

Antti Juntunen

# Tytyrin kaivoksen ja kalkkitehtaan kunnonvalvonnan esiselvitys



Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2018



KAJAANIN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Tiivistelmä**

**Tekijä(t):** Juntunen Antti

**Työn nimi:** Tytyrin kaivoksen ja kalkkitehtaan kunnonvalvonnan esiselvitys

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), kone- ja tuotantotekniikka

**Asiasanat:** Kunnonvalvonta, Kunnossapito

Tässä opinnäytetyössä tehtiin esiselvitys kunnonvalvonnan käyttöönotolle Nordkalk Oy:n Tytyrin kaivoksessa ja kalkkitehtaassa. Työn toimeksiantajana on laitoksen kunnossapitopalveluita tuottava Quant Finland Oy.

Aiemmin laitoksen kunnonvalvonta on ollut lähinnä aistinvaraista sekä öljyanalyyseja. Vuonna 2017 Quant Finland Oy koulutti yksikön kaksi työntekijää värähtelymittausten suorittamiseen, jolloin kunnonvalvonnan kehittäminen tuli ajankohtaiseksi.

Kunnonvalvonnassa havainnoidaan mitattavissa olevia fysikaalisia suureita, joiden tunnuslukujen ja pitkänaikavälin muutosten perusteella tehdään ennusteita laitteiden kunnosta. Ennusteiden perusteella voidaan suunnitella tulevia kunnossapitotöitä sekä tuottaa liikkeenjohdolle tietoa tuotantolaitteiden tilasta.

Työn aikana tutustuttiin kunnonvalvonnan suunnitteluun ja menetelmiin sekä Tytyrin kaivoksen ja kalkkitehtaan tuotantoprosessiin. Työn lopputuloksena tehtiin toimenpide-ehdotuksia kunnonvalvonnan käyttöönottoon, raportointiin ja jatkokehityshankkeisiin.

**Abstract****Author(s):** Juntunen Antti**Title of the Publication:** Preliminary investigation of Condition Monitoring at the Tytyri mine and limestone factory**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Mechanical and Production Engineering**Keywords:** Condition monitoring, maintenance

This thesis was a preliminary study on the implementation of condition monitoring at Nordkalk Oy's Tytyri mine and limestone factory. The work was commissioned by Quant Finland Oy, which provides with maintenance services for the plant.

Previously condition monitoring at the plant consisted mainly of sensory assessment and oil analyzes. The development of condition monitoring was becoming topical in 2017 when Quant Finland trained two employees of the unit to perform vibration measurements.

The measurable physical quantities are observed by condition monitoring. Condition predictions of the devices are made based on changes in key figures and longevity interval changes. The future maintenance tasks will be planned, and the management will be provided with information on the state of the production equipment based on those predictions.

The design and methods of condition monitoring and the production process of the Tytyri mine and lime factory were introduced during this thesis. Proposals for future actions were made based on the findings

## Sisällys

1	Johdanto .....	1
1.1	Quant .....	1
1.2	Tytyrin kaivos ja kalkkitehdas .....	1
2	Kunnonvalvonta .....	3
2.1	Kunnonvalvonta kunnossapidossa .....	3
2.2	Kunnonvalvonnan rajoitteet .....	4
2.3	Kunnonvalvonnan suunnittelu .....	4
2.4	Kunnonvalvonnan diagnostiikka ja prognostiikka.....	6
2.5	Kunnonvalvonnan tehokkuus ja seuranta .....	6
2.5.1	Toiminnallinen tehokkuus .....	7
2.5.2	Kustannustehokkuus.....	7
2.6	Kunnonvalvonnan raportointi.....	8
2.6.1	Reittiraportti .....	9
2.6.2	Vianselvitysraportti.....	9
2.6.3	Johtopäätösraportti .....	10
2.6.4	Kustannustehokkuuden raportointi.....	10
2.7	Kunnonvalvonnan menetelmät .....	11
2.7.1	Värähtelymittaukset .....	11
2.7.2	Voiteluaineanalyysit .....	13
2.7.3	Ultraääniluotaus.....	14
2.7.4	Lämpötilan mittaus.....	14
2.7.5	Aistinvarainen kunnonvalvonta .....	15
3	Tehtaan ja prosessin kuvaus.....	17
3.1	Prosessi .....	17
3.2	Osastojen kriittisyys .....	18
4	Valvottavat laitteet.....	19
4.1	Kaivos .....	19
4.2	Murskaimet .....	20
4.3	Jauhinmyllyt .....	22
4.4	Kuljettimet .....	22
4.5	Sähkömoottorit ja vaihteet.....	22
4.6	Kulumiselle alttiit kohteet.....	23

5	Kunnonvalvonnan ohjaus ja raportointi.....	24
5.1	Kunnonvalvonnan ohjaus .....	24
5.2	Raportointi.....	25
6	Yhteenveto.....	26
	Lähteet.....	27

## 1 Johdanto

Opinnäytetyössä selvitettiin Quant Finland Oy:n toimeksiannosta kunnonvalvonnan kehittämistä Nordkalk Oy:n Tytyrin kaivokseen ja kalkkitehtaalle. Työn aikana tein toimenpide-ehdotuksia kunnonvalvontatoiminnan käyttöönottoon ja kehittämiseen liittyen.

Ehdotuksien perusteena käytettiin aiemmin laadittua yksikön laitteiden kriittisyysarviota, tehtaan henkilökunnan kokemuksia ja omakohtaisia havaintoja tehtaan prosessista. Kunnossapidon historiatiedon tilastollinen arviointi osoittautui mahdottomaksi, dokumentointikäytäntöjen ja tietojärjestelmien muutosten takia.

Tehtaan kunnonvalvonta on aiemmin koostunut öljyanalyyseistä, kulumismittauksista ja aistinvaraisesta kunnonvalvonnasta. Vuonna 2017 kunnossapitopalvelut tuottava Quant Finland Oy koulutti kunnossapidon työntekijöitä kunnonvalvonnan värähtelymittausten suorittamiseen. Tämän vuoksi työssä käsitellään värähtelymittauksia hieman muita menetelmiä enemmän.

### 1.1 Quant

Quant Finland Oy tuottaa kunnossapitopalveluita eri teollisuudenaloille. Quant on perustettu vuonna 2014 yksityisen sijoitusyhtiön ostettua ABB Oy:n full service liiketoiminnan.

Suomessa Quant toimii noin 20 toimipisteessä ja työllistää noin 250 henkilöä. Maailmanlaajuisesti Quantilla on toimintaa noin 20 maassa ja henkilöstöä on noin 2000 henkilöä. Tytyrissä työskentelee noin 10 Quantin työntekijää.

### 1.2 Tytyrin kaivos ja kalkkitehdas

Tytyrin kaivoksen ja kalkkitehtaan omistaa Rettig Groupiin kuuluva Nordkalk. Nordkalk tuottaa kalkkikivipohjaisia tuotteita teollisuuden raaka-aineiksi, rakentamiseen, maanparannusaineeksi sekä erilaisiin ympäristösovellutuksiin. Nordkalkilla on toimintaa yhdeksässä maassa yli kolmellakymmenellä paikkakunnalla. (Nordkalk NEE Tytyri – Sipoo 2018.)

Tytyrissä kalkkikiven louhinta alkoi 1800-luvun lopulla avolouhintana. Maanalaiseen louhintaan siirtyminen alkoi 1940-luvun loppupuolella, ja pelkästään maanalaiseen louhintaan siirryttiin vuonna 1956. Toiminnan alkuvaiheessa kalkkikivi kuljetettiin muualle poltettavaksi. Kalkkikiven jalostus alueella aloitettiin 1940-luvun lopulla, kun alueelle rakennettiin lajittelulaitos, murskaamo, kivijauheosasto ja kalkkiuuni. (Nordkalk NEE Tytyri – Sipoo 2018.)

Oheistuotteina kaivoksesta saadaan noin neljännes Lohjan kaupungin käyttövedestä ja kalkkiuunien hukkalämpöä toimitetaan kaukolämpöverkkoon vuosittain noin 24 GWh. Nordkalkin kaivostoiminnan lisäksi kaivoksessa toimii Tytyrin elämyskaivos sekä Kone Oy:n hissilaboratorio. (Nordkalk NEE Tytyri – Sipoo 2018.)

## 2 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta on aistinvaraisesti tai teknisillä laitteilla tehtyä havainnointia laitteen senhetkisestä kunnosta, sekä tehtyjen havaintojen pohjalta tehtävää laitteen tulevan toimintakunnon ja kunnossapitotarpeen arviointia. Tehtyjä arvioita käytetään ehkäisevän kunnossapidon ja korjausten suunnitteluun. Lisäksi kunnonvalvonnasta saatua dataa voidaan käyttää hyväksi laitteen elinkaaren hallinnassa ja tulevien laitehankintojen suunnittelussa. (Mikkonen 2009, 100–101; SFS-käsikirja 55-1, 30.)

### 2.1 Kunnonvalvonta kunnossapidossa

Kunnossapito käsittää yrityksen kaikki laitteiden toimintakyvyn ylläpitämiseen tai toimintakyvyn palauttamiseen tähtäävät toimet. Kunnossapidon voidaan siis katsoa alkavan laitteen hankinnan suunnitteluvaiheesta ja päättyvän laitteen käytöstä poistoon. (Mikkonen 2009, 26.)

Kunnossapito voidaan jakaa ennakoivaan ja korjaavaan kunnossapitoon. Korjaava kunnossapito on pääasiassa reagointia laitteen toimintakyvyn heikkenemiseen, kun taas ennakoivalla kunnossapidolla pyritään välttämään vian syntyminen tai pysäyttämään vian kehittyminen.

Ennakoiva kunnossapito puolestaan jakaantuu jaksotettuun ja kuntoon perustuvaan kunnossapitoon. Jaksotettua kunnossapitoa ovat kunnossapitotoimet, joita tehdään määrätyn kalenteriajan, käyttötuntivälin tai laitteen läpi ajetun materiaalmäärän perusteella. Kuntoon perustuvassa kunnossapidossa seurataan laitteen eri parametreja ja suoritetaan kunnossapitotoimia tehtyjen havaintojen pohjalta (Mikkonen 2009, 100.)

Kuntoon perustuvan kunnossapidon tavoitteiden lähtökohtana on tuotannolle ja kunnossapidolle asetetut vaatimukset. Vaatimukset voivat liittyä esimerkiksi laitteiden suorituskykyyn tai kunnossapidon kustannuksiin. Asetettujen vaatimusten perusteella määritetään tarvittavat kunnossapito ja kunnonvalvontatoimenpiteet. (Mikkonen 2009, 140–143.)

Kunnonvalvonta on kuntoon perustuvan kunnossapidon työkalu, jolla pyritään havaitsemaan alkanut vikaantumisen niin aikaisessa vaiheessa, että vika voidaan korjata suunnitellusti ennen laitteen toimintakyvyn heikkenemistä.



## 2.2 Kunnonvalvonnan rajoitteet

Kunnonvalvonnan käyttöönotto ei tarjoa heti yksiselitteistä tietoa laitteiden kunnosta tai tulevista kunnossapitotarpeista, koska toimiva kunnonvalvonta tarvitsee pohjatiedoksi mittausdataa pitkältä aikaväliltä. Kunnonvalvonnan tulokset syntyvät pitkän aikavälin kokemuksen avulla, jolloin ympäristöstä, laitteen kuormituksesta ja ulkoisista muuttujista riippuvat muutokset voidaan erottaa vikaantumista indikoivista muutoksista (Mikkonen 2009, 175.)

Kunnonvalvontatoiminnassa tarvitaan koko organisaation tuki sekä riittävät resurssit. Organisaation tukeen kuuluvat mm. kunnonvalvontalaitteiden päivitykset, henkilöstön koulutukset, toimiva raportointijärjestelmä ja palaute havaintojen perusteella tehdyistä kunnossapitotoimista. Riittävät resurssit varmistavat, että mittauskierrokset tehdään ajallaan sekä mittausdatan riittävän analysoinnin ja tarkentavien mittausten toteutumisen (Mikkonen 2009, 175.)

## 2.3 Kunnonvalvonnan suunnittelu

Kunnonvalvonnan suunnittelun alkuvaiheessa tarkastellaan tuotantolaitoksen laitteiden kriittisyyttä tuotannolle. Kriittisyyden tarkastelussa otetaan huomioon laitteen vikaantumisen vaikutus tuotantoon, laitteiden varmennus sekä laitteen toimintakuntoon palauttamiseen kuluva aika. Lisäksi pyritään tunnistamaan laitteet, joiden vikaantuminen voi aiheuttaa vaaraa ihmisille, ympäristölle tai omaisuudelle (Mikkonen 2009, 139–151.)

Kunnonvalvonnan piiriin valittavien laitteiden osalta selvitetään laitetyypin todennäköisimmät vikaantumismekanismit eli vikaantumiseen johtavat prosessit. Vikaantumismekanismien tunnistamisen jälkeen voidaan määrittää vikaantumisprosessin vaikutukset mitattavissa oleviin suureisiin (Mikkonen 2009, 100-101; SFS-käsikirja 55-1, 22.)

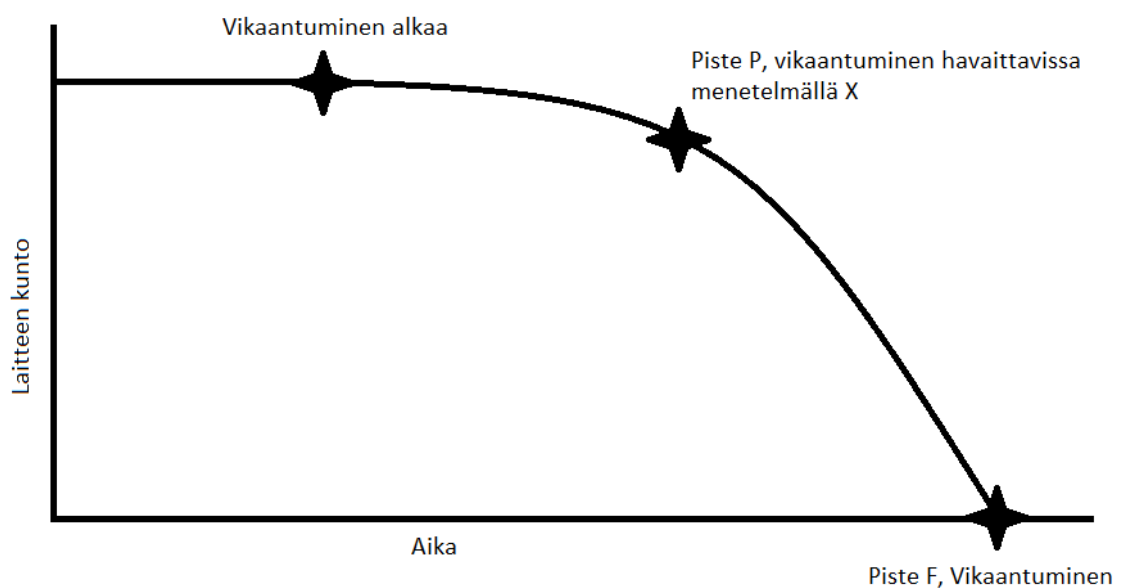
Kunnonvalvonnan menetelmät valitaan vikaantumismekanismien, vian seurausten ja kokonaistaloudellisen arvioinnin pohjalta. Menetelmän valinnassa on huomioitava, että valitulla menetelmällä kyetään havaitsemaan vikaantuminen riittävän aikaisin, jotta vian etenemisen seuraamiseen ja korjauksen suunnitteluun jää riittävästi aikaa (Mikkonen 2009, 140-141.)

Kunnonvalvontamittausten jaksotus suunnitellaan valitun kunnonvalvontamenetelmän ja laitteen vikaantumismekanismien perusteella niin, että poikkeamaan ehditään reagoida

suunnitellusti. Kunnonvalvontamittausten suoritus voi olla tapauskohtaisesti jatkuvaa, määrävälein jaksotettua tai laitteen käyttömäärään perustuvaa.

Jatkuva kunnonvalvonta toteutetaan kiinteästi asennetuilla järjestelmillä, joiden mittausdata siirretään kunnonvalvontajärjestelmän käytettäväksi. Mittausdatan analysointi voidaan automatisoida siten, että kunnonvalvontajärjestelmä hälyttää tai pysäyttää laitteen ennalta säädettyjen raja-arvojen ylittyessä. Jatkovaa mittausdataa voidaan käyttää myös apuna prosessin ohjauksessa esimerkiksi laitteen kuormituksen määrittelyyn.

Jaksoittaisessa ja käyttömäärään perustuvassa kunnonvalvonnassa mittauskierrosten jaksotuksen suunnittelun perusteena voidaan käyttää esimerkiksi oletetulle vikaantumismekanismin tyypillistä P-F-käyrää (kuva 1). P-F-käyrän P-pisteessä vikaantuminen on havaittavissa valitulla kunnonvalvontamenetelmällä ja pisteessä F laitteen kyky suorittaa vaadittua toimintoa päättyy. Kunnonvalvontamenetelmä ja jaksotus valitaan siten, että vian havaitsemisen ja vikaantumisen välille jää riittävästi aikaa valmistautua suunniteltuun korjaukseen. Menetelmävalintoja ja jaksotusta tarkastellaan säännöllisesti mittausdatan ja tehtyjen analyysien pohjalta. (Järviö & Lehtiö 2017, 79; Mikkonen 2009, 140–164.)



Kuva 1. Esimerkki P-F-käyrästä

## 2.4 Kunnonvalvonnan diagnostiikka ja prognostiikka

Kunnonvalvonnassa havaitut poikkeamat käynnistävät vianmäärityksen. Diagnostiikan ensimmäisenä tehtävänä tunnistetaan, aiheutuuko poikkeama alkavasta vikaantumisesta vai jostakin muusta syystä. Vikaantumisen sijaan poikkeamia voivat aiheuttaa esimerkiksi muutokset prosessissa tai olosuhteissa sekä virheet kunnonvalvonnan teknisessä suorituksessa tai tulosten tulkinnassa. (Mikkonen 2009, 281–291.)

Vianmäärityksen aikana tehdään tarvittavia lisätutkimuksia oireiden selvittämiseksi. Havaittujen oireiden perusteella pyritään rajaamaan mahdollisten vikaantumismekanismien joukkoa, kunnes löydetään todennäköisin syy poikkeamaan. Vianmäärityksen aikana tulisi myös pyrkiä selvittämään vian alkuperä ja tekemään toimenpide ehdotuksia vian syyn poistamiseksi. (Mikkonen 2009, 290-291.)

Prognoosi eli ennuste koneen turvallisesta käyttöajasta on kunnonvalvonnan lopputulema sekä kunnossapidon suunnittelun, tuotannonohjauksen ja jopa liikkeenjohdon tärkeä lähtötieto. Prognoosilla pyritään vastaamaan kysymyksiin: Milloin laite tulisi viimeistään korjata? Tai voidaanko suunniteltua toimenpidettä lykätä?

Prognoosin tarkkuus paranee laitteiden ja prosessiolosuhteiden tuntemuksen sekä pitkän aikavälin mittaustiedon karttuessa. Kuitenkin prognoosi on aina paras arvaus, jonka vuoksi prognooseissa usein esitetään todennäköisyys laitteen toimintakunnon säilymisestä tiettyyn ajankohtaan saakka.

## 2.5 Kunnonvalvonnan tehokkuus ja seuranta

Kunnonvalvonnan päämääränä on parantaa tuotannon kokonaistehokkuutta. Kokonaistehokkuuden parantamiseksi ja osoittamiseksi kunnonvalvontaa tulee arvioida sekä toiminnallisen että kustannustehokkuuden kannalta. (Mikkonen 2009, 497–498.)

Kunnonvalvonnan seurannassa ja tehokkuuden arvioinnissa täytyy huomioida kunnonvalvonnan laajuus, kuten mittauspisteiden, tehtyjen mittausten, tehtyjen vikailmoitusten ja työpyyntöjen sekä kunnonvalvontaan käytettyjen työtuntien määrää. Lisäksi olisi hyvä seurata kunnonvalvonnan kustannuksia suhteessa kunnossapidon kokonaiskustannuksiin. (Mikkonen 2009, 497.)

### 2.5.1 Toiminnallinen tehokkuus

Kunnonvalvonnan toiminnallisen onnistumisen seurannassa on huomioitava lyhyen aikavälin onnistumisten ja epäonnistumisten lisäksi pitkän aikavälin tulokset, kuten esimerkiksi värähtelykuormituksen keskimääräisen tason aleneminen tai kunnonvalvonnan piirissä olevien laitteiden määrän kehitys.

Kunnonvalvonnan luotettavuus ja epävarmuus voidaan määritellä kaavoilla 1 ja 2 (Mikkonen 2009, 499.)

$$L_1 = D_1/D \quad (1)$$

Jossa:  $L_1 = \text{Vianmäärityksen luotettavuus}$

$D_1 = \text{Oikeiden diagnoosien määrä}$

$D = \text{Kaikkien diagnoosien määrä}$

$$L_2 = H_1/H \quad (2)$$

Jossa:  $L_2 = \text{vianmäärityksen epävarmuus}$

$H_1 = \text{Havaitsematta jääneiden vikojen määrä}$

$H = \text{Kaikkien vikojen määrä}$

### 2.5.2 Kustannustehokkuus

Kustannustehokkuutta arvioitaessa kustannusten lisäksi on huomioitava myös toteutuneet säästöt, kuten säästö kunnossapidon tehokkuuden parantumisena, säästö tuotannonmenetyksien välttämistä ja säästöt seurausvaikutuksista. Lisäksi tulisi huomioida myös välilliset säästöt, kuten kunnonvalvonnan työ- ja ympäristöturvallisuutta sekä tuotannon laatua parantava vaikutus, laitteiden käyttöiän piteneminen ja vikaantumisten vähenemisen vaikutus henkilöstön motivaatioon. (Mikkonen 2009, 497–502.)

Kunnonvalvonnan välittömiä tuottoja voidaan laskea diagnoosikohtaisesti kaavalla 3 (Mikkonen 2009, 501).

$$s = \Delta p + \Delta r + \Delta c \quad (3)$$

Jossa:  $s$  = *Säästö verrattuna tilanteeseen jossa diagnoosia ei olisi ollut käytävissä*

$\Delta p$  = *Ero tuotannonmenetyksessä*

$\Delta r$  = *Ero kunnossapitokustannuksissa*

$\Delta c$  = *Ero seurauskustannuksissa*

## 2.6 Kunnonvalvonnan raportointi

Tehokkuuslukujen osoittamiseksi sekä kunnossapidon suunnittelun ja kunnonvalvonnan kehittämisen tueksi tarvitaan kattava kunnonvalvonnan raportointijärjestelmä. Raportoinnin toteutus suhteutetaan tapauskohtaisesti toiminnan laajuuteen sekä organisaation rakenteeseen sopivaksi. (Mikkonen 2009, 503–506.)

Kunnonvalvonnan ja kunnossapidon välisen raportoinnin tulee toimia molempiin suuntiin, sillä kunnonvalvonnan kehittämisen kannalta on tärkeää saada palautetta tehtyjen diagnoosien oikeellisuudesta sekä kunnonvalvonnan ulkopuolella havaituista vioista. (Mikkonen 2009, 503–506.)

Raporttien perustiedoista täytyy ilmetä mittausten toistettavuuteen ja mittaustulosten arviointiin liittyvät asiat, kuten käytetyt mittalaitteet ja -anturit, mittapisteet ja mitatut suureet sekä raportissa käytetyt ilmaisutavat. (Mikkonen 2009, 503.)

### 2.6.1 Reittiraportti

Reittimittauksissa tehdyistä havainnoista laaditaan kunnossapidosta ja laitteiden käytöstä vastaavalle henkilölle reittiraportti. Reittiraportin sisältö määritellään tapauskohtaisesti, sisältönä voivat olla esimerkiksi: (Mikkonen 2009, 503.)

- Mitatut kohteet
- Mittaamatta jääneet kohteet ja syy mittauksen puuttumiseen
- Poikkeavat havainnot
- Toimenpidesuosituks
- Lisämittausten tarve
- Edellisen mittauksen jälkeen tehtyjen huoltojen vaikutus.

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää suppeampaa hälytysraporttia, joka sisältää vain raja-arvojen ylitykset sekä kiireellistä kunnossapitoa vaativat kohteet. (Mikkonen 2009, 503).

### 2.6.2 Vianselvitysraportti

Reittiraporttia yksityiskohtaisempi vianselvitysraportti laaditaan, mikäli reittimittauksessa havaitaan raja-arvoja ylittäviä tuloksia.

Vianselvitysraportissa esitetään tehdyt havainnot, suoritettu analysointi ja johtopäätökset sillä tarkkuudella, että asiantuntija pystyy raportin pohjalta muodostamaan käsityksen laitteen kunnosta. Lisäksi raportin alkuosassa annetaan selväkielinen kuvaus raportin sisällöstä ilman ammattitermistöä. (Mikkonen 2009, 503–504.)

Reittiraportin tietojen lisäksi vianselvitysraportti sisältää:

- Kuvauksen havaituista poikkeamista
- Prosessiolosuhteet
- Laitteiden kierrosluvut ja kuormituksen
- Mittaustulosten analysointi ja oireiden määrittäminen
- Johtopäätökset viasta ja tarvittavista toimenpiteistä

### 2.6.3 Johtopäätösraportti

Johtopäätösraportti on kunnossapidon suunnittelua varten annettava yksityiskohtainen selvitys viasta, vian syystä ja kehittymisnopeudesta. Tehtyjen kunnossapitotoimenpiteiden jälkeen johtopäätösraporttiin täydennetään tehdyt toimenpiteet, korjauksen aikaiset havainnot sekä arvio, oliko vika oletetun kaltainen. Lisäksi johtopäätösraporttiin tehdään kustannus-/ säästölaskelma (Mikkonen 2009, 504.)

Mikäli kunnonvalvonnan pohjalta ehdotettu tai toteutettu korjaus on kustannuksiltaan kohtuullinen, voidaan johtopäätösraportin sijasta tehdä suppeampi toimenpideraportti tehdyistä toimenpiteistä ja havaituista vioista. (Mikkonen 2009, 504.)

Johtopäätös- ja toimenpideraporteista palautteineen olisi hyvä koostaa case-arkisto, jota voidaan myöhemmin hyödyntää vianmäärityksessä sekä suositeltavien toimenpiteiden ja turvallisen käyttöajan arvioinnissa. (Mikkonen 2009, 500–504.)

### 2.6.4 Kustannustehokkuuden raportointi

Johdon päätöksenteon tueksi tulisi laatia säännöllisin väliajoin raportti kunnonvalvonnan tuomista säästöistä sekä tulevista kunnonvalvonnan kehityssuunnitelmista. Raportin tulisi sisältää ainakin seuraavat asiat: (Mikkonen 2009, 506.)

- Kunnonvalvonnan tuottamat säästöt/ tuotot
- Vikatapaukset riittävän tarkasti eriteltynä
- Laitteiden ja laakereiden keskimääräistä kuntoa ja kunnan kehitystä kuvaavia värtähtelytunnuslukuja.
- Kunnonvalvontaan ja koulutukseen käytettyjen työtuntien määrä
- Kunnonvalvonnan laajuutta, esim. reittimittausten mittauspisteiden tai valvottavien laitteiden määrä
- Kunnonvalvonnan piiriin lisättävät ja poistettavat laitteet
- Kunnonvalvontaan tarvittavat investoinnit ja lisäresurssit
- Muut ennakoivan kunnossapidon piirissä tehdyt tarkastukset, tutkimukset ja analyysit

## 2.7 Kunnonvalvonnan menetelmät

Teknisillä laitteilla seurataan tiettyjä fysikaalisia suureita. Mittaustietoja tallentamalla laitteen kunnon muutoksia voidaan seurata ajan suhteen, sekä mittaustietoa analysoimalla voidaan havaita tietyille vikaantumismekanismeille tyypillisiä muutoksia. Aistinvaraisessa kunnonvalvonnassa pyritään havaitsemaan poikkeavia ääniä, hajuja, värinöitä tai lämpötiloja.

### 2.7.1 Värähtelymittaukset

Värähtelymittaus on yleistä laakereiden ja pyörivien laitteiden kunnonvalvonnassa. Pyörivät laitteet ja koneenosat aiheuttavat värähtelyä ympäröivässä rakenteessa. Värähtelyä aiheuttavat herätevoimat, joita aiheutuu esimerkiksi laitteen rakenteesta, epätasapainosta, osien ja kokoonpanon epätarkkuudesta sekä kulumisesta ja vikaantumisesta. (Mikkonen 2009, 223–225.)

Kunnonvalvonta värähtelymittauksilla perustuu tunnetuille koneenosille ominaisten värähtelytaajuuksien tunnistamiseen sekä nykyisen mittaustiedon ja aikaisemman historiatiedon muutosten havainnoimiseen eli trendien kehittymiseen. Havaittujen muutosten pohjalta tehtävissä selvityksissä värähtelymittausta voidaan käyttää apuna vaurion diagnostiikassa ja korjaustarpeen arvioinnissa.

Kunnonvalvonnassa pyritään tunnistamaan laitteen vikaantumisesta aiheutunutta värähtelyä ja erottamaan se laitteen normaalista toiminnasta aiheutuneesta värähtelystä. Vikaa indikoivien tai haitallisten värähtelyjen tunnistamiseksi on määritettävä laitekohtaiset valvontamenetelmät ja niiden raja-arvot. Useimmiten kunnonvalvonnassa käytetään spektrianalyysia ja tunnuslukujen kehittymisen eli trendien seuranta. (Mikkonen H 2009, 281–282.)

Trendien seurannassa seurataan laitteen värähtelytunnuslukujen tai värähtelyn kokonaisuuden kehittymistä ajan suhteen. Jotta trendiseurannalla saavutetaan haluttuja tuloksia, seurannan pitää tapahtua säännöllisesti. (Mikkonen H 2009, 282–284.)

Spektrianalyysissa valituille värähtelytaajuuksille asetetaan laskennallisia tai kokemusperäisiä raja-arvoja. Taajuusalueiden valinnassa ja raja-arvojen määrittelyssä on tärkeää tietää laitteessa käytettyjen koneenelinten tyyppi, jotta tarkastelua voidaan kohdistaa komponenttien vikataajuuksille. (Mikkonen H 2009, 285–286.)



Raja-arvojen määrittelyssä voidaan käyttää hyväksi edellisten mittausten tuloksia, standardien tai laitevalmistajien ohjearvoja sekä kokemuseräistä tietoa. Värähtelylle asetetaan usein kaksi hälytysrajaa. Alemman hälytysrajan ylittyminen vaatii värähtelyn lähteen selvittämistä ja käynnistää korjaamisen valmistelun, ylemmän rajan eli ns. vauriorajan ylitys vaatii pikaista korjauksen aloittamista tai jopa laitteen pysäyttämistä. (Mikkonen H 2009, 282–296.)

### Värähtelymittalaitteet

Yksinkertaisimmillaan värähtelymittalaite on yhden tai muutaman ennalta asetetun tunnusluvun esittämiseen soveltuva laite. Tällaiset laitteet soveltuvat nopeaan vikaantuneen kohteen etsimiseen havaittaessa poikkeavia ääniä tai käyttäjätason kunnonvalvontaan. (Mikkonen 2009, 259.)

Nykyaikainen kannettava värähtelymittalaite muodostaa ja tallentaa digitaalisen signaalin mitta-anturin tuottamasta analogisignaalista. Signaalin näytteistyksen lisäksi laite voi sisältää sovelluksia värähtelyn analysointiin ja kentällä tehtäviin kunnonvalvonnan aputoimenpiteisiin. (Mikkonen H 2009, 260.)

Monikanavaiset mittalaitteet ja tietokoneeseen liitettävät värähtelymittauskortit mahdollistavat vaikeiden värähtelyolosuhteiden seuraamisen ja analysoinnin. Tällaisia kohteita voivat olla esimerkiksi useita pyöriviä akseleita sisältävät laitteet ja moniportaiset vaihdelaatikot (Mikkonen H 2009, 261.)

Kohteet, joissa vikaantuminen voi tapahtua nopeasti sekä kohteet joiden vikaantuminen aiheuttaa vaaraa tai suuria kustannuksia, kunnonvalvonta voidaan toteuttaa kiinteänä on-line-asennuksena. On-line-tiedonkeruu mahdollistaa laitteen toiminnan jatkuvan seurannan ja laitteen välittömän pysäyttämisen ennalta säädetyn raja-arvon ylityttyä. (Mikkonen H 2009, 261.)

### Värähtelymittauksen suureet ja parametrit

Värähtelymittauksissa havainnoidaan kappaleen liikettä fysikaalisten suureiden avulla. Tärkeimmät suureet ovat havainnoitavan pisteen liikkeen nopeutta kuvaava nopeus ( $v$ ), nopeuden muutosta kuvaava kiihtyvyys ( $a$ ) ja havainnoitavan pisteen sijainnin muutoksen suuruutta kuvaava siirtymä ( $s$ ). Euroopassa käytettävät suureet esitetään taulukossa 1. (Mikkonen H 2009, 226–230.)

Taulukko 1: Euroopassa yleisesti käytössä olevat värähtelymittausuureet yksiköineen (Mikkonen H 2009, 230.)

Suure	Lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	s	$\mu\text{m}$
Nopeus	v	mm/s
Kiihtyvyys	a	m/s <sup>2</sup> tai g=9,81 m/s <sup>2</sup>
Vaihekulma	$\varphi$	Aste (°) tai radiaani ( $360^\circ = 2\pi\text{rad}$ )
Taajuus	f	Hz
Jakso	T	s

### 2.7.2 Voiteluaineanalyysit

Voiteluaineanalyysillä voidaan saada tietoa voiteluaineen kunnan lisäksi myös laitteen kulumisesta ja voiteluainejärjestelmään mahdollisesti päässeistä epäpuhtauksista.

Voiteluaineen ominaisuuksista ja niissä tapahtuneista muutoksista voidaan tehdä päätelmiä öljyn kunnosta. Yleisimpiä analysoitavia ominaisuuksia ovat öljyn ulkonäkö, viskositeetti, happoluku ja kiintoainepitoisuus (Mikkonen H 2009, 430.)

Voiteluaineen mukana olevista partikkeleista voidaan hiukkanalyysin avulla päätellä laitteessa vaikuttavia kulumistyyppöjä. Mikäli laitteessa käytetyt materiaalit tunnetaan, voidaan kulumametallianalyysillä tunnistaa partikkelien lähde (Mikkonen H 2009, 430–435.)

Partikkelianalyysija käytettäessä on huomioitava, että analyysin tulos kuvaa tilannetta koko öljynvaihtovälin ajalta, joten partikkelianalyysit soveltuvat parhaiten trendiseurantaan ja merkittävien muutosten havainnoimiseen. Analyysin tulokseen voi vaikuttaa esimerkiksi laitteen huollon aikana öljyn joukkoon päässyt epäpuhtaus, joka myöhemmin poistuu öljystä suodatuksen kautta tai ennen näytteenottoa tehty öljynlisäys, jolloin partikkelien määrää tilavuusyksikköä kohti pienenee (Mikkonen H 2009, 430–435.)

### 2.7.3 Ultraääniluotaus

Ainetta rikkomattomiin tarkastusmenetelmiin kuuluvassa ultraääniluotauksessa tarkasteltavaan materiaaliin lähetetään mittalaitteen anturista ultraäänipulssi, joka etenee materiaalissa heijastuen vikakohdista sekä materiaalin pohjasta takaisin anturiin. Heijastumaan perusteella voidaan arvioida materiaalissa olevia epäjatkuvuuskohtia sekä materiaalin paksuutta. Ultraääniluotausta voidaan käyttää mm. hitsausseamien tarkastukseen, materiaalin säröytymisen tunnistamiseen ja materiaalin paksuuden mittaamiseen (Mikkonen 2009, 450–451.)

### 2.7.4 Lämpötilan mittaus

Lämpötilaa voidaan mitata koskettavalla-anturilla, koskettamattomalla mittalaitteella tai lämpökameralla. Lisäksi voidaan käyttää tietyssä lämpötilassa väriä vaihtavaa liitua tai tarraa indikoimaan lämpötilan muutosta.

Koskettavat lämpötila-antureiden toiminta perustuu useimmiten anturin sähköisten ominaisuuksien muutokseen lämpötilan muuttuessa. Kosketukseen perustuvat mittalaitteet ovat suhteellisen yksinkertaisia käyttää ja mittausvirheet johtuvat anturin ja mittalaitteen yhteensopivuusongelmista sekä liian lyhyestä mittaus-/ asettumisajasta (Mikkonen 2009, 440–442.)

Kosketukseton lämpötilanmittaus perustuu kappaleiden lähettämän lämpösäteilyn tehon tunnistamiseen. Tarkka kosketukseton lämpötilanmittaus vaatii asiantuntemusta oikeiden mittausparametrien kuten lämpösäteilyn heijastumiskertoimen eli emissiivisyysluvun valinnassa (Mikkonen 2009, 443–445.)

Lämpökamera kuvaa laajalta-alueelta tulevaa lämpösäteilyä ja muodostaa siitä reaaliaikaisen kuvan näytölle. Lämpökameraa käytettäessä täytyy huomioida vaihtelut eri materiaalien ja pintakäsittelymenetelmien emissiivisyysluvuissa sekä mitta-asteikon skaalaus. (Mikkonen 2009, 443–445.)

Kunnonvalvonnassa käytännöllisimpiä lämpötilanmittausmenetelmiä ovat lämpösäteilyn perustuvat menetelmät, joilla kohteen lämpötila voidaan määrittää tarvittaessa turvallisen etäisyyden päästä. Lämpökamerat soveltuvat erityisen hyvin laitteiden lämpötilajakauman tutkimiseen sekä ns. kuumien pisteiden havaitsemiseen.

### 2.7.5 Aistinvarainen kunnonvalvonta

Aistinvarainen kunnonvalvonta soveltuu: ei kriittisten, nopeasti käyttökuntoon palautettavien ja korjauskustannuksiltaan kohtuullisten laitteiden kunnon seurantaan. Aistinvaraisella kunnonvalvonnalla voidaan myös täydentää mittaavaa kunnonvalvontaa tekemällä mittauskierrosten välillä aistinvaraisia havaintoja.

Aisteja käytettäessä on otettava huomioon työturvallisuuteen vaikuttavat ympäristötekijät kuten: kovat äänet, pintojen lämpötila, kirkkaat valot ja terveydelle haitalliset kemikaalit.

Aistinvaraisten havaintojen osalta täytyy huomioida aistien toiminnan perusteet, aistien herkkyyteen vaikuttavat seikat, apuvälineet ja että havaintojen tarkkuus voi vaihdella havainnoijasta, ympäristöstä ja havainnointi ajankohdasta johtuen. (Mikkonen H 2009, 418.)

#### Näköaisti

Ilman apuvälineitä näköaistia voidaan käyttää vuotojen, liitosten löystymisen ja koneenosien kuluneisuuden havainnoimiseen. Näköaistilla voidaan havaita myös epäpuhtauksia esimerkiksi voiteluaineessa tai prosessiin kuulumattomia kappaleita (Mikkonen H 2009, 422–423.)

Näköaistin apuvälineinä voidaan käyttää tarkastustehtävissä peilejä ja tarkastuskameroita, joilla voidaan nähdä hankalapääsyisiin kohteisiin. Nopeasti liikkuvia kohteita voidaan tarkastella suurnopeuskameralla. Stroboskoopilla voidaan määrittää pyörivien laitteiden pyörimisnopeus ja -suunta, samaisella laitteella voidaan myös ”pysäyttää kuva” tarkastusta varten (Mikkonen H 2009, 422–423.)

#### Kuuloaisti

Kuuntelemalla tehtävä kunnonvalvonta on suhteellisen herkkää ulkoisille häiriöille, kuten muiden laitteiden melulle. Joten kuuloaistin varainen kunnonvalvonta on tehokkainta toteuttaa käyttämällä apuvälinettä, jolla laitteesta johtuvat äänet voidaan erottaa taustamelistä. Apuvälineenä voidaan käyttää kuuntelukeppiä, stetoskooppia tai akustista koetinta (Mikkonen H 2009, 424.)

## Tuntoaisti

Kunnonvalvonnassa tuntoaistia voidaan hyödyntää nopeaan lämpötilan arviointiin, sillä noin 50°C lämpötila tuntuu polttavan kuumalta. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää esimerkiksi laakereiden ja vaihdelaatikoiden kunnon arviointiin (Mikkonen H 2009, 426.)

Tuntoaistilla voidaan myös arvioida laitteiden kiinnitystä sekä etsiä voimakkaasti värähteleviä kohteita. Lisäksi kaasuvuotoja voidaan havaita tunnustelemalla (Mikkonen H 2009, 426.)

### 3 Tehtaan ja prosessin kuvaus

Tytyrin kalkkitehdas tuottaa maanalaisesta kaivoksesta louhitusta kalkkikivestä poltettua- ja sammutettua kalkkia sekä kalkkikivijauheita eri karkeusasteilla. Kalkkitehtaan ensimmäiset osat on rakennettu 1940-luvulla ja tehdasta on laajennettu useita kertoja toiminnan kehittymisen ja uusien tuotteiden myötä.

#### 3.1 Prosessi

Tytyrin maanalaisessa kaivoksessa kalkkikivi louhitaan poraus-räjäytys-menetelmällä. Louhittu kalkkikivi esimurskataan maanalla sijaitsevalla leukamurskaimella. Esimurskattu kiviaines nostetaan kaivoksesta kaivoshissillä nostotornin yhteydessä olevaan siiloon.

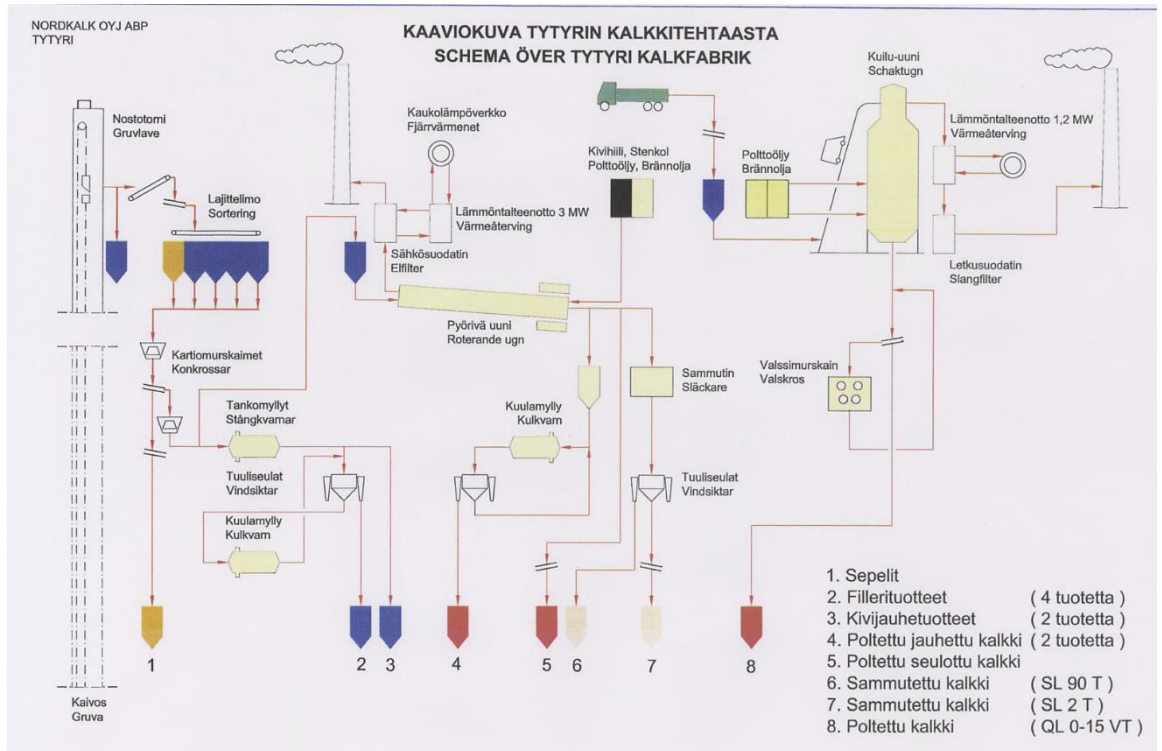
Tytyrissä jalostettava kalkkikivi ohjataan nostotornilta karkean seulonnan kautta lajiteltavaksi. Lajittelussa kalkkikivi erotetaan sivukivestä syöttämällä kivet hihnakuuljettimelle, josta työntekijät ohjaavat eri kivilaadut omiin säiliöihinsä paineilmakäyttöisillä kääntöpelileillä.

Lajittelun jälkeen kiviaines murskataan kahdella kaksivaiheisella murskauslinjalla. Murskattu kiviaines ohjataan joko jauhattavaksi jauhatuslaitokselle tai poltettavaksi kalkkiuunille.

Jauhatuslaitos koostuu tanko- ja kuulamylyistä, eri fraktioiden erottamiseen käytettävistä seuloista ja luokittimista, kuljettimista sekä laitoksen apulaitteista.

Kalkkiuunissa kiviaines poltetaan yli tuhannen celsiusasteen lämpötilassa poltetuksi kalkiksi. Kalkkiuuni on kymmeniä metrejä pitkä ja muutaman metrin halkaisijaltaan oleva sylinteri. Kivimassan liikkeen ja lämpötilaerojen tasaamiseksi kalkkiuunia pyöritetään, sen ulkokehällä olevien kannatinrenkaiden tukemana. Kalkkiuunin lisäksi laitokseen kuuluu uunin polttoaineen ja paloilman syöttölaitteisto, savukaasujen käsittelylaitteisto ja kuljettimia kalkkikivelle, poltetulle kalkille sekä tuhkalta.

Osa poltetusta kalkista seulotaan ja luokitetaan valmiiksi tuotteeksi, lisäksi osa poltetusta kalkista sammutetaan. Sammutuksessa poltetun kalkin joukkoon sekoitetaan vettä, tätä varten suunnitellussa sammutuskammiossa. Sammutettu kalkki seulotaan ja luokitetaan eri tuotefraktioihin. Tehtaan prosessi esitetään kuvassa 2



Kuva 2. Kaavio Tytyrin kalkkitehtaasta (Nordkalk)

### 3.2 Osastojen kriittisyys

Tehtaan osastoista vain kalkkiuuni toimii keskeytyksettä huoltoseisakkien välisen ajan. Muilla osastoilla työskennellään sesonkien ulkopuolella arkipäivisin 1-2-vuorossa, sesonkien ja asiakastarpeiden muutoksista johtuen osastojen ja laitteiden kriittisyys voi muuttua hyvinkin nopeasti. Kunnonvalvonnan suunnitelmien laadinnassa tulee huomioida ennakoitavissa olevat kausivaihtelut sekä myynnin ennuste tulevista tuotantomääristä

## 4 Valvottavat laitteet

Tässä luvussa tehdään ehdotuksia kunnonvalvonnan piiriin valittavista laitteista ja mahdollisista kunnonvalvontamenetelmistä laitetyyppi- ja osastokohtaisesti. Laitekohtainen päätös kunnonvalvonnan tarpeesta on tehtävä kunnonvalvontajärjestelmän käynnistysvaiheessa, jolloin huomioidaan aiemmin esitettyjen kriittisyys- ja työturvallisuusseikkojen lisäksi myös tulevat investointisuunnitelmat ja muut kehityshankkeet.

### 4.1 Kaivos

Kaivoksessa kriittisimmän laiteryhmän muodostavat pumput, joiden tehtävänä on nostaa kaivokseen vuotanut vesi maanpinnalle. Pumppausjärjestelmät on pääosin kahdennettu siten, että kriittisillä pumppaamoilla on varapumppu, joka käynnistyy automaattisesti vedenpinnan noustessa. Häiriöt pumppauksessa voivat aiheuttaa vaurioita tulviviin kaivoksen osiin jäävälle infralle ja kalustolle, joten pumput tulee sisällyttää kunnonvalvonnan reittimittauksiin. Alkuvaiheessa pumpuille soveltuvin kunnonvalvontamenetelmä on värähtelymittaus sekä aistinvarainen arvio.

Kaivoksessa oman erityisen laiteryhmän muodostavat ilmanvaihtopuhaltimet. Puhaltimet koostuvat putkimaisen rungon sisään asennetusta sähkömoottorista jonka akseliin kiinnitetään puhaltimen roottori eli siipipyörä, rakenne kuvassa 3. Rakenteesta johtuen siipipyörän epätasapainosta aiheutuvat värähtelyt kuormittavat suoraan moottorin laakerointia. Turvallisuusmielessä ilmanvaihtopuhaltimien vikaantuminen ei yleensä aiheuta välitöntä vaaraa. Joten kunnonvalvonnan kustannusta tulee verrata sähkömoottorin laakerivaurion korjaamisen ja täysin vaurioituneen sähkömoottorin korvaamisen kustannuserolla, sekä epätasapainon aiheuttamaan nopeampaan vikaantumiseen.

Kaivoksessa suoritettava esimurskaus ja esimurskatun kalkkikiven siirto murskaimelta välisäiliöön ja lastaus välisäiliöstä nostokoneen kippaan muodostavat järjestelmän jonka vikaantuminen aiheuttaa nopeasti muutoksia tehtaan tuotantojärjestelyihin. Tältä osin kunnonvalvonnan piiriin olisi tarpeen sisällyttää laitteet, joiden vaurioituminen aiheuttaa suuria kustannuksia ja laitteet, joiden ennakoitu viasta toipumisaika on enemmän kuin 1–2 päivää.





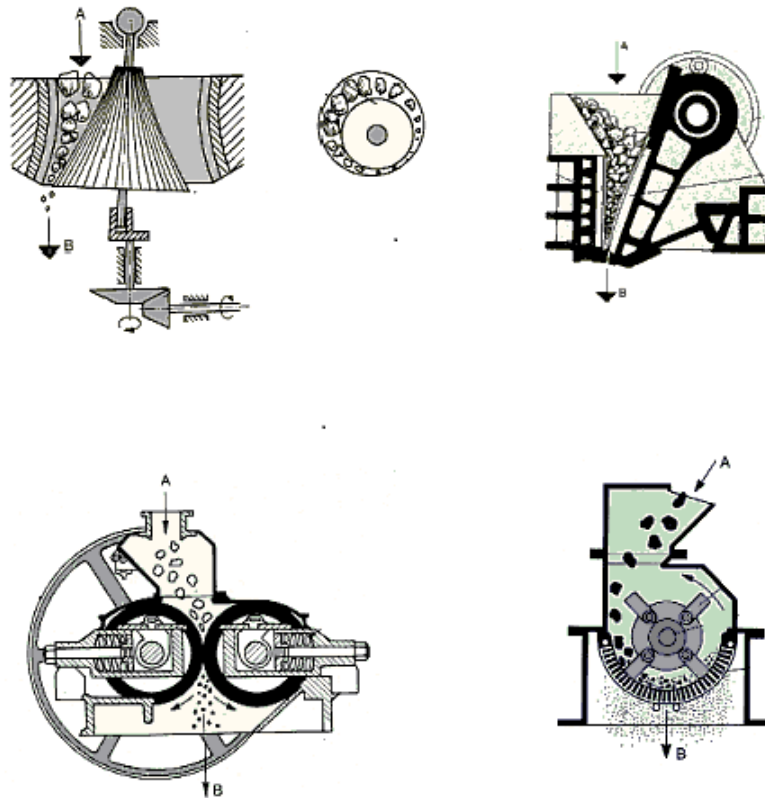
Kuva 3. Huoltoa odottava kaivoksen ilmanvaihtopuhallin.

#### 4.2 Murskaimet

Murskaimien tehtävänä on hienontaa murskattavaa kivimassaa tuottamalla mekaanisella liikkeellä murskattavan materiaalin murtolujuuden ylittävä paine tai isku. Kaivoksessa ja tehtaalla käytetään muutamaa eri murskaintyyppiä, jotka poikkeavat rakenteeltaan huomattavasti toisistaan. Murskaimien rakenteiden periaatteita kuvassa 4.

Kaivoksessa suoritetaan esimurskaus leukamurskaimella, jossa kivimassa murskataan kiinteän ja epäkeskoakselin voimasta liikkuvan leuan välissä. Tehtaan murskaamossa lajiteltu kalkkikivi murskataan karamurskaimilla, joissa murskaimen kartiomaisen karan ja manttelin välinen liike saadaan aikaan karan alapään epäkeskolautasella.

Poltettua kalkkia murskataan valssimurskaimilla sekä vasaramurskaimella. Valssimurskaimessa murskattava materiaali ohjataan kahden toisiaan vasten pyörivän valssitelan väliin. Vasaramurskaimessa murskaimen pyörivään akseliin nivelellä kiinnitetyt vasarat iskevät murskaimen läpimenevää materiaalia.



Kuva 4. Kara-, leuka- valssi- ja iskumurskaimen rakenne. Muokattu lähteestä (Pihkala J. N.d.).

Karamurskainten epäkeskolaakerointia lukuun ottamatta murskainten voitelu toteutetaan rasvavoiteluna, joko manuaalisesti tai keskusvoitelulaitteen avulla. Karamurskaimen karan epäkeskolaakeroinnin voitelu on toteutettu öljyn kiertovoitelulla, jossa voiteluöljy pumpataan säiliöstä suodattimen kautta voitelukohteeseen.

Murskainten kunnonvalvonnassa kiertovoiteluöljyn öljyanalyysillä voidaan tutkia sekä öljyn voiteluominaisuuksien muutoksia että murskaimen kulumista kulumametallianalyysillä. Värähtelyyn ja hitaasti pyörivien akseleiden ratamittaukset täytyy tehdä murskaimen käydessä kuormittamattomana, jotta mittauskertojen väliset tulokset ovat keskenään vertailtavissa.

### 4.3 Jauhinmyllyt

Jauhinmyllyjä käytetään murskatun kalkkikiven hienontamiseen jauheeksi, jauhautumista tehostetaan jauhinmateriaalilla esimerkiksi terästangoilla, -kuulilla tai hienonnettavan materiaalin lohkeareilla. Rakenteeltaan myllyt ovat päädyistään laakeroituja sylintereitä, joita pyöritetään rummun hammaskehän välityksellä.

Jauhinmyllyjen suurien sähkömoottorien ja vaihdelaatikoiden lisäksi kunnonvalvonnassa tulee kiinnittää huomiota myllyn hammaskehän ja myllyn kannatinlaakereiden kunnon seurantaan. Värähtelymittauksien käytössä ongelmia aiheuttaa se, että mylly on harvoin kuormittamaton, joten kunnonvalvonta on pääasiassa laakereiden lämpötilan seuranta ja aistinvaraisia havaintoja.

### 4.4 Kuljettimet

Kaivoksessa ja tehtaalla käytetään kalkkikiven siirtämisessä hihnakuljettimia sekä mas-savirran rajoittamista tai säätämistä vaativissa kohteissa tärykuljettimia. Pulverimaisten puolivalmisteiden ja tuotteiden siirtämiseen käytetään pääsääntöisesti ruuvikuljettimia tai paineilmakuljettimia.

Pääsääntöisesti kuljettimien käyttökuntoon palauttaminen kunnonvalvonnalla havaittava viasta on suhteellisen nopeaa rakenteen yksinkertaisuudesta ja komponenttien keveähköstä massasta johtuen. Joten kunnonvalvonta voidaan kohdistaa laitteisiin, jotka tunnustetaan kriittiseksi tuotannolle. Poikkeuksena muutamat raskaammat hihnakuljettimet, joiden käyttökuntoon palauttaminen on hidasta ja joiden komponentit ovat suhteellisen kalliita.

### 4.5 Sähkömoottorit ja vaihteet

Laitteiden pääasiallisena voimanlähteenä on laite- tai laiteryhmäkohtainen sähkömoottori, jonka tuottama energia siirretään laitteeseen joko mekaanisesti tai hydraulisesti. Sähkömoottorien nimellistehot vaihtelevat muutamasta kilowatista satoihin kilovatteihin.

Isojen sähkömoottoreiden hankinta- tai vaurion korjauskulut voivat ylittää kunnonvalvonnan kulut, joten säännöllistä kunnonvalvontaa voidaan pitää perusteltuna suurille sähkömoottoreille. Useimmissa tapauksissa nopeasti käyttökuntoon palautettavissa olevien laitteiden pienehköjen (<30 kW) sähkömoottoreiden kunnonvalvonta voidaan suorittaa ais-tinvaraisesti, sillä on taloudellisesti kannattavampaa vaihtaa kuin korjata pieni sähkömoottori.

Vaihdelaatikoiden massat vaihtelevat 10 - 3000 kg välillä. Vaihdelaatikoiden osalta kunnonvalvonnan tarpeellisuutta voidaan arvioida komponentin hankintahinnan perusteella, sillä kunnonvalvonnan kustannukset ylittävät edullisen vaihteen hankintahinnan muutama vuodessa.

Sähkömoottoreiden ja vaihteiden kunnonvalvonnassa värähtelymittaus on käyttökelpoinen menetelmä. Mittausten yhteydessä on myös syytä mitata komponenttien lämpötilaa ja kierrosnopeutta.

#### 4.6 Kulumiselle alttiit kohteet

Materiaalivirrasta johtuva kuluminen aiheuttaa tuotantokatkoja sekä vaikeuttaa kunnossapidon suunnittelua, mikäli tilanne etenee huomaamatta rikkoutumiseksi saakka. Rikkoutuneesta kohteesta leviävä pöly myös aiheuttaa tarpeetonta kuormitusta työntekijöille.

Kulumiselle alttiiden kohteiden, kuten pudotusrännien, kääntöpeltien sekä täry- ja paineil-makuljettimien kuntoa voidaan valvoa tutkimalla materiaalin paksuutta visuaalisesti tai ultraääniluotauksella. Menetelmiä voidaan myös yhdistää, jolloin havaitusta kulumakohdasta mitataan tarkka paksuus kulumisnopeuden tai korjaustarpeen kiireellisyyden määrittämiseksi. Ultraääniluotaukset voidaan ajoittaa tehtäväksi ennen suunniteltuja seisakkeja, jolloin korjaaminen voidaan suorittaa tuotantoa häiritsemättä. Vaihtoehtoisesti tarkastuksilla voidaan parantaa laitteiden luotettavuutta sesonkien aikana, tarkastamalla ja korjaamalla havaitut viat ennen sesongin alkua.

## 5 Kunnonvalvonnan ohjaus ja raportointi

Tässä luvussa ehdotetaan toimintatapoja kunnonvalvonnan ohjauksen ja raportoinnin osalta. Lisäksi ehdotetaan toimenpiteitä kunnonvalvonnan reittimittausten sujuvan suorittamisen varmistamiseksi. Ehdotukset perustuvat omakohtaiseen kokemukseen tuotannonohjausjärjestelmän toiminnoista ja ennakkohuoltojen päivitysten yhteydessä tehtyihin havaintoihin.

### 5.1 Kunnonvalvonnan ohjaus

Tehtaan kunnossapidon ohjaamiseen käytetään Nordkalkin hallinnoimaa IFS-tuotannonohjausjärjestelmän kunnossapito-osiota. Kunnossapitojärjestelmä sisältää vikailmoitusten hallintatoimintojen lisäksi ennakkohuoltotoiminnot, joilla voidaan hallita jaksotettuja ennakkohuoltoja.

Kunnonvalvonnan ohjaukseen ehdotan toimintatapaa, jossa kunnonvalvontakierrosten aikataulutus ja reittiraportointi suoritetaan IFS-ennakkohuoltojärjestelmän kautta. Kunnonvalvontaa varten kunnossapitojärjestelmään luodaan mittauskierroksia vastaavat reittityöt, joihin sisällytetään mitattavat laitteet. Kunnonvalvonnalle luodaan myös oma työtyyppi, jota voidaan käyttää hakuehtona haettaessa kunnonvalvonnan piiriin kuuluvia työmäärimiä ja raportteja.

Kunnonvalvonnan sujuvan suorittamisen varmistamiseksi laitteet tulisi jakaa tuotantoprosessin ja eri tuotteiden valmistuksessa käytettävien laitteiden kannalta sopiviin reitteihin, jolloin reittimittauksen tarkka ajankohta voidaan määrittää tuotannon suunnitelman pohjalta.

Reittimittauksen sujuvan suorittamisen takia reiteille tulee laatia luettelo laitteiden toivottuista käyntitiloista reittimittauksen aikana. Samaisiin luetteloihin tulee tehdä maininta, mikäli mittausreitti on tarkoituksenmukaista kiertää tuotannon poikkeavan tapahtuman kuten kalkkiuunin kuonanpoiston aikana.

## 5.2 Raportointi

Työn aikana päädyin ehdottamaan, että kunnonvalvonnan raportointi toteutetaan pääasiassa IFS-järjestelmän kautta. Värähtelymittausten tulosten, ulkopuolisten asiantuntijoiden raporttien sekä vianselvitys- ja johtopäätösraporttien tallentamista varten täytyy selvittää IFS-järjestelmän tarjoamat dokumentointimahdollisuudet tai toteuttaa raporttien säilytys esimerkiksi molempien yritysten käytössä olevalla pilvipalvelimella.

Reittiraportointi asiakkaan suuntaan toteutetaan kuittaamalla tehtyä mittausreittiä vastaava reittityö tehdyksi. Reittityön raportointivaiheessa mittaamatta jääneet laitteet merkitään tilaan "kesken" ja selvitys mittaamisen esteestä annetaan "vapaa teksti"-välilehdessä. Vapaa teksti -välilehdelle raportoidaan myös havainnoista, jotka eivät vielä edellytä vianselvityksen aloittamista. Lisäksi kyseiset havainnot tallennetaan laitteen tietojen huomioita-välilehdelle, jotta havainnot ovat myöhemmin käytettävissä ilman työmääräinten etsimistä.

Mikäli reitillä havaitaan poikkeamia, tehdään reittityön raportointivaiheessa laitekohtainen vikailmoitus. Reittimittauksen pohjalta tehty vikailmoitus toimii jatkossa vianselvitysraportin työmääräimenä ja raportointikanavana.

Vianselvitys- ja johtopäätösraporttien osalta selvitetään, voidaanko raportit tallentaa muokattavissa olevina dokumentteina IFS-järjestelmään sekä millaiset hakuominaisuudet järjestelmä tarjoaa tallennetuille raporteille. Toisena vaihtoehtona selvitetään yhteisen pilvipalveluhakemiston perustamista.

## 6 Yhteenveto

Tytyrissä kunnonvalvonnasta saatava hyöty korostuu erityisesti kalkkiuunin käytettävyyden varmistamisessa. Muiden osastojen osalta tuotannon keskeytyminen yöksi ja viikonlopuksi mahdollistaa vikaantumisesta aiheutuneen lyhyen tuotantokatkoksen paikkaamisen työvuorojen ja tuotannon järjestelyillä, joten kunnonvalvonnasta saatava hyöty korostuu laitteilla, joiden viasta toipumisaika on pitkä tai vikaantuminen voi aiheuttaa henkilö- tai ympäristövahinkoja sekä kalliita komponentteja sisältävissä laitteissa.

Kunnonvalvonnan jatkokehityskohteiksi ehdotan värähtelymittausten käytön ja öljyanalyysinkohteiden lisäämistä. Lisäksi kulutukselle altistuvien osien ultraääniluotauksen käyttöönottoa ja menetelmään liittyviä laitehankintoja sekä koulutusta.

Värähtelymittausten osalta jatkokehityksessä tulee kiinnittää huomiota värähtelymittausten tulosten analysointiin ja analysoinnin resursseihin. Ultraääniluotauksen kehityskohteita ovat erityisesti paineilmakuljettimien osat, joiden kuluneisuuden visuaalinen toteaminen on vaikeaa tai mahdotonta. Lisäksi ultraääniluotaus tulisi sisällyttää osaksi kulutukselle alttiiden laitteiden tarkastus- ja voitelukierroksia, jotta kuluneen kohteen tilanne voidaan raportoida luotettavasti.

Yleisenä kehityskohteena mainittakoon vielä kunnossapidon raportointijärjestelmä ja raportointikäytäntöjen ohjeistus. Eri vikatyypin, vikaantumismekanismien ja vianaiheuttajien tilastollinen arviointi on hankalaa yleisluonteisten kirjausparametrien takia. Lisäksi laitteille tehtyjen kunnossapitotöiden dokumentoinnin vaihtelevuus aiheuttaa myöhemmin tarpeetonta selvitystyötä.

## Lähteet

Järviö, J & Lehtiö, T. 2017. Kunnossapito tuotanto-omaisuuden hoitaminen. Helsinki: Pro-maint ry

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

Nordkalk NEE Tytyri – Sipoo. Toimipaikan esittely 2018. Nordkalk.

Pihkala J. Prosessiteollisuudenyksikkö- ja tuotantoprosessit. Saatavilla 21.5.2018 <http://prosessitekniikka.kpedu.fi/kg/gallery/Murskaus.htm>.

SFS-käsikirja 55-1. 2012. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS.