaisiksi, että ne ottavat juuri sen kaivoksen ominaispiirteet ja paikalliset olosuhteet huomioon. RCM ja TPM -strategioista löytyy paljon työkaluja tähän tarkoitukseen.

Käytettävyyden nostamiseksi maailmanluokan tasolle kaivosten tulisi ottaa käyttöön kuntoon perustuvia kunnossapitomenetelmiä. Ne vaativat investointeja sekä osaamista ja resursseja, mutta niiden avulla kannattaa valvoa ainakin kai-

voksen kriittisimpiä koneita. Tällä tavoin avainkoneiden ennustettavuus ja käyttövarmuus paranevat ja sitä kautta koko kaivoksen tuotantoprosessin käyttöastetta saadaan nostettua ylöspäin.

Koneiden hankinta elinkaarilaskelmiin perustuen

Lopullinen päätös koneiden ja laittein hankinnasta tehdään kaivoksen rakentamisvaiheen aikana. Alustavat hankintahinnat ja käyttökustannukset tulee olla määriteltynä jo kannattavuusselvitysvaiheessa (kappale 4.1). Rakentamisvaiheessa hankinnat kilpailutetaan tarvittaessa uudelleen tai järjestetään sopimusneuvottelut parhaimmat tarjoukset antaneiden toimittajien kanssa. Hankinnan yhteydessä on päätettävä myös siitä, miten koneiden kunnossapito toteutetaan. Tämän vuoksi kunnossapitopäällikkö tulee ottaa mukaan hankintaprosessiin. Halvin hankintahinta ei ole paras, vaan hankintaa tehtäessä on tarkasteltava koneen elinkaarikustannuksia ja -tuottoja. Suurimmat kustannukset ja ongelmat syntyvät ennakoimattomista huolloista!

Kunnossapito- ja huoltosopimusten valmistelu ja allekirjoittaminen

Koneiden hankinnan yhteydessä tulee päättää myös niiden kunnossapidon toteutuksesta eli huolletaanko koneet itse vai ulkoistetaanko koneiden huolto Ratkaisu voi olla myös yhdistelmä omaa ja ulkoistettua kunnossapitoa. Kunnossapidon ulkoistaminen on lisännyt suosiotaan kaivosteollisuudessa viime vuosikymmenten aikana. Suurin hyötyjä tästä trendistä ovat olleet alan laitevalmistajat, jotka ovat kasvaneet laitevalmistajista palveluyrityksiksi. Kunnossapidon ulkoistaminen laitevalmistajille tai kolmansille osapuolille ei kuitenkaan ole ongelmatonta. Sopimustekniset asiat ja erilaiset organisaatiokulttuurit aiheuttavat ristiriitoja sekä raja-aitoja. Laitevalmistajien etu on että tuntevat laitteensa ja niillä on käytössään laaja teknisen tuen verkosto sekä globaalit varaosapalvelut.

Suomeen on keskittynyt paljon globaalia kaivosteollisuuden laitevalmistusta. Sandvik Mining and Constuction Oy, Metso Oyj, Normet Oy ja Outotec Oyj toimittavat kaivosteollisuuden laitteita ja koneita joka puolelle maailmaa ja ne ovat kansainvälisesti arvostettuja yrityksiä. Laitevalmistajat eivät kuitenkaan enää tänä päivänä myy pelkästään koneita vaan ”after sales” ja huoltoliiketoiminnan osuus liikevaihdosta kasvaa koko ajan. Laitekauppaan liittyy usein keskeisenä osana pitkäaikainen huoltosopimus. Laitevalmistajilla on yleensä paras tieto siitä miten laitteita tulisi huoltaa, jotta niiden elinkaari olisi mahdollisimman pitkä.

Uudet koneet ovat yhä pidemmälle sähköistettyjä, automatisoituja ja väyläohjattuja, mikä kasvattaa kunnossapidon osaamistarvetta. Sähkö- tai väylävian löytäminen on vaikeampaa kuin vuotavan öljyletkun paikallistaminen. Automaatio on tuonut tuotantoon lisää tehokkuutta ja se on tehnyt työstä kevyempää, mutta automatisoitujen koneiden huoltaminen vaatii uudenlaista osaamista.

Palveluliiketoiminnassa on menty jopa niin pitkälle, että asiakas ei enää osa laitevalmistajalta konetta, vaan esimerkiksi tuotettuja tonneja tai konetunteja. Tällöin riski kunnossapidon ja huollon aiheuttamista seisokeista siirtyy osaksi kaivosyhtiöltä laitevalmistajalle. Toinen etu kaivosyhtiölle on pienentynyt käyttöpääoman tarve. Lue esimerkit kappaleesta 4.6.

Kunnossapidon ulkoistaminen kannattaa useissa tapauksissa, mutta sopimusteknisissä asioissa on oltava erittäin huolellinen. Laitevalmistajat ovat kehittäneet kilpailukykyisiä toimintamalleja, joissa kaivosyhtiö ja laitevalmistaja voivat saavuttaa win-win tilanteita. Kunnossapitopalveluita tarjoaville yrityksille on kysyntää erityisesti kausi- ja resurssivaihtelua sisältävissä töissä kuten seisokkihuolloissa. Tärkeimpiä asioita kunnossapidon ulkoistuksessa:

- Huoltosopimuksen kannattaa tehdä huolellisesti. Vastuut ja velvoitteet on kirjattava mahdollisimman selkeästi, mutta toisaalta on vältettävä sopimusteknisten raja-aitojen rakentamista, jotka vaikeuttavat käytännön toimintaa. Riitatilanteissa suullisesti sovitut asiat eivät päde vaan silloin luetaan kirjallisia sopimuksia.
- Käynnissäpidon periaatteen toteuttaminen on vaikea sellaisessa tapauksessa, jossa merkittävä osa kunnossapidosta on ulkoistettu, mutta kaivoksella on oma käyttöhenkilöstö.
- Huollosta voi vastata kaivosyhtiön ja laitetoimittajan lisäksi myös jokin huoltotoimintaan keskittynyt kolmannen osapuolen yritys. Suomessa on muutamia teollisuuden kunnossapitoon keskittyneitä yrityksiä.
- Takuuvastuut on muistettava huomioida. Joissakin tapauksissa tuotetakuu raukeaa jos koneessa ei käytetä OEM -varaosia tai jos huollon tekee joku muu kuin laitevalmistaja.

Kunnossapitojärjestelmän hankinta- ja käyttöönottoprojekti

Kunnossapitojärjestelmän hankintaprosessi käynnistetään valitettavan usein vasta siinä vaiheessa kun ensimmäisiä koneita pitäisi huoltaa. Silloin ollaan kuitenkin vähintään puoli vuotta myöhässä. Kunnossapitojärjestelmän hankinta ja käyttöönotto kannattaa sen sijaan tehdä jo kaivoksen rakentamisvaiheessa. Tällä tavoin sitä voidaan käyttää silloin kun sitä ensimmäisen kerran tarvitaan ja kunnossapidon historiatietoa voidaan kerätä alusta saakka.

Kunnossapitovalmiuksien luomisessa kunnossapidon tietojärjestelmä on muutoinkin keskeisessä ja tärkeässä roolissa. Kunnossapidon tietojärjestelmään luodaan mm. laitehierarkiat, laitetiedot, varaosatiedot, ennakkohuoltosuunnitelmat ja –työmääräimet sekä työohjeet. Kunnossapidon tietojärjestelmän käyttöönotossa luodaan lisäksi käytänteet häiriöiden ja vikojen ilmoittamiseen sekä kunnossapitotöiden hallintaan aina työnsuunnittelusta töiden ilmoittamiseen ja niiden valmistumiseen asti. (Siimes ym. 2014)

Kunnossapidon tietojärjestelmän käyttöönoton ja kunnossapitovalmiuksien luomisen kannalta on tärkeää, että kaivoksen tuotannon käynnistyessä kunnossapidon kannalta tärkeimmät toiminnot on suunniteltu ja niiden vaatimat toiminnallisuudet määritelty kunnossapidon tietojärjestelmään. Tuotannon käynnistämisen jälkeen voidaan kunnossapitovalmiuksia ja tietojärjestelmää kehittää edelleen sekä laajentaa sen toiminnallisuuksia. Yleensä kunnossapidon tietojärjestelmien käyttö muotoutuu kuitenkin samankaltaiseksi mitä sen käyttöönottovaiheessa on määritelty, toisin sanoen tietojärjestelmästä käytetään edelleenkin vain välttämättömimpiä toimintoja tukemaan töidenhallintaa. Tyypilliset markkinoilla olevien kunnossapidon tietojärjestelmien toiminnallisuuden ovat laajoja ja ne on suunniteltu sopimaan monille toimialoille sekä täyttämään monet toiminnalliset vaatimukset. Siitä huolimatta laajoissakin järjestelmissä käytetään yleensä vain perustoimintoja kunnossapitotöiden hallintaan. (Siimes ym. 2014)

Laajojen kunnossapidon tietojärjestelmien miinuspuolena on hinta, raskas käyttöönottoprosessi sekä monimutkainen käytettävyys. Näistä johtuen aloittavien kaivoksien osalta olisi hyödyllistä valita sellainen kunnossapidon tietojärjestelmä, joka sisältää vain tärkeimmät toiminnallisuudet ja jonka käyttöönotto sujuu kevyesti. Vain tärkeimmät toiminnallisuuden sisältävä kevyt kunnossapidon tietojärjestelmä helpottaa sen käyttöönottoa ja täten kunnossapitovalmiuksien

luomista jo muutenkin kiireisessä kaivoksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa. (Siimes 2014)

Kunnossapitovalmiuksien kannalta vain tärkeimmät toiminnot sisältävä kevyt tietojärjestelmä myös opastaa automaattisesti tietojärjestelmän käyttöönottovaiheessa ajamaan ylös juuri tärkeimmät toiminnallisuudet järjestelmästä. Näiden lisäksi myös kevyen järjestelmän hinta on todennäköisesti monin verroin halvempi verrattuna laajaan järjestelmään. Ostohinnan lisäksi säästöä syntyy myös halvempien käyttöönottokustannusten myötä. Suurimpana etuna on kuitenkin se, että kevyt järjestelmä on helpompi ottaa käyttöön jo kaivoksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa, ja tätä kautta tärkeimmät kunnossapitovalmiudet saadaan ajettua ylös ennen tuotannon käynnistämistä. (Siimes ym. 2014)

Kunnossapitojärjestelmän hankinnassa on huomioitava seuraavia asioita:

- Markkinoilla on tarjolla useita kunnossapitojärjestelmiä, joista useimmat on saatavilla myös suomenkielisinä. Yleisesti käytettyjä teollisuuden kunnossapitojärjestelmiä ovat esimerkiksi IBM Maximo, Arrow Maint ja Artturi
- Ohjelmiston helppokäyttöisyys, erityisesti käyttöönottoprojektin hallittavuus on tärkeää.
- Kunnossapitojärjestelmään pitää rakentaa kaivoskohtaiset laiterakenteet, niin sanottu master data. Työ kannattaa tehdä kerralla kunnolla ja käyttää siihen sellaisia resursseja, joilla on aikaisempaa kokemusta kunnossapitojärjestelmistä ja kaivostoiminnasta.
- Laiterakenteissa ja varaosissa kannattaa käyttää kaivoksen omaa ja yhtenäistä numeroimistapaa. Laitevalmistajien ja varaosatoimittajien numeroita ei kannatta käyttää, koska kaikilla toimittajilla on oma tapansa numeroida nimikkeet ja niitä käyttämällä kokonaisuudesta tulee hajanainen. Excel-pohjainen vastaavuustaulukko voi auttaa hallitsemaan omia ja toimittajien nimikkeitä.
- Kunnossapitojärjestelmät ovat yleensä modulaarisia ja muokattavia jolloin asiakas voi sanoa mitä toimintoja hän tarvitsee.

<u>Kunnossapidon tunnuslukujen määrittely</u>

Samalla kun kunnossapidon tietojärjestelmää ja tätä kautta kunnossapitovalmiuksia valmitellaan kaivoksen suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa, tulisi myös

kiinnittää huomiota tunnuslukuihin, joilla kunnossapitotoimintaa seurataan ja kehitetään. Samoin kuin on tärkeää, että kunnossapitovalmiudet on luotu ennen tuotannon käynnistämistä, on myös tärkeää, että kunnossapitotoiminnassa onnistumista voidaan seurata heti tuotannon alkuvaiheessa ja täten tarvittaessa puuttua epäkohtiin. Toiminnan ohjaamisessa käytettävät tunnusluvut tulisi määritellä huolella siten, että ne kuvaavat mahdollisimman luotettavasti ja lahjomattomasti määriteltyjen tavoitteiden saavuttamista. (Siimes ym. 2014)

Tunnusluvut tulisi määrittää jo ennen kunnossapidon tietojärjestelmän käyttöönottoa. Tietojärjestelmän käyttöönotossa määritellään yleensä myös käytänteet tiedon keräämiseen eli missä vaiheessa töidenhallinnan prosessia kerätään mitäkin tietoja ja missä muodossa. Tämän tiedonkeruusuunnitelman tulisi olla sellainen, että määriteltyjen tunnuslukujen tuottamiseen saadaan kerättyä juuri oikeat tiedot, oikeassa muodossa ja luotettavasti. (Siimes ym. 2014)

Valittujen tunnuslukujen perusteella seurataan ja ohjataan kunnossapitotoimintoja. Tällöin on tärkeää, että tunnusluvut on valittu parhaiten kuvaamaan toimintoja sekä määriteltyjen tavoitteiden saavuttamista. Vaikka tunnusluvut olisikin valittu oikein, täytyy niihin voida myös luottaa. Toisin sanoen tiedot, joihin tunnusluvut perustuvat, täytyy olla luotettavia. Tämä tulee huomioida jokapäiväisessä tiedonkeruussa siten, että eteenkin tunnuslukujen muodostamiseen tarvittavat tiedot on tunnistettu ja ne kerätään luotettavasti ja sovitussa muodossa. Tämän vuoksi on tärkeää, että tiedonkeruuta seurataan ja tarvittaessa kehitetään, jotta tunnusluvut saadaan tuotettua luotettavasti toiminnanohjauksen tarpeisiin. (Siimes ym. 2014)

Tiedonkeruun lisäksi tulisi seurata myös tunnuslukujen toimivuutta. Kuvaavatko ne riittävän hyvin määriteltyjen tavoitteiden saavuttamista? Ovatko tavoitteet muuttuneet tuotannon käynnistämisvaiheen jälkeen? Onko tullut uusia tavoitteita? Onko organisaatio tai sen tehtävät muuttuneet? Tunnuslukujen muuttamisen tai uusien tunnuslukujen luomisen jälkeen tulee tehdä myös tarvittavat muutokset tiedonkeruusuunnitelmaan sekä jalkauttaa uusi suunnitelma käyttöön. Tunnuslukujen valinta ja sen vaatima tiedonkeruusuunnitelma ei ole kertaluontoinen tehtävä vaan jatkuva prosessi, jota tulee seurata ja kehittää kaivoksen elinkaaren aikana. Silti on tärkeää, että oleellisimmat tunnusluvut on valittu ja niiden vaatima tiedonkeruu jalkautettu käytäntöön ennen aloittavan kaivok-

sen tuotannon käynnistämistä. Myöhemmin valittuja tunnuslukuja voidaan kehittää edelleen sekä muuttaa tiedonkeruusuunnitelmaa sen mukaan. (Siimes ym. 2014)

Toiminnan tason ja sen kehityksen seuraamiseksi kannattaa seurata muutamia tunnuslukuja. Alla on esitetty hyväksi havaittuja kunnossapidon tunnuslukuja, joita seurataan viikko- tai kuukausitasolla:

- TOP 10 viat
- kuukausiraporteista kustannukset kustannuspaikoittain
- rikastamon käyntiaste (%) ja rikastamon saanto
- Kustannusten jakautuminen osasto/laiteluokkiin,
- Työlajit kuukausittain %:na kustannuksista.

Kunnonvalvonnan instrumentointi avainkoneisiin

Kunnonvalvontajärjestelmät auttavat ennakoimaan koneisiin tulevia vikoja. Ne helpottavat kunnossapidon aikataulutusta, vähentävät ennakoimattomia seisokkeja ja voivat estää isompien vaurioiden syntymisen. Kunnonvalvontasovelluksia on kehitetty erityisesti laakereiden ja pyörivien osien valvomiseksi. Kaivoksilla yleisimpiä kunnonvalvontakohteita ovat murskien ja jauhinmyllyjen akselit ja laakerit sekä kuljettimet, tuulettimet ja pumput. Kannettavat kunnonvalvontalaitteet ovat kiinteitä kunnonvalvontajärjestelmiä edullisempia ja soveltuvat useisiin käyttökohteisiin.

Pienempien kohteiden kunnonvalvontaa kannattaa harkita tapauskohtaisesti ja läheskään kaikkia koneita ja vikoja ei voi eikä kannata valvoa mittaamalla. Instrumentoimalla kunnonvalvonta koneisiin ennen tuotannon käynnistämistä voidaan kuntodataa kerätä heti alusta saakka, mikä helpottaa mittaustulosten tulkintaa ja valmistusvirheet voidaan erottaa käytöstä johtuvista rikkoontumisista.

Koneiden ja laitteiden käyttöönottotarkastukset

Ennen uusien tai käytettynä ostettujen koneiden käyttöönottoa tulee varmistaa niiden turvallisuus. Koneiden ja laitteiden käyttöönottoa säätelee työturvallisuuslaki sekä laki teknisten laitteiden vaatimuksenmukaisuudesta. Työturvallisuuslain mukaan ”Kone, työväline tai muu laite, jonka asennus tai asennus- tai käyttöolosuhteet vaikuttavat turvallisuuteen, on tarkastettava oikean asennuk-

sen ja turvallisen toimintakunnon varmistamiseksi ennen ensimmäistä käyttöönottoa samoin kuin uuteen paikkaan asentamisen tai turvallisuuden kannalta merkittävien muutostöiden jälkeen (*käyttöönottotarkastus*). Tarkastus on lisäksi suoritettava käyttöönoton jälkeen säännöllisin väliajoin ja tarvittaessa myös poikkeuksellisen tilanteen jälkeen koneen, työvälineen tai muun laitteen toimintakunnon varmistamiseksi (*määräaikaistarkastus*)." (Finlex 2002)

Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta puolestaan vaatii, että: "Valmistajan tulee suunnitella ja valmistaa tekninen laite rakenteiltaan, varusteiltaan ja muilta ominaisuuksiltaan sellaiseksi, että se soveltuu tarkoitettuun käyttöön eikä tällaisessa käytössä aiheuta tapaturman vaaraa eikä terveyden haittaa. Jos tapaturman vaaraa tai terveyden haittaa ei voida muutoin riittävästi poistaa, on valmistuksessa käytettävä tarkoituksenmukaisia suojaustoimenpiteitä. Vaaroista ja haitoista on varoitettava tehokkaasti. Henkilönsuojaimen on oltava tehokas niitä vaaroja vastaan, joilta suojaamaan se on tarkoitettu." (Finlex 2005)

Lisäksi markkinoille luovutetun teknisen laitteen edelleen luovuttajan on varmistettava, että laite on turvallisuuden kannalta siten vaatimustenmukainen kuin se oli markkinoille luovutettaessa. Lisäksi tulee varmistaa, että asianmukaiset suomen- ja ruotsinkieliset ohjeet ovat laitteen mukana. (Finlex 2005)

Kaikkien koneiden huolto-ohjeet ja tekniset manuaalit tulee tallentaa alusta alkaen järjestelmällisesti samaan paikkaan. Ennen käyttöönottoa laitteelle kannattaa tehdä mahdolliset vastaanottotarkastukset ja -mittaukset myös kunnossapitoa ja takuuvastuita silmällä pitäen. Laite voi olla viallinen tehtaalta tullessaan. Viat, joita ei huomata koneen vastaanottovaiheessa hankaloittavat laitokset ylösajoa.

Mikäli laitteita ei asenneta heti toimituksen jälkeen paikoilleen, kannattaa ne varastoida asianmukaisesti siten, että laitteisiin ei tule kolhuja, ne eivät pääse taipumaan eikä korroosio pääse vaikuttamaan niihin. Varastopaikoista kannattaa pitää kirjaa heti alusta alkaen ja pihalle varastoitaessa on muistettava että lumi voi peittää ne. Kaivosta rakennettaessa isoja laitetoimituksia varten kannattaa varata omat varastointialueet.

Öljyjen ja rasvojen ympäristöhuollon järjestäminen sekä metallien kierrätys

Öljyjen ja rasvojen ympäristöhuolto on helpointa järjestää ostamalla se palveluna paikallisilta alan yrityksiltä tai suuremmilta koko Suomessa toimivilta ympäristöhuoltoyrityksiltä kuten Ekokem tai Lassila & Tikanoja. Voiteluöljyjä voidaan nykyisin myös puhdistaa ja käyttää uudelleen. Tämä säästää luonnonvaroja ja kustannuksia. Voiteluöljyjen kierrättäminen vaatii pieniä panostuksia myös kaivosyhtiöltä, jotta jäteöljyt voidaan lajitella kierrätettäviin ja ei-kierrätettäviin.

Metallien kierrättämisestä voi sopia suoraan kulutusosia toimittavien yritysten kanssa käytettyjen terien ostamisesta takaisin romumetallina. Suomessa metallien kierrätystä tekevät useat paikallisesti toimivat yritykset sekä koko Suomessa toimivat Kuusakoski ja Stena.

Varaosavaraston hankinta kriittisyysluokittelun perusteella

Ennen varaosien hankintaa kannattaa selvittää mitkä ovat tuotannolle kriittisimpiä laitteita. Yleinen työkalu kriittisyysluokittelun tekemiseksi on vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi (vvka). Laitteet voidaan luokitella kriittisyyden mukaan esimerkiksi kolmeen luokkaan. Pyhäsalmen kaivoksella käytetty jaottelu on 1) massatuote 2) tärkeä tuote ja 3) kriittinen tuote, joka pysäyttää tuotannon. Varaosan saatavuus ei vaikuta varaosan kriittisyyteen. Tuotannolle tärkeimpien koneiden käytettävyyttä voidaan tukea sitten hankkimalla kriittisille tuotteille riittävät varaosavarastot.

Taloudellisen varaosaohjauksen kehittämisen, ja siinä onnistumisen kannalta, jokaiselle varaosalle kannattaa olla tekninen vastuuyhteyshenkilö. Vastuuyhteyshenkilö määritetään jokaiselle varaosalle, joka on varastojärjestelmän varastolistalla. Muut tilatut tuotteet ovat kauttakulkutuotteita. Vastuuhenkilön tehtävänä on varmistaa, että varaosia löytyy tarvittaessa varastosta, mutta niihin ei saa kuitenkaan sitoutua ylimääräistä pääomaa.

4.3 Kunnossapito tuotantovaiheessa

Kunnossapidon johtamis- ja toimintakulttuurin luominen

Kunnossapidon tulisi olla osa kaikkien työntekijöiden normaalia toimintaa. Yleinen asenne teollisuudessa on, että ”minä käytän ja kunnossapitomiehet korjaavat”. Tällaista asennetta ei pitäisi päästää syntymään aloittavan kaivoksen toimintakulttuuriin vaan työntekijöille tulisi tehdä heti alusta selväksi, että kunnossapito on kaikkien vastuulla. Keinoja tämän toteuttamiseksi käytännössä on esimerkiksi:

- Käyttäjäkunnossapidon toimintamalli kannattaa tuoda esiin työhaastatteluissa ja jos haastateltavan henkilön asenne asiaa kohtaan on kielteinen, henkilöä ei kannata palkata. Kunnossapitotyöt kannattaa kirjata työsopimuksiin työtehtäväksi.
- Säännölliset kunnossapito- ja huoltokoulutukset kaikille työntekijöille
- Metallityöväen liiton työehtosopimusta noudattaen kunnossapidon huomioimen henkilökohtaisen palkanosan (hko) ja töiden vaativuusryhmittelyn (TVR) määrittelyssä siten, että työntekijöille, jotka suoriutuvat tuotantotyön lisäksi hyvin myös kunnossapitotöistä, voidaan maksaa parempaa palkkaa.

Pitkälle automatisoiduissa tuotantolaitoksissa käyttöhenkilöstä tarvitaan yllättävän vähän. Vaikka pari työntekijää voivat ohjata tuotantoa valvomosta käsin, kunnossapitoa ei voida automatisoida vaan se vaatii ”käsipareja”. Vikojen havainnoinnissa ja paikallistamisessa voidaan hyödyntää kunnonvalvontatekniikoita, mutta viimeistään korjaamisvaiheessa tarvitaan ihminen tekemään korjaustyön. Kunnossapitotyöntekijöiden osuus suhteessa käyttöhenkilöstöön kasvaa tulevaisuudessa. Toinen, toivotumpi suuntaus on, että samat henkilöt voisivat tehdä sekä tuotannon valvonta ja ohjaustöitä, että kunnossapitotöitä.

Kunnonvalvonnan ja ennakkohuolto-ohjelmien toteuttaminen ja kehittäminen

Kunnonvalvonnan täytyy ansaita oma arvostuksensa. Kunnonvalvonnan rooli ei ole uudessa laitoksessa heti ansaittua, eikä se saakaan olla, sillä uudesta laitoksesta ei vikoja pitäisi löytyä. Kunnonvalvonnan rooli on kehittynyt oikeaksi silloin, kun mittaustulokset otetaan huomioon seisokkisuunnittelussa, ja yleensäkin otetaan mittaustulokset vakavasti. Kokenut kunnonvalvonnan ammattilainen löytää mittausdatasta myös prosessihäiriöitä. Ansaittu arvostus on todellista arvostusta. Kunnonvalvonnan virheet muistetaan helposti, mutta tilanteet, jossa kunnonvalvonta on aiheuttanut 10 000 € säästöt unohtuvat. Tämän takia on tärkeää että kunnonvalvonnan tulokset raportoidaan rehellisesti, mitä kunnonvalvonta on kokonaisuudessaan maksanut ja minkälaisia säästöjä on saatu aikaan. Kunnonvalvonnan taloudellisen tuloksen raportoinnissa on kuitenkin usein puutteita. Tämä voi johtaa kohtalokkaisiin säästöihin kunnonvalvonnasta.

Tuotantolaitokselle on aina oltava heti alusta ennakkohuolto-ohjelma. Jos tuotannon aloitusvaiheessa resurssit ovat vähissä, luodaan ohjelma alussa kevyemmin. EH-ohjelma on laadittava vaikka Excel-pohjaisesti. Tärkeintä on, että EH-työlle löytyy vastuuhenkilö eli osaava ennakkohuoltomies. Jälkeenpäin EH-ohjelman laatiminen on todella haasteellinen ja hankala. Lisäksi on saatettu aiheuttaa taloudellisia menetyksiä väärin suoritetun tai laiminlyödyn ennakkohuollon takia.

Hiljaisen tiedon taltiointi

Aloittavan kaivoksen on huolehdittava henkilöiden osaamisen ja hiljaisen tiedon näkyväksi tekeminen eri taltiointimenetelmien avulla. Kun hiljaista tietämystä lähdetään tuomaan esille, johdon täytyy miettiä, mikä on organisaation toiminnan kannalta olennaista ja kriittistä hiljaista tietoa. Alkuvaiheessa aloittavan kaivoksen näkökulmasta ei ole hiljaista tietoa prosessista eikä muistakaan toiminnoista. Kuitenkin rekrytointivaiheessa on mahdollista kiinnittää huomiota henkilöiden osaamisiin ja aikaisempiin kokemuksiin. Kaivoksen kaikissa elinkaaren vaiheissa on otettava huomioon hiljaisen tiedon merkitys ja sen taltiointi. (Siimes ym. 2014)

Hiljaisen tiedon taltioimiseen on olemassa erilaisia keinoja. Tärkeintä on aloittaa siitä, mihin tieto halutaan taltioida. Tietojärjestelmää käytetään hiljaisen tiedon saamiseksi eksplisiittiseksi. Kun on tunnistettu ja tunnustettu hiljainen tieto ja

tiedetään mihin sitä halutaan kerätä, voi alkaa pohtia keinoja käytännön toteutukseen. Hiljaisen tiedon taltiointi lähtee osaamisprofiilien selvittämisestä rekrytointivaiheessa. Osaamisprofiilit täydentyvät jatkossa esimerkiksi kehityskeskusteluiden yhteydessä. Tässä vaiheessa kiinnitetään huomiota henkilöiden osaamisiin ja aikaisempiin kokemuksiin. Aloittavan kaivoksen näkökulmasta henkilöillä on aikaisempaa osaamista, mutta ei vielä hiljaista tietoa ko. prosessin suhteen. Aloittavalla kaivoksella täytyy olla tiedonhallintastrategia ja tiedonhallintasuunnitelma. Tähän sisältyy suurelta osin järjestelmien toiminnallisuus ja käytettävyys. (Siimes ym. 2014)

Yhtenä mahdollisuutena hiljaisen tiedon taltioimiseen voidaan käyttää mobiililaitteita huomioiden niiden käyttöliittymät ja integraatio yksinkertaistettuun kevyeen järjestelmään. Mobiililaitteet voivat toimia yleisesti tiedon ja sitä kautta hiljaisen tiedon taltiointimenetelminä, joista saadaan tietoa suoraan järjestelmään. Järjestelmien tehokas käyttö on haastavaa, koska toiminnallinen prosessi on vielä kehitysvaiheessa eikä ole täydellisesti toiminnassa ja sitä kautta kirjauskäytänteet on vaikea ohjeistaa edellä mainituista syistä. Hiljaisen tiedon taltioimiseen vaikuttaa yrityksen toimintatavat ja kulttuuri, jotka syntyvät ja kehittyvät ajan kuluessa. Tähän liittyy koulutukset, kokemuspohjaisen tiedon siirto heti alkuvaiheessa, kirjauskäytänteiden luonti alusta alkaen sekä isoimpana osana henkilöstön motivaatio ja asenteet. Yhteisen toimintamallin luominen ja jalkauttaminen tulevan tietojärjestelmän käyttöön sisältää eri keinot taltioida hiljaista tietoa. Toimintamallissa määritellään mitä tietoja halutaan kerätä ja miten niitä hyödynnetään. Toimintamallissa määritellään myös roolit eli miten missäkin tehtävässä työskentelevän henkilön tulee käyttää järjestelmää sekä tiedon kirjaamisessa että tiedon hyödyntämisessä. Eli se millaiset toimintatavat ja kulttuuri luodaan aloittavaan kaivokseen, ovat isossa roolissa hiljaisen tiedon taltioimisen suhteen. (Siimes ym. 2014)

Hiljaisen tiedon hyödyntämisen edellytyksenä on alkuvaiheelle laadittu tiedonhallintasuunnitelma. Tiedonhallintasuunnitelmassa määritellään 5 O:ta, jotka ovat:

- Oikeasta kohteesta
- Oikeaa tietoa
- Oikeaan aikaan
- Oikeassa muodossa

- Oikeille henkilöille

Edellä mainittujen 5 O:n varmistamiseksi voidaan käyttää erityisesti havaintotietojen keräämiseen kehitettyä mobiililaitetta. Mobiililaitteen avulla mm. visuaaliset aistihavainnot saadaan dokumentoitua, joka takaa hiljaisen tiedon taltioinnin ja sen paremman hyödyntämisen. (Siimes ym. 2014)

Kunnossapitoseisokkien suunnittelu ja toteuttaminen

Seisokkityölistojen hallinta ja töiden erillä pitäminen käynninaikaisista töistä on tärkeää. Pyhäsalmen kaivoksella hyväksi havaittu tapa on lisätä seisokkityöhön 15 %:n yllätysvara. Koska kun koneet ja laitteet avataan vasta seisokissa, niin yleensä tällöin löytyy myös lisäyllätyksiä. Tällöin työtä on ennakoitua suunnitelmaa enemmän, joten tähän on varauduttava. Samoin Pyhäsalmen kaivoksella on tapana järjestää noin 2-3 viikkoa ennen seisokkia esisuunnittelupalaveri. Seisokkipalaveri pidetään viikkoa ennen seisokkia ja seisokin jälkeen on seisokin jälkipuintipalaveri. Nämä palaverit ovat osoittautuneet hyvin tärkeiksi seisokkien onnistumisen kannalta.

Varastojen säännöllinen inventointi

Huolimatta varastonhallintajärjestelmistä ja -käytänteistä, varastoista otetaan ja sinne tuodaan välillä tavaraa ilman, että sitä kuitataan minnekään. Tämän vuoksi varastosaldot eivät aina pidä paikkaansa. Tämä voi aiheuttaa ongelmia kun tietojärjestelmät näyttävät että jotain kriittistä varaosaa löytyy varastosta, mutta todellisuudessa sitä ei olekaan siellä. Toisaalta varastoon on voinut kertyä paljonkin sellaisia varaosia, joiden menekki on vähäistä. Tämän vuoksi varastot olisi hyvä inventoida säännöllisesti, esimerkiksi kerran vuodessa ja korjata tietojärjestelmiin inventoinnin yhteydessä havaitut puutteet. Mikäli tietojärjestelmän saldot poikkeavat paljon todellisista, kannattaa varastokirjausten käytäntöjä tarkentaa ja valvoa, että annettuja ohjeita noudatetaan. Yksi tapa kontrolloida varastoja on nimetä jokaiselle varaosalle vastuuhenkilö.

Mittareiden seuraaminen ja toiminnan kriittinen tarkastelu 2-3 tuotantovuoden jälkeen

Rakentamisvaiheessa ja ennen tuotannon käynnistymistä tulee valita kunnossapidon mittarit, joiden avulla seurataan tavoitteiden toteutumista. Eri mittareita

voidaan seurata päivä-, viikko-, kuukausi tai vuositasolla. Myös ylemmillä toimiheniköillä, työnjohdolla ja työntekijöillä voi olla seurannassa eri mittareita. Mikäli rakentamis- ja tuotantovaiheessa asetettuja tavoitteita ei saavuteta, on mietittävä korjaavia toimenpiteitä ja toteutettava ne. Toimintaa kehitetään mittareiden avulla jatkuvasti. Mittareiden seurantaa helpottaa hyvin käyttöönotettu kunnossapitojärjestelmä, jonka avulla mittareita voidaan seurata ja raportoida.

Toiminnan kehittyessä tulee vastaan voi tulla tilanne, jossa resurssitarpeet ovat muuttuneet alkuperäisestä. Työtä ei välttämättä ole yhtään vähempää, mutta resurssit pitää kohdistaa eri asioihin. Tämän vuoksi kahden tai kolmen tuotantovuoden jälkeen on syytä istua alas ja tarkastella omaa toimintaa kriittisesti, missä asioissa on onnistuttu hyvin ja missä olisi parantamisen varaa. Tämän pohjalta voidaan organisaatiorakennetta ja resursointia tarvittaessa muuttaa. Toiminnan arvioinnissa voidaan verrataan erityisesti miten suunnittelu- ja rakentamisvaiheessa asetetu tavoitteet on saavutettu.

Apuna tarkastelussa voidaan hyödyntää esimerkiksi SKF:n Client Need Analysis (CNA) -menetelmää tai SMS Oy:n kehitystarveanalyysia (molemmat analyysit on kuvattu kappaleessa 3.6.1). Analyysimenetelmiä on useita erilaisia ja pääasia on että tilannetta tarkastellaan kriittisesti historiatietoon ja valittuihin mittareihin perustuen.

<u>Koneiden peruskunnostaminen ja huoltosopimusten uudistaminen 3-5 tuotantovuoden jälkeen</u>

Koneiden taloudellinen elinikä vaihtelee paljon, mutta kaivosympäristössä 3-5 tuotantovuoden jälkeen ensimmäiset koneet vaatinevat jonkinasteista peruskunnostusta. Koneille kertyy paljon käyttötunteja keskeytymättömässä työssä ja olosuhteet ovat kuluttavat. Laitevalmistajat tarjoavat nykyisin monipuolisia kunnostuspaketteja, joiden avulla koneiden elinkaaria voidaan pidentää. Kaivosyhtiön tehtävä on laskea koneen elinkaarikustannusta sekä vaihe, jossa uuden koneen investointi tulee vanhan kunnostamista edullisemmaksi. Kestävän kehityksen periaatteet tukevat vanhojen koneiden kunnostamista elleivät uudet koneet sisällä tekniikkaa, joka pienentää merkittävästi energiankulutusta. Usein vanhoihin koneisiin on saatavilla myös päivityspaketteja, joilla nostetaan niiden tuotantotehoa tai energiataloudellisuutta.

Laitehankintojen ja kaivoksen avaamisen yhteydessä on voitu tehdä kunnossapito- ja huoltosopimuksia, jotka ovat katkolla muutaman tuotantovuoden jälkeen. Laitteiden takuiden päättyminen tekee huoltotoiminnasta jossain määrin vapaampaa. Ennen sopimuksen päättymistä täytyy tarkastella kriittisesti huoltopalveluiden laatua ja kustannuksia sekä verrata niitä vaihtoehtoon, jossa sama työ tehtäisiin itse. Tietyt kunnossapitotyöt voidaan kilpailuttaa usean kunnossapitopalveluita tarjoavien yritysten kesken ja valita niistä hinta-laatusuhteeltaan parhaaksi arvioita.

4.4 Kunnossapito kaivoksen laajennusvaiheessa

Kaivoksen laajennusvaiheessa osa kaivoksesta rakennetaan uudelleen. Sitä edeltävät vähintään kaivoksen sisäiset kannattavuuslaskelmat. Lisäksi laajennus voi edellyttää uutta ympäristövaikutusten arviointimenettelyä sekä uutta ympäristölupaa. Kaivoksen laajennuksen yhteydessä onkin tehtävä useita samoja asioita kuin mitä on tehty kaivosta rakennettaessa. Laajennuksen yhteydessä on hyvä purkaa asioita, jotka eivät toimi ja suunnitella sekä toteuttaa ne uudelleen. Kaivoksen laajennusprojektin yhtenä tavoitteena tulisi olla kaivoksen kunnossapidettävyyden ja prosessien käyttöasteiden parantaminen.

Pyhäsalmella uusittiin tuotantoa vuosille 1998 – 2001 sijoittuneessa ”Uusi kaivos” -kaivosprojektissa. Projektin pääpaino oli turvallisuudessa sekä tehokkuudessa. Kaivosprojektissa syntyi tekijöillensä uusi kaivos, johon oltiin yleisesti tyytyväisiä. ”Syntyi sellainen kaivos, jossa halutaan olla töissä, ja uskalletaan olla”.

Kaivosten laajennusprojekteissa tunnistettuja ongelmia ja mahdollisuuksia:

- On tärkeää, että projektiorganisaatio ymmärtää laitteiden kunnossapidon ja kunnossapidettävyyden merkityksen. Projektiorganisaation olisi koostuttava ainakin osittain tuotannon ja kunnossapidon henkilöistä.
- Ostaja/osto-osasto ei saa yksin määritellä mitä laitteita otetaan, vaan määrityksen pääasiassa suorittavat laitteiden käyttäjät sekä kunnossapitäjät
- Laajennus tarjoaa hyvän mahdollisuuden parantaa kunnossapidettävyyttä sekä käyttövarmuutta (Design Out Maintenance)
- Uusien koneiden hankinnassa voidaan käyttää vanhojen koneiden historiadataa kustannuksista, käyttöasteista sekä hyvistä ja huonoista puolista.

- Uushankinnoille varteenotettava vaihtoehto on vanhojen koneiden modernisointi, jolloin niiden elinkaarta saadaan pidennettyä sekä mahdollisesti kapasiteettia nostettua.
- Tuotantovuosien aikana huomattuja epäkohtia voidaan poistaa.
- Uusien kunnonvalvonta ja automaatioratkaisuiden käyttöönotto
- Jos rakennetaan nykykäytännön mukaisesti laitteita teräsrakenteisien tasojen tai rautapalkkien päälle, on rakennesuunnittelu koko rakenteelle tärkeää. Ilman rakennesuunnittelua saadaan lähes varmasti värähtelevä rakenne. Tämä aiheuttaa ylimääräistä kuormitusta mm. laakereille, puhumattakaan koko rakenteen kestämisestä. Rakennesuunnittelu on ulotettava tarvittaessa myös putkistolinjoihin.

4.5 Sulkemisvaiheen kunnossapito

Kun kaivos suljetaan, ajetaan kunnossapitotoiminnot alas. Kaivoksen sulkemisen tavoitteena on saattaa alue ihmisille ja ympäristölle turvalliseksi ja sovittaa alue ympäristöönsä ja ympäröivään maisemaan mahdollisimman hyvin. Kunnossapito-organisaation vastuulla ovat seuraavat toimenpiteet:

- Sulkemispäivän lähestyessä käytetään olemassa olevat varaosa- ja kulutusosavarastot loppuun eikä tehdä uusia tilauksia.
- Tarpeettomien koneiden ja laitteiden purkaminen ja/tai poistaminen alueelta ilman, että mahdollinen myöhempi kaivostoiminta alueella vaarantuu.
- Piha-alueille kerääntyneen metalli- ja muun romu viedään kierrätykseen sekä alueet siivotaan.
- Ympäristövaikutusten kannalta tärkeintä on tyhjentää käyttämättömät öljy- ja rasvavarastot, pestä tilat ja tyhjentää jäteöljysäiliöt asianmukaisesti.
- Kaivoksen jälkihoidossa mahdollisesti tarvittavat pumput ja aggregaatit huolletaan ja kunnostetaan sekä hankitaan niille tärkeimmät varaosat kaivoksen jälkihoidon ajalle.

4.6 Esimerkkejä kaivosteollisuuden kunnossapidosta

Kaikki kaivokset ovat erilaisia ja paikalliset sääolosuhteet, malmin ominaisuudet ja kaivoksen koko pitää huomioida toiminnan suunnittelussa. Kaikilla kaivoksilla on pääpiirteissään samoja prosessivaiheita kuten louhinta, murskaus, seulonta jauhatus, rikastus, rikasteen kuivatus, varastointi ja kuljetus. Seuraavissa kappaleissa on kuvattu esimerkkien avulla kunnossapitotoimintaa kaivoksen eri prosessivaiheissa.

4.6.1 Louhintakaluston kunnossapito

Louhintakalustoa kutsutaan usein liikkuvaksi kalustoksi koska laitteet on rakennettu telojen tai pyörien päälle. Louhintakaluston pienet huollon tehdään usein kenttäolosuhteissa, mutta isompien huoltotoimenpiteiden tekemiseksi ne kuljetetaan tai ajetaan huoltohalliin. Louhintakalustolle on ominaista, että yhden koneen rikkoontuminen ei pysäytä tuotantoa kuten rikastamolla voi tapahtua. Kriit-

tisimpiä koneita ovat yleensä lastauskoneet. Vaikka yhden koneen rikkoontuminen ei vielä aiheuta pysäytystä, siitä voi aiheutua tuotannon menetyksiä kun tuotantoteho laskee.

Louhintakaluston kunnossapidossa perusvarmaratkaisu on noudattaa laitevalmistajien huolto-ohjelmia. Tällöin koneiden takuut säilyvät ja koneilla saavutetaan kohtalainen käyttöastetaso. Huolto-ohjelmat ovat kuitenkin yleisluontoisia, eivätkä ne ota huomioon paikallisia olosuhteita. Tämän vuoksi voi olla tarpeellista suorittaa tiettyjä huoltotoimenpiteitä suositeltua useammin. Toisaalta taas huolto-ohjelmat voivat olla joiltakin osin ylimitoitettuja. Etenkin kalliimpien komponenttien osalta kannattaa seurata alusta asti niiden todellista kulumista ja kuntoa, jotta kunnossapidosta ei aiheudu turhia kustannuksia kun kunnossa olevia osia vaihdetaan uusiin.

Louhintakaluston mekaaninen kunnossapito hallitaan yleensä hyvin. Hydrauliikka- ja mekaniikkaviat on suhteellisen helppo paikallistaa ja korjata. Sen sijaan uusissa koneissa sähkö- ja automaatioviat laskevat koneiden käytettävyyttä. Sähkö- ja väyläviat ovat usein erittäin vaikea paikallistaa ja yhden anturin tai kaapelin rikkoontuminen voi aiheuttaa useiden päivien pituisen huollon kun vikaa ei löydetä. Toisaalta uudet väyläohjaustekniikat mahdollistavat koneen kunnon seuraamisen entistä paremmin ja koneet osaavat diagnosoida itse missä vika voisi olla.

Poravaunut ovat rakenteeltaan monimutkaista tekniikka ja ne sisältävät paljon hydrauliikkaa sekä automaatiota ja niihin kohdistaa paljon rasitusta (tärinää ja pölyä). Tämän vuoksi ne vikaantuvat melko herkästi. Pienet viat voidaan usein korjata kenttäolosuhteissa ja varaosien toimitusajat ovat lyhyitä verrattuina isojen kiviautojen ja lastauskoneiden suuriin komponentteihin. Poravaunun iskuvasara on yksi tärkeimpiä osia ja se kannattaa huoltaa asianmukaisesti. Useilla poraus- ja kaivosyrityksillä on hyllyssä varavasara ennakoimattomien ja myös suunniteltujen huoltojen aiheuttamien seisokkiaikojen minimoimiseksi.

Isoissa kiviautoissa ja lastauskoneissa komponentit ovat isoja ja niiden toimitusajat pitkiä, joten kriittisten osia kannattaa pitää hyllyssä. Kiviautoissa suurimpia kustannuseriä ovat polttoaine- ja rengaskulut. Osana kunnossapito-ohjelmaa kannattaa valvoa ja seurata renkaiden kulumista. Renkaisiin on saatavilla paine-

ja lämpötila-antureita, jotka voivat varoittaa renkaassa olevasta vauriosta. Renkaita voidaan myös tarkastella lämpökameralla, joka voi paljastaa pieniä viiltoja, jotka voidaan korjata ennen renkaan vaurioitumista käyttökelvottomaan kuntoon. Kiviautojen renkaat ovat kalliitta (koosta riippuen 10 000 – 100 000 €) ja niiden saatavuus kaivosalan suhdanteista riippuen voi olla ajoittain huonoa sekä toimitusajat pitkiä.

Lastauskoneissa ennakoimattomia seisokkeja voivat aiheuttaa puomien ratkeamiset, sylinterien rikkoontumiset tai moottorivauriot. Kauhojen ja kynsien kulumista kannattaa seurata ja pyrkiä löytämään lastattavan kivimateriaalin ominaisuuksille sopiva kauhamalli sekä kynnet. Kaivinkoneiden siirrot kuluttavat teloja sekä moottoria. Tämän kulumisen vähentämiseksi siirroissa voidaan hyödyntää suomessa keksittyä ja valmistettua Sleipner-siirtoalustaa.

Esimerkki maanalaisen lastauskoneen kunnonvalvonnasta

Oulun yliopiston Devico-projektissa tekemän tutkimuksen mukaan maanalaisessa lastauskoneessa korjaavan kunnossapidon osuus on 55–70 % ja ennakoivan kunnossapidon osuus 30–45 %. Tämän perusteella maanalaisissa lastauskoneissa olisi tarvetta kunnonvalvontajärjestelmälle, joka auttaisi ennakoimaan vikoja. Analysoidun datan ja suullisesti kerätyn kokemusperäisen tiedon perusteella kunnonvalvonta päätettiin kohdentaa lastauskoneen etuakselistoon. Pienet viat, kuten erilaisten letkujen ja liittimien viat, olivat sekä määrällisesti suurin että eniten aikaa vievä vika. Tämän kaltaisiin kohteisiin ei kuitenkaan ole järkevää kohdentaa kunnonvalvontaa. Akseliston vikoja on määrällisesti vähän, mutta vikojen korjausajat ovat pitkiä.

Vikojen havaitsemiseksi maanalaiseen lastauskoneeseen asennettiin värähtelyjä mittaava laitteisto, joka koostui neljästä akseliston runkoon asennetusta kiihtyvyysanturista, koneen nopeutta kardaaniakselin pyörimisnopeuden avulla mittaavasta takometristä sekä mittaustiedot keräävästä dataloggerista. Varsinaisen akseliston kunnonvalvonnan lisäksi koneista kerätyn datan avulla voidaan tutkia koneeseen kohdistuvaa tärinää ja iskuja.

Kuva 27. Maanalaisessa kaivoksessa operoiva lastauskone

Torvi J, Laukka A & Esko J (2013) Ennakoiva kunnossapito varmistaa kaivoksen kassavirran. Promaint 4/2013.

4.6.2 Murskausprosessin kunnossapito

Kaivoksilla murskaus alkaa karkeamurskaamosta, joka on tuotannon kannalta kriittinen tuotantovaihe. Primäärimurskana käytetään usein leukamurskainta ja isoilla kaivoksilla karamurskainta sen salliman suuren kapasiteetin takia. Karkeamurskaamoa ei ole yleensä kahdennettu, joten sen ennakoiva kunnossapito on tärkeää kaivoksen tasaiselle tuotannolle. Yleensä kaivoksilla on murskauspiirissä välivarastoja tai syöttösiiloja, joten murskauksen pysähtyminen ei välittömästi keskeytä rikastamon tuotantoa, mikä mahdollistaa lyhyiden huoltotoimenpiteiden tekemisen ilman vaikutusta tuotannon loppupäähän. Toisaalta murskaus- ja jauhatuspiirissä on isoja koneita, joiden kulutusosien vaihtaminen tai pintojen vuoraaminen kestää useita päiviä. Karkeamurskaimelle tuleva seisokki vaikuttaa heti seuraaviin tuotannon vaiheisiin ja myös louhokselle. Malmia voidaan kuljettaa vain rajallinen määrä varastoon ja suunnittelemattoman primäärimurskan huollot sotkevat louhinta-aikatauluja.

Karkeamurskaimen akselin vikaantuessa sen toimitusaika voi olla pahimmassa tapauksessa useita kuukausia. Siksi vara-akselien ja käytössä olevan akselin kunnon mittaaminen mahdollisten vikojen takia on erityisen tärkeää. Mittaamalla akselit mahdollisten epäjatkuvuuskohtien löytämiseksi pystytään ennakoimaan mahdolliset korjaustarpeet ajoissa ja tekemään tarvittavat toimenpiteet toiminnan jatkamiselle. Karamurskaimen mantteli vaihdetaan esimerkiksi Talvivaaran kaivoksella muutaman kerran vuodessa ja seisakki kestää laajuudesta riippuen 2-5 päivää. Mantteli on karkeamurskaimen akselin ja rungon suojakuori, jossa ovat kiinni murskaimen kulutuspalat. Kulutuspalojen kuluessa loppuun täytyy ne vaihtaa määräaikaishuolloissa. Samalla vaihdetaan myös murskaimen akseli vara-akseliin. Vara-akseliin on laitettu valmiiksi mantteli huollon nopeuttamiseksi. Primäärimurskan osat ovat isoja ja niiden toimitusajat pitkiä, joten pahimmassa tapauksessa suunnittelematon seisokki kestää jopa kuukausia jos varaosia ei ole varastossa. Primäärimurskaa tulisi huoltaa vähintäänkin laitevalmistajien tekemien huolto-ohjeiden mukaisesti ja ottaa etenkin seisakkisuunnittelussa huomioon kokemusperäinen tieto kiven kuluttavuudesta jotta kulutusterien vaihdot osataan aikatauluttaa mahdollisimman hyvin.

Esimerkki suuren karamurskaimen kunnonvalvonnasta

Primääri- eli karkeamurskain on yksi kaivosten kriittisimmistä koneista. Suuren investointikustannuksen takia sitä ei yleensä kahdenneta, jolloin murskaimen rikkoontuminen pysäyttää malmin tuotannon. Malmia voidaan varastoida primäärimurskan jälkeiseen varastoon, mutta ainoastaan muutamiksi tunneiksi - päiviksi.

Karamurskaimen kunnonvalvontaa voidaan tehdä monella eri tavalla. Valituista mittapisteistä voidaan seurata kiihtyvyys- ja lämpötila-antureiden avulla koneen kuormitusta. Murskaimen kaapelointi voi olla ongelmallista, jolloin langaton tiedonsiirto voi olla ratkaisu värähtelymittausten suorittamiseksi. Toinen varteenotettava vaihtoehto laakerivikojen havaitsemiseksi murskaimen ylä- ja alapäistä on öljyanalyysi.

Karkeamurskaimen akselin toimitus tehtaalta kestää vähintäänkin kuukausia. Sen takia mahdolliset säröt akselissa tulisi huomata ennen kuin ne johtavat akselin katkeamiseen. Säröjä voidaan tutkia esimerkiksi ultraäänellä, joskin kappaleen muodossa olevan epäjatkuvuuskohdat asettavat haasteita. Pinnassa olevat säröt voidaan huomata myös ultraviolettivalon avulla levittämällä ensin siihen fluorisoivaa nestettä, joka imeytyy mahdollisiin säröihin.

Kuva 28. Primäärimurskan akselin NDT -mittaus.

Tolonen J-P (2012) Selvitys karkeamurskaamon kiinteästä kunnonvalvonnasta. Insinöörityö. Kajaanin ammattikorkeakoulu.

Räisänen J (2013) Karkeamurskaimen akselin kunnon mittaaminen ainetta rikkomattomilla menetelmillä. Insinöörityö. Kajaanin ammattikorkeakoulu.

Seulonnan tarkoituksena on mineraalin partikkelikoon eli raekoon säännöstely eri karkeusluokkiin osana murskausprosessia sekä ennen jauhatusta. Kunnossapidollai on merkittävä rooli seulakoneiden käytettävyydessä. Ne ovat erityisen kovassa rasituksessa ja kuluvat tyypillisesti suhteellisen nopeasti ja epätasaisesti. Seulaverkkojen kulumisen indikoiminen ja sen perusteella määriteltävä tarpeellinen huoltoväli olisi kunnossapidon suunnittelun kannalta erittäin merkittävä etu. Seulakoneita on kuitenkin usein kahdennettu, jolloin yhden seulakoneen vikaantuminen ei pysäytä koko seulomon tuotantoa. Yksittäisen seulan vikaantuminen vaikuttaa kuitenkin aina jonkin verran seulomon kokonaiskapasiteettiin. Kiertopiiriseulonnan eli sekundäärivaiheen seulonnan kannalta asia ei ole kriittinen, sillä yleensä tuotannonmenetystä voidaan osittain paikata rinnakkaisten seulojen kapasiteettiä nostamalla.

Tyypilliset viat seulojen tapauksessa johtuvat seulaverkoista, niiden irtoamisesta ja kuluneisuudesta. Toinen toistuva syy on seulan epäkeskiöakselin rikkoontuminen (laakerointi, öljyt). Seulomon ja seulojen käynninaikainen kunnonvalvonta voidaan toteuttaa käyttö- ja kunnossapitohenkilöstön tekemillä kenttäkierroksilla tai jopa on-line kunnonvalvonnalla. Käyttökoneikon laakerinvaihtoja, hihnojen ja hihnapyörien yms. pienempien komponenttien vaihtoja voidaan tehdä havaittujen vikojen mukaan. Pienemmät korjaukset voi tehdä suoraan paikan päällä, ja tuotannonmenetystä kertyy toimenpiteen ajalta. Pienempiä komponentteja, kuten laakereita, hihnoja, hihnapyöriä ja sähkömoottoreita tulisi löytyä hyllystä. Tilattaessa toimitusajat näillä varaosilla vaihtelevat parista päivästä viikkoon.

Seulaverkkojen kulumista tulee tarkkailla ja vaihtaa kulumisen mukaan. Yleensä verkot vaihdetaan siinä vaiheessa, kun koko seulakori nostetaan lattialle suurempaa huoltoa varten. Verkkojen vaihto kestää noin 2 - 3 vrk. Seulojen varaosista kriittisimpiä ovat seularunko ja täryakselisto. Toimitusaika seulakorilla ja täryakselistolla on 3-6 kk ja vaihtoon kuluva aika korkeintaan muutamia päiviä.

Seulan täryakselisto on toinen seulan kriittisistä osa-alueista. Laakerit kuormittuvat iskumaisesti johtuen seulalle tyypillisestä liikkeestä. Myös vallitsevat olosuhteet, mm. pöly ja lämpötilan vaihtelut sekä tärinä, asettavat haasteita käynninaikaiselle laakereiden seurannalle. Toisena kriittisenä osa-alueena on seulakorin kestävyys kovassa värähtelyliikkeessä. Vaikkei yksittäisen seulakoneen tuotannon menetys olekaan välttämättä kriittinen tapahtuma koko seulontaprosessin

kannalta niin täryakseliston erikoislaakereiden korkea hinta ja suunnittelemattomien töiden väheneminen puoltavat täryakseliston kunnonvalvontaratkaisun käyttöönottoa. Lisäksi sekä tuotannon- että kunnossapidon suunnittelu helpottuvat, kun voidaan laatia luotettavampia prognooseja jäljellä olevista käyttöajoista.

Esimerkki seulan kunnonvalvonnasta

Jousien päälle asennetussa seulakorissa kiinni olevat epäkeskoakselit tuottavat rakenteeseen epäkeskeisen täryliikkeen, jonka seurauksena materiaalin seuloutuminen tapahtuu. Moottorin pyörimisnopeudella ja epäkeskoakselin lisäpainoilla voidaan säätää seulan iskupituutta, jolla vaikutetaan seulakorin liikkeeseen ja seulonnan terävyyteen. Seulan toimiminen yli- tai alikuormalla rasittaa seulakoria, laakereita sekä jousia.

Kiihtyvyysantureiden avulla voidaan valvoa seulan laakereiden, seulaverkon, seulakorin sekä jousien kuntoa. Täryseulan kunnonvalvontaa vaikeuttaa seulan luonnollinen värähtelyliike, jonka eliminoiminen mittaustuloksista vaatii erikoisjärjestelyitä ja osaamista. Kunnonvalvonta voidaan toteuttaa kannettavilla mittalaitteilla, puolikiinteillä laitteilla tai kiinteillä automaattisillä järjestelmillä.

Kiihtyvyysnatureiden mittauspisteiden valinta ratkaisee miten mittaustuloksia voidaan hyödyntää. Asentamalla anturit täryakselistoon voidaan valvoa akselin vierintälaakereiden kuntoa. Toinen mahdollisuus on asentaa kiihtyvyysanturit seulan jousipakkoihin. Tällöin niiden avulla voidaan havaita seulasta rikkoutuneita hitsauksia, viallisia rakenteita, seulaverkkojen kulumista, irtonaisia seulaverkkoja ja jousien rikkoontumisia. Mittaustuloksista voidaan myös havaita seulan epätasainen kuormitus tai materiaalin kertyminen seulaan.

Kuva 29. Kiihtyvyysantureiden asentaminen seulan jousipakkaan ratakäyräanalyysivalvonnan suorittamiseksi

Mustonen T (2013) Seulan kunnonvalvonnan suunnittelu. Insinöörityö. Kajaanin ammattikorkeakoulu.

4.6.3 Rikastamon kunnossapito

Rikastamo on kaivoksen tuotannon kannalta tärkein kunnossapitokohde. Sen takia siihen panostettiin Devico-projektissa muita prosesseja enemmän. Alla on kerrottu haastatteluiden avulla saatuja tietoja rikastamon kunnossapidosta kolmessa eri kohteesta: Pyhäsalmen, Luikonlahden ja Taivaljärven kaivoksissa. Lisäksi on käyty lyhyesti läpi Talvivaaran kaivoksen metallien talteenottolaitoksen kunnossapitoa.

Case Pyhäsalmi

Pyhäsalmen kaivoksen rikastamo on tunnettu korkeasta käyttöasteestaan, joka on parhaina vuosina ollut jopa yli 96 %. Pyhäsalmen kaivoksella on noin 210 työntekijää, joista noin 60 työskentelee kunnossapidon parissa. Osastoilla on oma päivittäinen kunnossapito arkena aamu- ja iltavuorossa. Pyhäsalmella rikastamon seisokkisuunnittelua tehdään jauhinmyllyjen kumipalkkien vaihtojen ja vuorausten ehdoilla. Jauhimien kulutusosien takia tarvitaan vuosittain neljä seisokkia ja kunkin seisokin kesto on kolme päivää sisältäen noin 3000 työtuntia. Näiden seisokkien jälkeen teoreettinen maksimikäytettävyys on 96,7 %. Rikastusprosessin kannalta kriittisimmät laitteet Pyhäsalmen rikastamolla ovat lohkaremylly ja vaahdotusilmapuhallin. Pysähtyessään edellä mainitut laitteet pysäyttävät koko rikastamon tuotannon. Pääsääntöisesti tuotannon isompia päälaitteita ei ole kahdennettu, mutta rikastamon prosessissa pääosalle laitteista löytyy rinnakkainen laite. Kriittisille pumpuille on rinnalla varapumput. Ei kriittisille pumpuille, jotka ei pysäytä tuotantoa, ei suoriteta kunnonvalvontaa.

Kunnossapitostrategioista ei ole Pyhäsalmella valittu tietoisesti puhtaasti mitään ideologiaa – kunnossapidon toimintamallia, eikä sellaiseen ole haluakaan ”sortua”. Kunnossapidon toimintatapana sekä johtoajatuksena on ennakoiva ja mittaava kunnossapito, joten Pyhäsalmella ei tyydytä korjaavan kunnossapidon toiminta-ajatukseen. Strategioiden perusperiaatteet ovat kuitenkin hyviä, ja nämä on hyvä tiedostaa ja tarpeen tullen soveltaa käytäntöön. Jollain tavalla toiminnassa on RCM:än keskeisimpiä piirteitä, vaikkakin RCM:ää ei ole sovellettu kunnossapito-ohjelman laadinnassa ”oppikirjan omaisesti”.

Pyhäsalmelle on hankittu ensimmäiset kannettavat värähtelyanalysaattorit kunnonvalvontaan jo 1980-luvulla. Kannettavien analysaattoreiden käyttö kunnon-

valvontakierroksilla on rutiinia. Pyhäsalmella kaikki prosessin pysäyttävät päälaitteet ovat jatkuvan kunnonvalvonnan piirissä. Kunnonvalvonta on toteutettu useammilla eri ratkaisuilla, käyttäen niitä laitetoimittajia, joiden laitteilla kohteen toteutus on onnistunut kustannustehokkaimmin. Kaikista kunnonvalvontakierroksen kohteista on jo 30 % kiinteän kunnonvalvonnan piirissä. Tärkeissä kohteissa on toteutettu myös suojausjärjestelmien tyyppisiä ratkaisuja kokonaisvärähtelyantureita (RMS) ja prosessinohjausjärjestelmää hyväksi käyttäen. Nämä suojausjärjestelmät ovat todennetusti jo tuoneet merkittävät kustannussäästöt etupäässä pumpuissa (kaivosvesipumput) katkaisemalla laitteen toiminnan värähtelyn noustessa määritellyn rajan yli. Etenkin pumpuissa on tyypillistä, että jokin prosessihäiriö aiheuttaa värähtelytason nousun. Kokonaisuutena talosta löytyy osaamista toteuttaa kunnonvalvontaratkaisua omatoimisesti.

Pyhäsalmella johtoajatuksena on käyttäjävetoinen kunnossapito (ODR). Käyttöhenkilöstölle on painotettu aistinvaraisten havaintojen tekemistä kenttäkierroksilla, sillä nämä keinot on todettu hyvin toimiviksi. Nykyisin suurin osa vikailmoituksista kunnossapitojärjestelmään tulee käyttöhenkilöstöltä. Käyttöhenkilöstö osallistuu myös joihinkin kunnossapitotöihin, kuten seisokissa jauhinmyllyjen vuoraukseen. Pyhäsalmen kunnossapidon tärkeimpinä tunnuslukuina seurataan: TOP 10 viat, kuukausiraporteista kustannukset kustannuspaikoittain ja rikastamon käyntiaste (%).

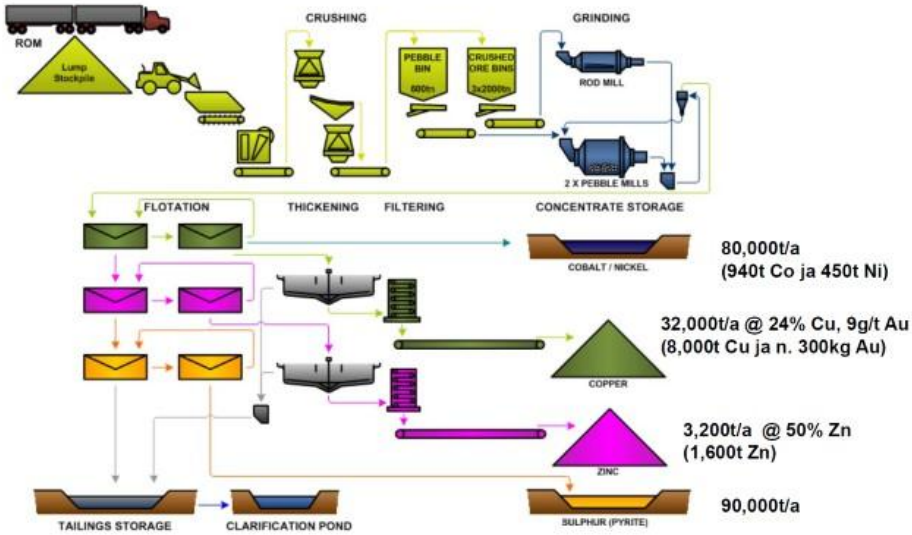
Pyhäsalmella tehdaspalveluosasto vastaa komponenttikorjauksesta, kunnon-valvonnasta, kone-, sähkö-, automaatiosuunnittelusta, sähkö- ja instrumenttikorjauksista, kunnossapidon ostotoiminnasta, varaosavarastosta, IT–teknologiahankinnoista ja urakoitsijoiden valvonnasta. Prosesseina tehdaspalveluosastolle kuuluu myös raakaveden syöttö, kaivostuuletus ja kaivosveden pumppaus. Tehdaspalveluosasto toimii myös osastojen apuna tietyissä määrätyissä kunnossapitotöissä. Ulkoistetusta kunnossapidosta on tehty aikoinaan tarjouspyynnöt suurimmille kunnossapitopalveluita tarjoaville toimijoille. Tarjouspyynnöt eivät kuitenkaan johtaneet vakavasti harkittaviin tarjouksiin, joten ulkoisen kunnossapitotyövoiman käyttöä on toteutettu pääasiassa vain seisokeissa. Pyhäsalmen porttien sisäpuolella toimii yksi metallialan yritys ja nostoalan yritys.

Pyhäsalmen kaivoksen ERP-järjestelmänä on KaTTi -32 ERP, josta löytyy kaikki kunnossapitotehtävien hoidossa tarvittava tieto. Tämä kaivoksille suunnattu kaivoksen tuotannon ja talouden tietojärjestelmä on 90-luvulla toteutetun ”älykäs

kaivos” -hankkeen tulos. Työkulku on perinteinen kunnossapitojärjestelmän mukainen, sisältäen kalenteripohjaisten tarkastuskohteiden hälytykset. Järjestelmään ole ei näkymää yhdelläkään ulkoisella toimijalla. Kunnossapito-ohjelman toimivuuden kannalta on erityisen tärkeää, että työsuunnittelusta on linkki varastojärjestelmään. Seisokkeihin on muistettava tilata varaosat, vaikka varaosia olisi varastossa tarvittava määrä (muistettava varaston hälytysrajat). Työsuunnitelman tekovaiheessa varataan tarvittavat osat varastosta, ja jo tässä vaiheessa varastotavarasta lähtee tilaus, mikäli varastotavaralle määritetty hälytysluku alittuu. Jos varaosa ei ole varastotavarana, niin se tilataan erillisesti sieltä mistä saadaan edullisimmin.

Case Luikonlahti

Kylylahti Copper Oy on avannut vuonna 2012 Kylylahden kaivoksen Polvijärvellä, josta louhittava malmi kuljetetaan rikastettavaksi Pohjois-Savoon Kaavin Luikonlahden rikastamolle, jonka yhtiö hankki omistukseensa vuonna 2010. Luikonlahdella on siis otettu uudestaan käyttöön vanha rikastamo. Pahoilta ongelmilta on vältytty. Käyntiastetavoite oli 92,5 %, mikä on saavutettu ja ylitetty. Rikastettava malmi sisältää mm. kuparia, kobolttia, nikkeliä, kultaa ja sinkkiä. Luikonlahden rikastamolla työskentelee yhteensä noin 40 henkilöä.



Kuva 30. Luikonlahden rikastamon prosessikaavio.

Rikastamoa ajetaan keskeytymättömässä kolmivuorotyössä. Siellä on töissä mekaanisessa kunnossapidossa kunnossapitopäällikkö ja viisi asentajaa. Sähköpuolella on sähkö- ja automaatioinsinööri sekä kolme asentajaa. Lisäksi rikastamolla on vuorossa kolme käyttöhenkilöä. Iltavuorossa on yksi mekaaninen kunnossapitomies ja yksi sähkömies. Käyttöhenkilöille on annettu perustehtäviin lyhyt kunnossapitokoulutus ja käyttömiehet avustavat tuotannon käydessä tasaisesti iltavuorossa työskentelevää kunnossapitomiestä eri kunnossapitotehtävissä, esimerkiksi kiilahihnojen vaihdossa. Tätä suuremmassa määrin käyttöhenkilöt eivät kuitenkaan suorita kunnossapitotehtäviä seisokkeja lukuun ottamatta. Tuotannonaikainen kunnossapitotyö toteutetaan pääsääntöisesti kokonaan omalla kunnossapitoväellä. Muutostyöt ja muut palvelut ostetaan ulkopuolelta. Työntekijät tekevät vian sattuessa työtilaukset Artturi nimiseen kunnossapito-ohjelmaan, mahdollisesti myös avaavat ja suorittavat kyseiset kunnossapitotyöt.

Luikonlahden rikastamolla ei sovelleta mitään valmista ja määriteltyä kunnossapidon toimintamallia. Rikastamon tuotantoprosessi kaikille laitteille ja prosessijärjestelmille on tehty kattava poikkeamatarkastelu (Hazard and Operability Study -analyysi eli HAZOP). Tarkastelussa käytiin läpi laitoksen eri riskitekijöitä ja tarkastelun tarkoituksena oli riskitekijöiden minimoiminen. Samalla suoritettiin

myös, ennen 2012 tapahtunutta tuotannon käynnistystä, onnistunut tuotantolaitteiden kriittisyystarkastelu. Erittäin kriittiset laitteet on analyysin perusteella kahdennettu. Suuria tuotantolaitteita, kuten murskaimia ei ole suureen laitekokoon ja investointikustannuksiin perustuen kahdennettu, mutta näille laitteille on olemassa tarkka ennakkohuolto-ohjelma ja niiden kunnossapidossa hyödynnetään kunnonvalvontaa. Rikastamossa on rinnakkain tankomylly ja kaksi kuulamyllyä. Ne ovat myös tarkan ennakkohuollon ja seurannan alla.

Murskaimen huolto on suurin yksittäinen säännöllinen huoltotyö. Murskaamossa esimurskaimena on leukamurskain, jonka huoltoväli on 10–11 viikkoa. Väli- ja hienomurskaimina käytetään keskenään samanlaisia kartiomurskaimia. Väli- ja hienomurskaimella on huolto 650 käyttötunnin välein, eli murskainhuolto tulee noin 325 tunnin välein. Väli- ja hienomurskaimen huoltotyö kestää n. 10 tuntia, jolloin murskain aukaistaan, puhdistetaan ja huolletaan. Murskauspiirin pysähdyksiä varten välivarastossa on maksimissaan kolmen vuorokauden ajaksi murskattua malmia. Luikonlahdella ei ole käytössä varsinaista tuotannonohjausjärjestelmää vaan ABB:n prosessinohjausjärjestelmään on integroitu tuotannon seurausjärjestelmä. Luikonlahdella kunnossapidollisina mittareita ovat:

- Määritetyt määrälliset ja laadulliset mittaukset, kuten esim. kuparin pitoisuudet (toteutus automaatiojärjestelmässä),
- Käyntiaste %,
- Kunnossapidon kokonaiskustannukset kuukausittain,
- Kustannusten jakautuminen osasto/laiteluokkiin,
- Työlajit kuukausittain %:na kustannuksista.

Työturvallisuusasiat ovat Altona Mining Ltd:n tuotantolaitoksissa kaikki kaikessa. Kaikista kunnossapitotöistä tehdään omistajatahon vaatimuksesta aina ennen työn aloitusta turvallisuusarvio, josta saadaan suoritettavalle kunnossapitotyölle työn riskiluokka. Turvallisuusarvion riskiluokitukset ovat korkea-, keskimääräinen-, vähäinen- tai alhainen riski. Jos riski on vähäinen tai alhainen, niin tietyt turvallisuusnäkökohdat huomioiden kunnossapitotyöt voidaan aloittaa. Mikäli turvallisuusarvion tuloksena on keskimääräinen riski, silloin tehdään työn turvallisuusanalyysi, JSA (Job Safety Analysis). Analyysin tuloksena saadaan kunnossapitotyölle riskin suuruutta kuvaavat pisteet (numeroarvo). Pisteytyksen mukaan joudutaan työn suorittamiseksi tekemään lisäohjeistuksia tai jatkotoimenpiteitä

turvallisuusriskin pienentämiseksi. Turvallisuusarvion jälkeen kunnossapitotöihin käydään aina valvomon kautta, jossa työt kirjataan ja tuotantoa ohjaava prosessimies erottaa laitteen ja asentaa kohteen turvakytkimeen ensimmäisenä nimikkolukon. Tämän jälkeen kunnossapitoa suorittavat henkilöt lukitsee myös kohteen omalla nimikkolukollaan.

Luikonlahdella tuotanto tekee lähes kaikki vikailmoitukset. Pääsääntöisesti kunnossapidon esimies tekee työsuunnittelun ja työtilauksen. Esimies suunnittelee työkuormituksen järkeväksi. Viikonloppuisin, kun esimiestä ei ole paikalla, kunnossapitomiehet tekevät tuotannon häiriön aihetuttavista vioista työtilauksen Artturiin. Ilman työmääräystä ei tehdä kunnossapitotöitä. Häiriöilmoituksessa määritellään häiriön vaikutus tuotantoon, ja vaatiiko korjauksen suoritus seisokin. Vuorokauden kestäviä seisokkeja on noin 8 viikon välein. Seisokkiajankohdat ovat tiedossa noin 2-3 kuukautta eteenpäin. Ulkoisen työvoiman saatavuudessa seisokeihin ei ole ollut mitään ongelmia. Seisokkeihin ostetaan yhteistyökumppaneilta tilanteesta riippuen 2-8 miestä. Kiinteitä kunnossapitosopimuksia ei ole.

Luikonlahdella on suunnitelmassa hankkia kunnonvalvonta ostopalveluna. Suunnitellut anturit olisivat passiivisia, joten kunnonvalvontatietoa tallennettaisiin tiedonkeruun aikana ainoastaan lyhyt pätkä. Kierroksen jälkeen mittausdata ladattaisiin palvelimeen, jonka kautta palvelun tarjoaja suorittaisi analyysin. Online mittausratkaisuille ei ole nähty tässä vaiheessa tarvetta. Kunnonvalvontakierroksen spektritiedot olisivat tarkasteltavissa omallakin kunnossapidon henkilöstölle, mutta analysointiprosessi on suunniteltu siirrettävän kokonaan ulkoiselle toimijalle. Viikkohuolloissa suoritetaan visuaalinen tarkastuskierros, jossa on apuna lämpökamera. Isot vaihelaatikot kuvataan lämpökameralla viikoittain. Sähkökeskukset ovat myöskin kuvauskierroksissa, joskin harvemmalla kuvausvälillä.

Rikastamon suunnittelun alkuarvoina on tärkeää, että lähtöaineisto ja lähtö-tiedot ovat oikeita. Prosessin on oltava oikein laskettu ja mitoitettu. Massa-taselaskennassa ei saa olla virheitä. Nämä ovat tärkeitä tietoja laitekannan valinnan ja mitoituksen tueksi. Mitoituksen lähtöarvona on laitoksen ulostulo-kapasiteetti. Tämän jälkeen aloitetaan prosessin mitoitus. Rikastusprosessi on mallinnettava oikein malmin oikeilla lähtö- ja lopputuotearvoilla.

- Murskauksessa on oltava oikeat murskaussuhteet, ja on oltava oikeat murskausvaiheiden määrät, jotta voidaan toteuttaa oikea ja onnistunut murskaus- ja seulontapiirin suunnittelu. Murskauksen ja seulonnan kapasiteetin varmistaminen on erittäin tärkeää.
- Jauhatuksen suunnittelussa on oleellista se, montako rinnakkaista jauhinmyllyä on ja minkälaisia myllyt ovat. Malmin laatu ja jauhetun mineraalin vaadittu partikkelikoko ovat määräävässä asemassa.
- Vaahdotuksessa pumppauskapasiteettia on oltava tarpeeksi. Jos lähtötiedot ovat vähänkään virheelliset, esimerkiksi virhettä vaahtokertoimissa, niin prosessiin aiheutetaan helposti heiluriliike, joka heijastuu koko rikastusprosessin kapasiteettiin ja laatuun.

Oikeanlaisesti toteutetusta kunnossapitojärjestelmästä saadaan niin paljon hyötyjä ulos, että järjestelmä maksaa nopeasti itsensä takaisin. Järjestelmä on hankittava viimeistään tuotantolaitteiden hankintavaiheessa, ja järjestelmän valintaan ja käyttöönottoon on panostettava. Investointiprojektissa kunnossapidollisiin asioihin on varattava osaavia henkilöitä, jotka samanaikaisesti rakentavat laitehierarkian (master datan) valmiiksi kunnossapitojärjestelmään. Jos laitehierarkia ei ole kunnossa, ei kunnossapitojärjestelmästä ole mitään hyötyä. Kunnossapitojärjestelmässä pitää olla myös tarvetta palvelevat kustannuspaikkaluokitukset. Kustannuspaikkanumeroiden syöttämisen pitää olla vaatimuksena kunnossapitotyön etenemiselle järjestelmässä. Kustannuskohdistus on tärkeä oikein toteutuneen kustannusseurannan ja kunnossapidon kehitystoiminnan suunnittelun lähtötiedoiksi. Kunnossapitojärjestelmässä pitää olla myös investointien kustannusnumerot.

Kriittiset varaosat on löydyttävä omasta varastosta. Muutamissa prosessilaitteissa on sovittu hankintavaiheessa, että toimittaja pitää määrätyt osat Suomen varaosavarastossa. Euroopan varastosta tuotteen saapuminen Pohjois-Suomeen kestää 1,5 – 3 vrk. Varastonarvon saa minimoida ainoastaan kaupintasopimuksien kautta, mutta on muistettava, että kaupinnalla on aina myös oma hintansa. Kulutusosissa on tehty sopimus Metson kanssa kaupintavarastoperiaatteella. Kaupintavarastossa on syöttimien-, murskainten- ja myllyjen kulutusosat, käsittäen sekä teräksiset ja kumiset kulutusosat. Laitteistosuunnittelussa on käytettävä mahdollisimman paljon samoja, saman laitetoimittajan ratkaisuja. Tällöin

säästetään varaosavarastossa. Tämä seikka on tärkeä ottaa huomioon eteenkin pumppujen valinnoissa.

Case Taivaljärvi

Sotkamo Silver kehittää hopea- kulta- ja sinkkiesiintymiä Pohjoismaissa. Yhtiöllä on pitkälle viety hopeakaivosprojekti Taivaljärvellä Kainuussa. Kaivos sai ympäristöluvan huhtikuussa 2013 ja yksityiskohtainen tekninen suunnittelu on käynnissä. Vuotuisen louhittavan kiven määrän on tällä hetkellä arvioitu olevan 350 000-450 000 tonnia. Suunniteltu rikastusmenetelmä on tavanomainen vaahdotusprosessi, joka tuottaa kahta tyyppiä rikastetta: sinkki ja lyijy-hopea. Vuotuinen arvioitu rikastetuotanto on 4000 - 5000 tonnia.

Rikastamon suunnittelu suoritetaan kahdessa vaiheessa: 1. layout-taso 2. detaljitaso. Käytännön käyttövarmuussuunnittelu tehdään viimeistään detalji-tasolla, jossa on oltava kunnossapidon edustusta mukana. Taivaljärven rikastamon suunnitelmat eivät ole vielä detalji–tasolla, mutta suunnittelusta vastaavien henkilöiden vanhasta kokemuksesta voidaan jo puhua, miten asiat pääpiirteessään tulisi olla. Detalji-tasoisten suunnitelmien on oltava valmiit kuitenkin silloin, kun laitekantaa ryhdytään asentamaan. Usein käy valitettavasti niin, että laitteet hankitaan, asennetaan ja laitetaan käyntiin, ja vasta sitten ryhdytään suunnittelemaan kuinka näiden kunnossapito järjestetään. Tällöin ollaan jo auttamattomasti myöhässä, mikäli tavoitellaan hyvää käyttövarmuutta. Laitosta ei saa suunnitella liian ahtaaksi. Nosturilla, trukilla tai vähintään pumppukärryllä on päästävä toimimaan kaikkien laitteiden lähelle. Jokaisen laitteen huolto ja vaihto tulee käydä ajatustasolla läpi viimeistään detalji-suunnitteluvaiheessa. Sähkömoottoreille, isoille pumpuille ja vaihdelaatikoille on laadittava vaihtosuunnitelma, jossa selvitetään laitteen siirtoreitti koneella tai nosturilla. Detalji-suunnittelussa on mietittävä tarkasti kunnossapitoasioita. Yleensä suunnitelmissa määräävässä asemassa on prosessitekniset asiat, kuten pumppausmatkat. Eli suunnittelun marssijärjestys on, että ensin energiatehokkuus, sitten kunnossapidettävyysnäkökohdat.

Tuotantotavoitteet jalkautuvat tuotantostrategiaan, joka määrittelee käytettävyystavoitteen. Rikastamon käytettävyyssuunnittelun lähtökohtana on käytettävyystavoite, joka asetetaan yksittäiselle laitteelle ja laitokselle. Laitetoimittaja si-

toutuu tähän ja miettii varaosakuviot ja materiaalit, joilla luvattuun tavoitteeseen päästään. Toimittaja tekee kaikkensa päästäkseen sovittuun tavoitteeseen, sillä onnistumisen tavoite on kaikille osapuolille yhteinen. Sanktioiden koko on mietittävä tarkkaan, vaikkakin ne ovat tuotannonmenetyskustannuksiin verraten yleensä kuitenkin lähinnä kosmeettisia. On kuitenkin yleisesti tiedostettua, että sanktioiden laukeaminen on laitetoimittajalle häpeällistä, sillä maine on tärkeässä osassa tulevien kauppojen suhteen. On muistettava, että osakokonaisuuden käytettävyys on aina eri kuin koko laitoksen. Laitoksen suunnittelussa asetetaan koko laitoksen käytettävyys, jonka jälkeen ostaja osittaa hankinnan ja asettaa koko laitoksen käytettävyyteen perustuvan yksittäisten laitteiden käytettävyyden niin, että kokonaisuuden käytettävyys täyttyy. Yksittäisellä laitteella on oltava aina suurempi käytettävyys kuin kokonaisuudella, jotta yhtälö toteutuu.

Kunnossapitotoiminta jaetaan omaan ja ostettavaan palveluun. Kokonaisuus ja toimintamalleista sopiminen ratkaisee sen, minkälaiseen ratkaisun lopulta päädytään. Useilla eri toteutusratkaisuilla uskotaan pääsevän hyvään kokonaisratkaisuun. Ulkoisena ostopalveluna saadaan hyviä työkaluja sekä hyviä sitoutuneita työmiehiä. Kunnossapitopalvelun laadun on katsottu olevan alueella hyvää. Toteutusta ohjaava suure kaivoksen aloitusvaiheessa on se, että sidottu pääoma pitää pyrkiä pitämään mahdollisimman pienenä. Talvivaaran kaivoksen myötä on Kajaaniin tullut paljon kunnossapito-osaamista ja kunnossapitopalveluita myyviä yrityksiä, joten alan erityisosaamista löytyy alueelta. Tämä vähentää itse ylläpidettävää erityisosaamista. Ostettujen palvelujen määritysvaiheessa on toimivan yhteistyön varmistamiseksi tärkeää määritellä tavoitteet halutuksi ja realistisiksi.

Omasta osaamisesta tärkeimpänä nähdään kunnossapidon johto ja -suunnittelu sekä ennakkohuolto (EH), vaikkakin näihin löytyy osaamista myös ostopalveluna. Kunnonvalvonta on läheisesti sidoksissa EH:n ja kunnossapidon suunnitteluun, joten tähän seikkaan nojaten se lähtöarvoisesti kannattaa pitää itsellä. Kunnonvalvonnan suorittamisen pitämisenä omana työnä puolustaa myös oman osaamisen kehittäminen, vaikka myös kunnonvalvontapalveluita löytyy lähialueelta. Omaa kunnossapito-osaamista pitää joka tapauksessa olla jonkin verran päivävuorossa. Ostopalveluna hankittavaksi kunnossapitopalveluksi sopii parhaiden toteuttavasta työstä se osuus, joka ei vaadi erityisosaamista, eli ns. ryskätyö ja suuremmat seisokkityöt. Myös vuorokunnossapidon hankintamahdollisuutta ostopalveluna tutkitaan.

Kunnossapidon suurempia koneistuslaitteita ei ole tarkoitus hankkia itselle, koska takaisinmaksuaika on pitkä. Matkat palveluntarjoajien verstaspalveluihin eivät ole ylitsepääsemättömän kriittisiä. Kiinteitä kunnonvalvontalaitteita ei myöskään hankita. Suunnitelmissa on toteuttaa kunnonvalvonta kenttätyönä kannettavin kunnonvalvontaratkaisuin. Rikastamon laitteissa on pienet pyörintänopeudet, joten kannettavilla laitteilla uskotaan pärjäävän. Kannettaviin ratkaisuihin päätyminen on puhdas kustannuskysymys. Mikäli yksittäisissä tapauksissa ilmenee tarvetta käynnin seuraamiseen esimerkiksi kiihtyvyysanturein, asiaa voidaan myöhemmin harkita. Esimerkiksi tuotannonohjausjärjestelmään kytketty käynninvalvontaratkaisu voi tulla kysymykseen, mikäli toteutuksen hyöty on suurempi kuin kustannukset.

Varaosavaraston suunnittelu tehdään vika- vaikutus- ja kriittisyysanalyysin (VVKA) pohjalta. Kriittisten osien varasto on harkittava hyvin tarkkaan. Varaosavaraston vaatimuksia sanelevat myös vakuutusyhtiöt vakuutusehtojensa kautta. Laitetoimittaja yrittää myydä liikaa varaosavarastoa, joten oman harkinnan osuus korostuu. Varaosavarasto on oltava kriittisten osien suhteen valmis tuotannon alkaessa. Varaosamäärä on noin 2-3 % laitoksen hankintahinnasta. Tämä matematiikka on ajan kuluessa todettu oikeaksi kaivosalalla. Kulutustavarat ja kulutusosat eivät kuulu tähän, joten ne tarkastellaan erikseen. Laitetoimittajat yrittävät kytkeä omaan toimitukseen kulutusosapaketteja. Niitä harvoin otetaan koska yleensä saadaan halvemmalla muualta

Taivaljärven kaivoksella ei ole tarkoitus ottaa käyttöön mitään oppikirjanomaista kunnossapitostrategiaa tai -toimintamallia. Strategioiden oppeja ja hyviä käytänteitä kuitenkin sovelletaan. Sovellettavan strategian pohjana pidetään ”Tamperelainen järkevyys”. On myös tiedostettava vaara tehdä kunnossapitoorganisaatio liian hyväksi, koska silloin se tulee helposti myös ylimitoitetuksi, ja se saattaa maksaa liika tuotannon aloitusvaiheelle. Käytön ja kunnossapidon yhteistyö nähdään tärkeäksi. Rikastamon käytöllä ja kunnossapidolla on yhteinen johto, eli molemmat toiminnat ovat rikastamon päällikön alaisuudessa. Näin ollen toiminnasta voidaan puhua termillä käynnissäpito. Kunnossapitoa johtaa kunnossapidon esimies, joka toimii myös työnsuunnittelijana. Käyttömiehet velvoitetaan kunnossapitotehtäviin, eli Taivaljärvellä sovelletaan käyttäjäkunnossapito (ORD) -filosofiaa. Tämä seikka on otettava huomioon rekrytointivaiheessa luodessa uutta organisaatiota.

Kunnossapidon mittaristoja ei ole vielä suunniteltu. Lopulliset toimintaa ohjaavat mittarit on hyvä määritellä työn kautta. Tämä tarkoittaa sitä, että tekeminen itse määrittää onnistumista kuvaavat suureet. Mittareista onnistunutta tuotantoa kuvaavat käytettävyys ja OEE ovat ainakin valittuina. Käyttöönoton antamat indikaatiot (tunnusluvut) ovat tärkeitä verrattaessa toteutumaa laitetoimittajan antamiin suorituskykytakuisiin. Nämä ovat kuitenkin vain mittaustuloksia, eivätkä vielä yksin ratkaise käytettävyystavoitteiden saavuttamista. Laitoksen toiminnan seuraaminen on tärkeää, joten sen toteutumisen mahdollistaminen on varmistettava riittävillä resursseilla seurata kaikkia edellä kuvattuja vaiheita.

Kunnossapitojärjestelmän tärkeys ymmärretään, ja sellainen myös tullaan hankkimaan. Ohjelman toimittaja ei ole vielä tiedossa. Ohjelmista valittaessa on tiedostettava, että nykyisin koneosat, komponentit ja instrumentointi sisältävät paljon älyä ja erinäistä laskentaa. Ohjausjärjestelmää suunnitellessa ja valittaessa on mietittävä, miten tämä informaatio saadaan järjestelmään ja järjestelmästä ulos palvelemaan kunnonvalvontaa ja kunnossapidon suunnittelua ja kehitystoimintaa.

Esimurskaimia ja jauhinmyllyjä ei laitteiden suurten investointikustannuksista johtuen ole järkevää, eikä taloudellisesti mahdollistakaan kahdentaa. Näissä kohteissa on kunnonvalvonta, nopeat varaosatoimitukset ja vaihdettavat kulutusosat (esim. karkeamurskaimen kara) erityisen tärkeässä osassa. Vaahdotuksen kaikille vaahdotuspumpuille ei ole kahdennusta, mutta kaikki koko rikastamon pysäyttävät muut pumput on kahdennettu (esim. raakavesipumput ja jätevesipumput). Suunnittelun periaatteena on pumppujen osalta, että yksikään pumppu ei saa pitää rikastamoa yli neljää tuntia pysäyksissä. Taivaljärven rikastamolle on suunnitteilla kaksi sarjaan kytkettyä jauhinmyllyä. Primäärijauhatuspiirissä on vaihtoyksiköitä, joten huoltotoimenpiteitä ja kulutusosien vaihtoa voidaan tehdä tuotannon aikana

Taivaljärven kohteessa malmi on kohtuullisen helposti murskattavaa, mutta jauhatuksessa ja pumppauksessa on vaikeutena kuluttavaa kvartsimineraali. Pumppujen vuorausmateriaaleja ei ole vielä valittu. Vuoraukseen on useita eri vaihtoehtoja ja tyypillisimpiä ovat kumivuoraukset. Taivaljärven rikastamolla on alustavasti suunniteltu käytettävän kovavuorauksia. Laitetoimittajat antavat vuorausasioihin erilaisia suosituksia ja käyttöaikatakuita, jotka ovat mineraalimateriaalin kovuuslukuihin kytkettyjä. Takuut ja hinta ovat ratkaisevassa asemassa valintaa

suoritettaessa. Ensimmäiseen kulutuskertaan kannattaa valita investoinnin rahoitussyistä ja kokemuksen kartuttamismielessä edullisempi vaihtoehto, jolloin myöhemmin hankitaan lopullinen ja ehkä kustannuksiltaan suurempi vaihtoehto, mikäli alkuperäisen valinnan muutokseen nähdään tarvetta. Myllyn kulutusosien (vuorauksen) kuntoa seurataan koko ajan, ja vaihto suoritetaan suunnitellun vaihto-ohjelman mukaan. Tällöin seisokkisuunnittelussa on mietitty ja ohjeistettu selkeästi, että esimerkiksi vaihdetaanko syöttöpään kuluvampi sektori tai koko myllyn vuoraus kerralla. Jauhinmyllyjen kulutusosien vaihto dominoi rikastamon seisokkisuunnittelua ja käyttöä, ja näin ollen myös dominoi rikastamon käytettävyyttä.

Oikeaoppisesti toteutetussa investoinnissa on kunnossapidon edustus mukaan (kone-, sähkö- ja automaation asiantuntijat). Näin menetellen saadaan sitoutettua henkilöstöä investoinnin ja käytön onnistuneeseen toteutumiseen. Suunnitteluvaiheessa on otettava myös asentajia mukaan. Hyvää toteutusratkaisua etsittäessä on ymmärrettävä, että se vaatii paljon keskustelua, jaksamista ja haettuja kompromisseja oikeiden asioiden suhteen. Tämä vaihe kannattaa kuitenkin tehdä huolella, vaikka se vaatii paljon voimavaroja. Asioiden sanotaan olevan helposti tuttuja, mutta on huomattu, että aina on löydetty asioita läpikäytäessä parempia ratkaisuja. Kirjanopillinen ”oikeaoppinen hankinta kunnossapitonäkökohdat huomioiden” on uuden laitoksen suunnittelussa lähes mahdoton käytännössä toteuttaa käytössä olevin resurssein. Jos hankintavaiheessa olisi kunnossapito-organisaatio olemassa, niin ne henkilöt olisivat suunnittelussa mukana. Todellisuudessa sitä organisaatiota ei siinä vaiheessa vielä ole muodostettu

Hankintavaihetta seuraa toimitusvalvonta, jossa seuraamassa laitteen kehitystä, valmistusta tai rakentamista. Toimitusvalvonnassa varmistetaan laitteen oikea rakentamistapa, sekä suoritetaan vaaditut kriittiset valmistusaikaiset mittaukset ja tarkastetaan valmistuspöytäkirjat. Toiminnan tarkoituksena on varmistaa, että laite on todella sellainen, mikä on haluttu tilata. Riippuen valmistusaikataulusta ja laitteesta laitetoimittajan luona käydään 3-4 kertaa, ja esimerkiksi jauhinmyllyn valmistus kestää 12 kuukautta. Tarkoituksena on olla mukana kriittisissä valmistusvaiheissa. Toimitusvalvonta on tärkeää hyvän käyttövarmuuden saavuttamiseksi.

Laitteen valmistumisen jälkeen laitetoimittaja koeajaa laitteen omissa tiloissaan. Tällöin on ensiarvoisen tärkeää olla mukana. Mittaustulokset (kunnonvalvonta-data) on saatava mukaan näistä ajoista. Jos on jo olemassa omaa kunnonvalvontaosaamista, niin olisi hyvä, että oma kunnonvalvonta osaaja suorittaa vaaditut mittaukset. Näin koneessa havaitut erityisominaisuudet tulevat paremmin seurantaan. Laitteiden asennusvaiheessa asennusvalvonnan tehtävänä on varmistaa, että laitteet asennetaan niin kuin kuuluu. Asennusvalvonnan tehtävänä on myös varmistaa, että työt dokumentoidaan sovitusti tilaajan kannalta, ja dokumentointi täyttää viranomaisvaatimukset.

Tuotantolaitoksen koneet ja laitteet ostetaan käytteenotettuna. Tähän kuuluu myös sopimus, että laitetoimittajan miehistö on varmistamassa koneiden oikean käytön tuotannon alkuvaiheessa. Laitoksen käyttöönotoissa on oltava mukana laitetoimittajan ohjaus, jolla on tässä vaiheessa vastuu laitteen tai laitoksen oikeasta käytöstä. Laitoksen toimintaa mitataan, eli seurataan päästäänkö ennalta sovittuun käytettävyystavoitteeseen. Käyttöönotossa seurataan kaikkien yksittäisten koneiden kuntoa, tehdään EH–toimenpiteet ja seurataan tarkkaan kulutusosien kulumista. Kulutusosien kohdalla mikään osa ei saa päästä kulumaan loppuun, ja näin ollen kuluminen ei ala syödä koneen runkoa. Tämä on ehdottoman tärkeää toteuttaa huolella, koska ei ole vielä hankittua kokemusta kulumismekanismista ja sen nopeudesta.

Käyttöönottoon on varattava resurssia, koska seuraaminen vaatii paljon kenttätyötä. Heikoista kohteista on ennakko- ja kokemustietoa, mutta siitä huolimatta on kuitenkin aina yllätyksiä. Käytettävyyteen liittyvät asiat on muistettava myös raportoida. Näitä ovat mm. kunnonvalvonnan tuloksena saatu tieto, koneiden kunnon kehitys, EH–toimenpiteet ja kulutusosien sekä laitteiden kulutuskäyttäytymisen.

<u>Case Talvivaara - Metallien talteenottolaitoksen kunnossapito</u>

Metallien talteenottolaitos muistuttaa kemiantehdasta ja sen kunnossapitäminen on haastavaa, mutta sitäkin tärkeämpää. Prosessi on ajettava vaiheittain ylös ja sen hallitsemattomat alasajot aiheuttavat ylimääräisiä ympäristövaikutuksia ilmaan sekä ympäröiviin vesistöihin. Suomen kaivoksilla metallien talteenottolaitos on ainakin toistaiseksi vain Talvivaarassa.

Kunnossapidon kannalta erityistä huomiota metallien talteenottolaitoksessa on kiinnitettävä niihin laitoksen kohtiin tai prosessikokonaisuuksiin, jotka voivat aiheuttaa koko linjaston alasajon tai äkillisen pysähtymisen. Tässä korostuu juuri ennakkohuolto, ennakkotarkastukset ja mittaava kunnossapito, joiden tehtävänä on jo hyvissä ajoin ennen vikojen syntymistä ennakoida niitä ja luoda kuva laitteiden kunnosta ja näin ennakoida tulevaa. Näihin kriittisiin kohteisiin, kuten esimerkiksi Talvivaaran kaivoksella rikkivetytehtaisiin on kiinnitettäväkin erityistä huomiota, jotta niiden vikojen seurauksena ei jouduta pysäyttämään toista tai kumpaakin tuotantolinjaa. Talvivaarassa eri prosesseissa kuten rikin sulatuksessa ja kalkkitalolla olevien varastosäiliöiden ansiosta kunnossapidolle jää aikaa tehdä suunniteltuja ja suunnittelemattomia töitä ilman että tuotantoa joudutaan pysäyttämään. Kunnossapidon ja tuotannon yhteistyö on myös erittäin tärkeää, sillä vain sujuvalla yhteistyöllä kunnossapito pystyy vastaamaan tuotannon asettamiin tavoitteisiin ja näin toimimaan kaikkien edun mukaisesti. (Miettunen 2012)

Talvivaaran kaivoksella kunnossapito oli vuonna 2012 jaettu kahteen eri organisaatioon, malmintuotannon kunnossapitoon sekä metallin tuotannon kunnossapitoon, jotka toimivat erillisinä kokonaisuuksinaan omilla osastoillaan. Tämän lisäksi kunnossapito jakautui vielä osastojen sisällä eri alueiden kesken pienempiin osa-alueisiin sekä sähkö-automaatioon ja mekaaniseen kunnossapitoon, jotka hoitavat omaan osaamiseensa liittyviä kunnossapidollisia tehtäviä. (Miettunen 2012)

4.6.4 Kunnossapidon ulkoistaminen

Case 1 – ABB:n rahoitus- ja kunnossapitopalvelut: Sotkamo Silver Oy ja ABB allekirjoittivat aiesopimuksen hopeakaivoksen sähköistyksestä ja automaatiosta. Sopimus sisältää kaivoksen sähkönjakelujärjestelmän, kaivoksen sähköistyksen sekä instrumentoinnin ja automaation. Sopimukseen voidaan kytkeä myös huolto- ja ylläpitopalvelut. Sopimuksen arvo on noin 5 miljoonaa euroa ja ABB järjestää sille rahoituksen toimituksen yhteydessä. (ABB 2013)

Yllä oleva sopimus on esimerkki laitetoimittajien kaivoksille tarjoamista uusista palveluista. ABB ei toimita kaivokselle pelkästään laitteita vaan Sotkamo Silverille tärkeä osa sopimusta on 5 miljoonan euron rahoitus osana toimitusta. Toinen laitteisiin sidottu palvelu ovat mahdolliset huolto- ja ylläpitopalvelut. Tarjoamalla

rahoituspalvelua osana laitetoimitusta ABB saa mahdollista kilpailuetua ja verrattuna muihin toimittajiin, mutta toisaalta se ottaa riskin tarjoamalla rahoitusta aloittavalle kaivosyhtiölle. Huoltopalveluiden kautta ABB:lla on taasen mahdollisuus saada lisää liikevaihtoa ja tuottoja.

CASE 2 - Metson rahoitus- ja kunnossapitopalvelut: Metso ja Northland Resources AB solmivat sopimuksen viisivuotisesta huolto- ja tarkastusohjelmasta Kaunisvaaran jauhatuslinjalle Pohjois-Ruotsissa. Sopimus täydensi Metson aikaisemmin julkaisemia projektitilauksia yhtiölle. Tilauksen arvo oli 19 miljoonaa euroa. Metson elinkaaripalveluohjelma (Life Cycle Services, LCS) sisälsi Tapuli-prosessilinjan semiautogeenimyllyn myllyvuorausten toimitukset ja asennukset, sekä teknistä ja ylläpitotukea Kaunisvaarassa. “Olemme tyytyväisiä tästä sopimuksesta, joka maksimoi jauhatuslinjan saatavuuden,” sanoo Shane Williams, Northland Resources AB:n projektijohtaja. “Kyseessä on kustannukset per tuotettu tonni (cost-per-ton) -sopimus, joka auttaa meitä ennustamaan kulut pitkällä aikavälillä. Tämä on erittäin hyödyllinen seikka kokonaisinvestoinnin huomioon ottaen.” (Metso 2011)

Metso otti ylläolevassa sopimuksessa normaalisti kaivosyhtiölle kuuluvaa riskiä kun se myi laitteiden sijaan murskattuja tonneja. Tämän tyyppiset sopimukset kiinnostavat kaivosyhtiöitä, koska se alentaa niiden sijoitetun pääoman tarvetta. Sopimuksessa merkittävä osa kunnossapitovastuusta siirtyi kaivosyhtiöltä Metsolle tavoitteena parantaa jauhatuslinjan saatavuutta verrattuna malliin jossa kaivosyhtiö vastaan kunnossapidosta. Yllä oleva sopimus sisälsi riskejä Metsolle, joista sitten osa toteutui Northland Resources -yhtiön ajauduttua rahoitusongelmiin. Vaarana oli yhtiön ajautuminen konkurssiin, jolloin Metsolle, ja monelle muulle toimittajalle, olisi jäänyt merkittäviä saatavia. Tämän vuoksi 30.5.2013 Metso ilmoitti olevansa mukana yhteenliittymässä, joka sijoittaa yhteensä 100 miljoonaa dollaria Northlandin velkakirjoihin kaivoksen uudelleenrahoittamiseksi. Vastineeksi yhteenliittymä sai nimetä neljä jäsentä Northlandin seitsenhenkiseen hallitukseen. Lisäksi uudelleenrahoitus sisälsi Metson saataviin liittyvän pitkäaikaisen maksuohjelman.

4.7 Kehitysehdotuksia kaivosteollisuuteen

Suomalaiset kaivosyhtiöt eivät suoraan kilpaileva keskenään muusta kuin työvoimasta. Metallien hinnat määräytyvät kansainvälisillä markkinoilla ja Lontoon metallipörssissä, London Metal Exchangessa (LME). Tämän vuoksi kaivosyhtiöt voisivat tehdä nykyistä enemmänkin yhteistyötä hyvien esimerkiksi käytänteiden jakamiseksi, kustannusten laskemiseksi ja tuotantoon sitoutuneen pääoman pienentämiseksi. Yritysten välisessä yhteistyössä on kuitenkin noudatettava Suomen ja EU:n kilpailulainsäädännön asettamia rajoitteita.

Kunnossapidon näkökulmasta yhteistyötä voitaisiin tehdä seisokkien suunnittelussa. Kaivoksilla pidetään muutaman kerran vuodessa useista päivistä pariin viikkoon kestäviä suunniteltuja kunnossapitoseisokkeja, joiden aikana huolletaan laitteita. Seisokkeja varten tarvitaan usein ulkopuolista työvoimaa tekemään kunnossapitotöitä. Kunnossapitopalveluita tarjoavat yritykset voisivat tarjota kaivosyhtiöille parempi palveluita ja/tai halvemmalla, jos kaivokset voisivat keskenään sopia seisokkiensa ajoittuvat eri aikaan. Kun seisokit olisivat eri aikaan, olisivat kunnossapitopalveluita tarjoavien yritysten työvoimatarve ja kuormitus tasaisempi. Esimerkiksi paperiteollisuudessa Efora Oy vastaa Stora Enson suomen tehtaiden kunnossapidosta sekä Botnia Mill Service Oy puolestaan Metsä Fibre Oy:n Suomen tehtaiden kunnossapidosta. Samantyyppinen, kaivosteollisuuteen erikoistunut ja riittävän suuri, kunnossapidon palveluyritys voisi toimia kaivosteollisuudessakin. Ongelma on suomalaisten kaivosten hajautunut omistus, sekä se että etenkin aloittavilla kaivoksilla seisokkien suunniteltu ajankohta voi muuttua nopeasti ennakoimattomien laiterikkojen seurauksena.

Toinen yhteistyön muoto voisi olla yhteinen varaosapooli. Suurilla laitevalmistajilla on nykyisin keskitetyt varaosavarastot, joista varaosia saa yleensä melko nopeasti. Siitä huolimatta, etenkin suurten ja kalliiden varaosien saatavuus on huonoa ja toimitusajat pitkiä. Yksittäisellä suomalaisella kaivoksella ei ole varaa pitää yhtä kalliita varaosia varastossa kuin usealla suomessa sijaitsevalla kaivoksella. Suurten varaosien toimittaminen Aasiasta ja Pohjois-Amerikasta voi kestää useita kuukausia kun ne ensin valmistetaan ja kuljetetaan laivalla Eurooppaan ja sieltä Suomeen. Pohjoismaiset laitevalmistajat voisivat olla mukana yhteistyössä luomassa suomalaista ja pohjoismaista varaosapoolia. Mahdollisia ongelmia oli-

sivat kaivosten käyttämien laitteiden monimuotoisuus ja kaivosten oikeus käyttää varaosia tilanteessa, jossa kaksi kaivosta tarvitsee samaa varaosaa samanaikaisesti.

Liite 2. Kunnossapitostrategiat ja kaivoksen koko

	Pieni kaivos (1-100 työntekijää)	Keskisuuri kaivos (100–500 työntekijää)	Suuri kaivosyritys (yli 500 työntekijää)
RCM	Liian raskas ja resursseja vaativa strategia pienelle yritykselle	Raskas toiminnan alkuvaiheessa, mutta voidaan soveltaa rajattuihin kohteisiin tai laajemminkin kaivoksen elinkaaren kasvaessa	Voidaan soveltaa kohteisiin/osastoihin joilta edellytetään korkeaa käyttövarmuutta
TPM	Soveltamismahdollisuudet ovat erittäin hyvät, nopea käyttöönotto	Soveltuu hyvin, ns. perusvarma ratkaisu varsinkin alkuvaiheessa ja elinkaaren keskivaiheilla	Soveltuu hyvin, mutta ei välttämättä riitä saavuttamaan maailmanluokan tasoa
Asset management	Voi olla hieman raskas ja tehoton pienellä kaivoksella.	Paras strategia pääoman tuottokyvyn parantamiseksi, mutta hieman raskas menetelmä keskisuurelle kaivokselle.	Paras strategia pääoman tuottokyvyn parantamiseksi. Suurilla kaivoksilla ovat parhaat mahdollisuudet tarkastella toimintaa omaisuuden hallinnan näkökulmasta.
e-Maintenance	Voidaan soveltaa yksittäisiin kohteisiin. Vaatii kehitysresursseja.	Kannattaa soveltaa maltillisesti yksittäiseen kohteiseen. Etävalvonta voi tarjota tulevaisuudessa merkittäviä hyötyjä.	Keskitetty etävalvonta tarjoaa tehostamismahdollisuuksia etenkin suurille kaivosyrityksille, joilla on useita kaivoksia.
Condition-Based Maintenance	Kriittisimmät avainkoneet kannattaa instrumentoida	Kannattaa hyödyntää, mutta varsinkin käynnistysvaiheessa vain avainkoneisiin. Mittaustulosten analysoiminen voi vaatia ulkopuolista osaamista.	Kannattaa hyödyntää siten, että sovelluskohteet valittava panos-tuotos periaatteella.

5 Lähteet

Aalto H (1994) Kunnossapitotekniikan perusteet. Loviisa, Kunnossapitoyhdistys ry.

ABB (2013) ABB sähköistää Suomen ensimmäisen hopeakaivoksen. Lehdistötiedote 26.4.2013. http://www.abb.fi/cawp/seitp202/76afd6fcc29d1ac6c1257b5900222cb0.aspx

Alen H & Kautto J (2012) Kuntoon perustuva kunnossapito artikkeli. Promaintlehti 7, 2012: 25 – 27.

Bevilacqua M & Braglia M (2000) The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selections. Reliability Engineering & System Safety. Vol 91, No 7, pp 839-848.

Dolan K & Meredith R (2001) Ghost cars, ghost brands - Cover Story. Forbes Magazine. Volume: 10106-10112.

Emery J (1998) Improving Coal Mining Production Performance through the application of Total Production Management. Underground Coal Operators´ Conference of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy: 71-80.

Finlex (2002) Työturvallisuuslaki, 23.8.2002/738. www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738

Finlex (2005) Laki eräiden teknisten laitteiden vaatimustenmukaisuudesta, 26.11.2004/1016. www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2004/20041016

Guerin T (2002) Heavy equipment maintenance wastes and environmental management in the mining industry. Journal of Environmental Management 66: 185–199.

Hagberg L (1996) Käynnissäpidon johtaminen ja talous. Scandinavian Center for Maintenance Management Ry. Painoyhtymä Oy, Loviisa.

Hakapää & Lappalainen (2009) Kaivos- ja louhintatekniikka. Opetushallitus. Vammalan kirjapaino Oy.

Hakonen M (2012) Kunnonvalvonnan kehittyminen viime vuosikymmeninä artikkeli, Promaint-lehti 8, 2012: 14–18.

Heikkinen P & Noras P (2005) Kaivoksen sulkemisen käsikirja. Kaivostoiminnan ympäristötekniikka. Vammalan Kirjapaino Oy.

Heinonkoski R (1993) Koneautomaation kunnossapito. Opetushallitus. Painatuskeskus Oy, Helsinki.

Hernesniemi H, Ber-Andersson B, Rantala O & Suni P (2011) Kalliosta kullaksi, kummusta klusteriksi – Suomen mineraaliklusterin vaikuttavuusselvitys. Elinkeinoelämän Tutkimuslaitos ETLA. Taloustieto Oy. Unigrafia Oy, Helsinki.

Hitachi (2012) Global e-Service – an Essential Tool. Ground Control. Issue 14, Autumn 2012

Holmberg K., Komonen K., Oedewald P, Peltonen M, Reiman T, Rouhiainen V, Tervo J & Heino P (2004) Safety and Reliability Technology Review. Research Report BTUO43-031209. VTT Industrial Systems. Espoo.

Hovila, Hanna, Okkonen, Jussi 2006. Kokemus organisaation voimavaraksi, eBRC Research Reports 32, Tampere.

Hynninen M (2013) Verkostonhallintaa artikkeli (pääkirjoitus) Promaint-lehti 2/2013.

Inmet mining (2006) Pyhäsalmi – Kunnossapito. Inmet mining. ppt-esitys 25.1.2006

Järviö J (2004a) Ehkäisevän kunnossapidon suunnittelu. RCM – luotettavuuskeskeinen kunnossapito. Kunnossapitokoulutus 17–18.11.2004. PPT-esitys.

Järviö J (2004b) Kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys Ry.

Järviö, J (2007) Compus Maintenance, Osaprojekti 2, Tekninen raportti nro 1. Kemi-Tornio AMK. Service Management Solutions SMS Oy.

Järviö J (2005) Kunnossapidon kehittyminen. TILLIKKA – Road Map Seminaari. Powerpoint-esitys.

Järviö, J (2007) Compus Maintenance, Osaprojekti 2, Tekninen raportti nro 1. Kemi-Tornio AMK, Service Management Solutions SMS Oy, 2007.

Järviö J, Piispa T, Parantainen T & Åström T (2007) Kunnossapito. KP-Media Oy.

Järviö J (2008) Ehkäisevä kunnossapito ja sen suunnittelu 1/2 artikkeli. Promaint-lehti 3: Kunnossapito koulu 101 liite 14–18.

Järviö J & Lehtiö T (2012) Kunnossapito – tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. painos. KP-Media Oy.

Järviö J (2012) Kunnossapidon terminologia artikkeli. Promaint-lehti 7: Kunnossapito koulu 101 liite 1-5.

Kaivoslaki. Internet-sivusto. http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110621

Kauppila P, Räisänen ML & Myllyoja S (2011) Metallimalmikaivostoiminnan parhaat ympäristökäytännöt. Suomen ympäristö 29/2011. Edita Prima Oy, Helsinki.

Kautto J (2011) Kunnonvalvonta haasteiden edessä artikkeli. Promaint-lehti 1, 2011: 12 – 15.

Karjalainen J, Maijala M & Lindgren M (1999) Tuotannollinen ulkoistaminen. Helsinki: Metalliteollisuuden Keskusliitto.

Knights P & Oyanader P (2001) Best-In-Class Maintenance Indices in Chilean Open-Pit Mines. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Komonen K (1998) Teollisuuden kunnossapidon rakenne ja tehokkuus. Report No 5. Espoo, HUT. 189 s.

Komonen K (2004) Fyysisen käyttöomaisuuden hallinta – käynnissäpidon vaikutus yrityksen tuottavuuteen. PROGNOS-hankkeen vuosiseminaarin aineisto Joulukuu 2004, VTT.

Komonen K (2009) Tuotanto-omaisuus hallintaan artikkeli, Promaint-lehti 6, 2009: 8-13.

Koskinen K (2011) Automaatio- ja tietojärjestelmien integroinnista. - Näkökulmana teollisuuden käynnissäpito. Luento TTY:ssa 7.10.2011. Aalto-yliopisto.

Lainattu 25.7.2013 http://www.ac.tut.fi/aci/courses/aci-21050/TIJIKalvot5S2011.pdf

Kärri T (2000) Perusteollisuus muuttuvassa toimintaympäristössä 2000–2030: Malli investointitarpeelle. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Tutkimusraportti 121.

Kärri T, Marttonen S, Sinkonen T & Ukko J. (2012) Tunnista, mallinna ja johda arvoa artikkeli. Promaint-lehti 7: 7-15.

Lahdelma S (2002) Kokemuksia kiihtyvyyttä korkeampiasteisten aikaderivaattojen käytöstä vikojen toteamisessa. Kunnossapito 16(2002)9: 29–32.

Lahdelma S & Kotila V (2003) Reaaliderivaatat - uusi tapa käsitellä signaalia. Kunnossapito 17(2003)8: 39–42.

Malinen P (1996) Kokonaisvaltainen kunnossapitokonsepti kilpailukyvyn perustana – Kunnossa- ja käynnissäpito 96, IIR Finland Oy. Helsinki, 12–13.6.1996

Miettunen M (2012) Lean periaatteiden soveltaminen käynnissäpitoryhmän toimintamallin kehittämisessä. Diplomityö. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto.

Mikkonen H, Miettinen J & Leinonen P (2009) Kuntoon perustuva kunnossapito, 1.painos. Kunnossapitoyhdistys Promaint ry.

Mikkonen H (2011) Pääkirjoitus: Kunnossapito ei ole salatiedettä. KP-Media Oy. ProMaint 2/2011.

Metso (2011) Metso toimittaa jauhatuspalveluita Northland Resources -yhtiöille Ruotsiin. www.metso.com/news (luettu 22.1.2014)

Metso (2013) Metso on mukana yhteenliittymässä, joka sijoittaa Northland Resources -yhtiöön. www.metso.com/news (luettu 22.1.2014)

Mobley RK (2002) An introduction to predictive maintenance. 2nd ed. Elsevier Science. New York, NY.

Moubray J (1997) Reliability- Centered Maintenance. 2. painos. Industrial Press Inc. New York.

Muller A, Marquez AC ja Iung B (2008) On the concept of e-maintenance: Review and current research. Reliability Engineering and System Safety 93, 1165–1187.

Mäki K (2009) Luentomateriaali kunnossapidosta.

Mäkipirtti I (2013) Kehityksen kärjessä artikkeli, Promaint-lehti 2, 2013 ss. 28 – 30.

Nakajima S (1989) TPM Development Program – Implementing Total Productive Maintenance. Productivity Press, Inc. Cambridge

Nohynek P & Lumme V-E (2004) Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. Kunnossapitoyhdistys Ry. Loviisa: Painoyhtymä, 2. painos.

Ojansivu L (2012) Kunnossapito menestystekijä verkkojulkaisu. Leikattu 18.12.2012 http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_1-1_mita_on_kunnossapito.html

Otmishi J (2012) Caterpillar Electronic Data Condition Monitoring Services – IADC Rig Condition Monitoring Workshop. January 19, 2012. ppt-esitys

Pajarinen M (2001) Ulkoistaa vai ei – Outsourcing teollisuudessa. Helsinki, Tummavuoren Kirjapaino Oy.

Rauhala V (2013) Käynnissäpidon tiedonkeruun tehostaminen. KÄYNTI – käynnissäpidon tiedonhallinta. Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun julkaisuja. Sarja B. Raportit ja selvitykset 1/2013. Uniprint, Oulu 2013.

Seidler-de Alwis R & Hartman E (2008) The use of tacit knowledge within innovative companies: knowledge management in innovative enterprises.

Siimes A, Rauhala V, Parkkila L, Kotkansalo A & Tarvainen J (2014) Käynnissäpidon toimintamalli. Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu. Projektiraportti.

Simoes JM, Gomez CF & Yasin MM (2011) A literature review of maintenance performance measurement – a conseptual framework and directions for future research. Journal of Quality in Maintenance Engineering. Vol 17, No 2. pp 116-137.

Shahin A, Shirouyehzad H & Pourjavad E (2012) Optimum maintenance strategy: a case study in the mining industry. International Journal of Services and Operations Management 12 : 1744-2370.

SKF (2011) Internet-pohjainen etävalvonta. SKF Forum Suomi. nro 24.

SKF (2013) SKF Client Needs Analysis - Asset Management http://www.skf.com/au/services/asset-management-services/consultancy-services/client-needs-analysis-asset-management/index.html Lainattu: 8.3.2013

Standardi PSK 7501:2010 Prosessiteollisuuden kunnossapidon tunnusluvut. PSK Standardointiyhdistys ry.

Standardi SFS-EN 15341:2010 (2007, suomennettu 2010) Kunnossapito. Kunnossapidon avainluvut

Standardi PSK 6201:2011 Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät.

PSK Standardointiyhdistys ry.

Standardi EN 13306:2010 Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia.

Standardi SFS-IEC (600)50–191:2002 Sähkötekninen sanasto. Luotettavuus ja palvelun laatu

Standardi SFS-IEC 50(191) Käyttövarmuus

Standardi PSK 6800, Kriittisyyden luokittelu

Suurla R (2001) Avauksia tietämyksen hallintaan. Teknologian arviointeja loppuraportti, eduskunnan kanslian julkaisu 1/2001. Oy Edita Ab Helsinki.

Tolonen S (2009) Kaivosten kunnossapidon kehittäminen – kokemuksia kunnossapidon auditoinneista Kazakstanissa. Promaint, 4/2009, 36–39

Tuominen K (2010) Lean – Tehoa ja laatua hukan vähentämiseen. Jyväskylä. WS Bookwell Oy.

Vargo SL & Lusch RF (2004) Evolving to a New Dominant Logic For Marketing. Vol. 68, No 1, s. 1-17

Veikkolainen M (2010) Ratkaisuliiketoiminta – Hitsauslaitevalmistajan näkökohdista. Luento 2.2.2010 kurssilla Laajennetun tuotteen tietotekniikka. Aalto-yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, Automaatio- ja systeemitekniikan laitos.

Virtainlahti S (2009) Hiljaisen tietämyksen johtaminen, Talentum Media Oy.

VTT (2006) Prognostic for industrial machinery availability – final seminar. VTT symposium 243. Espoo 12.12.2006

Vähäoja P, Lahdelma S & Leinonen J (2006) On the Condition Monitoring of Worm Gears. In: Proc. of the 1st World Congress on Engineering Asset Management (WCEAM 2006). Gold Coast. Australia. 11.14.7.2006. Paper No. 53: 327-338

Vähäoja P (2006) Oil analysis in machine diagnostics. PhD thesis. ACTA Universitatis Ouluensis Series A: Scientiae Rerum Naturalium, A 458. Oulu. 2006. 76 p. + app. 61 p

KAJAANIN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

KAIVOKSEN KUNNOSSAPIDON JOHTAMINEN

Kunnossapidon johtaminen kaivoksilla -raportti on tuotettu Devico (Development of production integrated condition-based maintenance model for mining industry) -projektissa vuosina 2012–2013. Raportti on tarkoitettu luettavaksi erityisesti kehitysvaiheessa oleville kaivosprojekteille, kaivosalan laitevalmistajille sekä kunnossapitopalveluita tarjoaville yrityksille, mutta myös kaikkien edellä mainittujen tahojen sidosryhmille. Useilla kaivoksilla on ollut ongelmia saada tuotantoprosessin käyttöaste tavoitetasolle riittävän nopeasti. Ensimmäisinä tuotantokuukausina ja -vuosina toiminta muistuttaa enemmän korjaavaa kuin ennakoivaa kunnossapitoa. Kunnossapitokustannusten osuus kaivoksen tuotantokustannuksista on kaivoksesta riippuen noin 20–44 % ja lisäksi huonosta kunnossapidosta aiheutuu merkittäviä tuotannonmenetyksiä. Kunnossapidolla on myös välillinen yhteys kaivoksen ympäristövaikutuksiin. Raportissa kuvataan uudenlainen ennakoivan kunnossapidon toimintamalli aloittaville kaivoksille, jonka avulla ne voisivat saavuttaa tavoitellun käyttöastetason nykyistä nopeammin.

ISBN 978-952-9853-53-3

ISSN 1458-9141

Tekes

Vipuvoimaa EU:lta 2007–2013

Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto