

Kartonkikoneen kunnonvalvonnan kehittäminen

Jussi Kukkula

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2022

Konetekniikka
Tuotantotekniikka

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Konetekniikka
Tuotantotekniikka

KUKKULA, JUSSI:
Kartonkikoneen kunnonvalvonnan kehittäminen

Opinnäytetyö 53 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Toukokuu 2022

Opinnäytetyö tehtiin Metsä Board Takon kartonkitehtaalle, jossa tavoitteena oli kartonkikone ykkösen kunnonvalvonnan värähtelymittausapahtuman kehittäminen tehokkaammaksi ja turvallisemmaksi. Olosuhteet mittauspisteillä ovat useimmissa paikoissa kuumat, kosteat, ahtaat, pimeät tai muuten vaaralliset. Tämän hetkinen kunnonvalvontatoiminta on epä johdonmukaista, mikä johtuu osittain haastavista olosuhteista. Tarkoituksena oli tutkia, miten mittaukset voitaisiin suorittaa tehokkaasti ja samalla työturvallisesti. Kartonkikoneen suuren koon vuoksi käsiteltävä aihealue rajattiin sen niin kutsutun määränpään teloihin ja kuivatussylintereihin viiraosilla, puristinosalla ja kuivausryhmillä 1–3.

Kehittäminen toteutettiin tutustumalla kartonkikoneen kunnonvalvonnan nykytilanteeseen ja selvittämällä vaihtoehtoisia tapoja sen toteuttamiseen. Työn alussa perehdyttiin, miten mittauskierrokset suoritetaan ja millä välineillä, lisäksi tutustuttiin käytössä olleisiin mittalaitteisiin ja mittaushetkiin. Työn aikana käytiin myös tehdasvierailulla Metsä Board Kyron kartonkitehtaalla ja konsultoitiin värähtelymittausjärjestelmiä toimittavia yrityksiä. Mittauskohteiden kunnonvalvontatarvetta tutkittiin kriittisyysanalyysin avulla, minkä jälkeen kunnonvalvonnan suunnitteluun pystyttiin aloittamaan.

Opinnäytetyön tuloksena esitettiin kehitysehdotus, jonka avulla kunnonvalvontaa voitaisiin kehittää. Kehitysehdotukseen sisältyi puolikiinteän mittausjärjestelmän hankkiminen, ohjeita sen käyttöönottamiseen ja mittaustoiminnan toteuttamiseen. Puolikiinteästä mittausjärjestelmästä saatiin tarjous Valmet Automationilta, johon sisältyi 360 kiihtyvyyssanturia ja 17 jakokotelo.

Kehitysehdotuksen mukaisten toimenpiteiden jälkeen kunnonvalvonta kartonkikone ykkösellä olisi turvallisempaa, sujuvampaa ja luotettavampaa kuin työn aloitushetkellä. Opinnäytetyön puitteissa ei kuitenkaan alettu varsinaisiin kehitystoimiin, vaan se jätettiin toimeksiantajan tehtäväksi.

Asiasanat: kunnonvalvonta, värähtely, kartonkikone

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical Engineering
Option of Production Engineering

KUKKULA, JUSSI:
Developing Condition Monitoring of a Board Machine

Bachelor's thesis 53 pages, appendices 6 pages
May 2022

The thesis was commissioned by Metsä Board Tako board mill. The objective was to make the measuring event used for condition monitoring safer and more efficient at board machine 1. The conditions at the measuring points are often hot, humid, cramped, dark or otherwise dangerous.

The development process was carried out by getting acquainted with the current situation of the condition monitoring of the board machine and finding out alternative ways to implement it. The work was started by looking at how the measurement rounds were performed. The next phase was to investigate the needs for condition monitoring of the different rolls with the help of a criticality analysis, after which the planning of the development could begin.

As a result of the thesis, a development proposal for developing the condition monitoring was presented. The proposal included an offline vibration measuring system, instructions for its commissioning and for executing the measurements. An offer for an offline measuring system was received from Valmet Automation, which included 360 accelerometers and 17 connection units.

After completing the measures according to the development proposal, the condition monitoring of the board machine 1 would be safer, more fluent, and more reliable than at the beginning of the work. No concrete development activities were undertaken in this thesis, as it was left to the client.

Key words: maintenance, vibration, board machine

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	METSÄ BOARD TAKO	7
3	KUNNOSSAPITO	8
	3.1 Määritelmä	8
	3.2 Kunnossapitolajit	8
	3.2.1 Suunnittelematon kunnossapito	9
	3.2.2 Jaksotettu kunnossapito	10
	3.2.3 Parantava kunnossapito	11
	3.2.4 Kuntoon perustuva kunnossapito	11
	3.2.5 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito	12
4	KUNNONVALVONTA	14
	4.1 Vikaantuminen	14
	4.2 Värähtelymittaukset	15
	4.2.1 Mittausjärjestelmät	16
	4.2.2 Mittausvälit	18
	4.2.3 Kiihtyvyyssanturit	19
	4.2.4 Iskusysäysanturit	20
	4.2.5 MEMS-anturit	20
	4.2.6 Muut värähtelyanturit	21
	4.2.7 Mittauspaikan valinta	22
	4.3 Lämpötilamittaukset	24
5	KUNNONVALVONNAN KOHTEET	26
	5.1 Johtotelat	26
	5.2 Imutelat	28
	5.3 Kuivatussylinterit	29
6	SUUNNITTELU JA TYÖN TOTEUTUS	31
	6.1 Toteutussuunnitelma	31
	6.2 Työn toteutus	31
7	KARTONKIKONEEN KUNNONVALVONNAN NYKYTILANNE	33
8	KUNNONVALVONTATARPEEN MÄÄRITYS	35
9	EHDOTUS KARTONKIKONEEN KUNNONVALVONNAN VÄRÄHTELYMITTAUSTEN KEHITTÄMISEKSI	36
	9.1 Puolikiinteä mittausjärjestelmä	36
	9.2 Antureiden kiinnitys	38
	9.3 Mittauskierros	40
10	TYÖN TUOTOS	42

11 POHDINTA	43
LÄHTEET	45
LIITTEET	48
Liite 1. Suositeltavia värähtelyn mittausvälejä.....	48
Liite 2. Jakokoteloiden paikat ja liitännät.....	49
Liite 3. Kriittisyysanalyysi	51

1 JOHDANTO

Kunnonvalvonta on kriittinen osa-alue jatkuvakäyntisessä tuotantolaitoksessa, jossa tuotannon seisokit suunnitellaan tarkasti ja tarpeettomat käyttökatkot pyritään minimoimaan. Suunnittelemattoman seisokin kustannukset ovat suuria, minkä takia yhä useammat yritykset panostavat kunnonvalvontaan ja ennakkoivaan kunnossapitoon.

Tämän opinnäytetyön toimeksiantaja on Metsä Board Tako. Takolla valmistetaan taivekartonkia kahdella kartonkikoneella, joista tässä työssä keskitytään kartonkikone ykköseen. Kunnonvalvontahenkilön työ on tällä hetkellä vaarallista, kun hän tekee telojen laakereiden kunnonvalvontaan kuuluvaa mittauskierrosta kartonkikoneella. Laakereiden mittauspisteet sijaitsevat pimeissä, kosteissa, ahtaissa ja kuumissa tiloissa, joissa lämpötila voi kohota jopa seitsemäänkymmeneen asteeseen.

Tämän työn tavoitteena on parantaa kartonkikoneen kunnonvalvonnan työturvallisuutta ja tehokkuutta Metsä Board Takon tehtaalla kehittämällä mittaustapahtumaa. Tarkoituksena on tutkia, miten mittaustapahtumasta saadaan systemaattinen ja turvallisesti suoritettava niin, ettei kunnonvalvontahenkilöstö joudu ottamaan turhia riskejä tai altistumaan kuormittaville olosuhteille. Kartonkikoneen suuren koon vuoksi kehitettävä alue on rajattu kartonkikoneen niin sanottuun märkään päähän eli viira- ja puristinosiin sekä kuivausryhmiin 1–3.

Työn painopiste on telojen laakereiden värähtelymittauksessa, jonka erilaisiin toteutustapoihin perehdytään ja sitä kautta haetaan sopivia ratkaisuvaihtoehtoja esitettäväksi toimeksiantajalle. Lopputuloksena on kehitysehdotus, jonka perusteella toimeksiantaja pystyy aloittamaan konkreettiset toimenpiteet kunnonvalvonnan kehittämiseksi.

2 METSÄ BOARD TAKO

Metsä Board Tako kuuluu Metsä Groupiin eli on Metsäliitto Osuuskunnan tytäryhtiö. Tako on yksi Metsä Boardin kahdeksasta tehtaasta ja sijaitsee aivan Tampereen keskustassa (kuva 1). Muut Metsä Boardin kartonkitehtaat sijaitsevat Äänekoskella, Ruotsin Husumissa, Kemissä, Hämeenkyrössä ja Simpeleellä. Kartonkitehtaiden lisäksi Metsä Boardiin kuuluvat BCTMP-massatehtaat Joutsenossa ja Kaskisissa. Vuonna 2020 koko Metsä Boardin liikevaihto oli 1,9 miljardia euroa, josta liikevoittoa oli 221 miljoonaa euroa (Metsä Board n.d.).



KUVA 1. Metsä Board Tako (Metsä Board n.d.)

Takon tehdas on perustettu vuonna 1865. Käytössä on kaksi kartonkikonetta, kaksi pituusleikkuria ja viisi arkkileikkuria. Valmistettava tuote on korkealaatuista, päällystettyä kartonkia vaativiin pakkausratkaisuihin. Työntekijöitä Takolla on 210 ja kartongin valmistuskapasiteetti on 210 000 tonnia vuodessa. (Metsä Board n.d.)

3 KUNNOSSAPITO

Kunnossapito on yleistermi, jolla viitataan tuotannossa toimivien koneiden ja laitteiden sekä niihin liittyvien kiinteistöjen toimintakunnossa pitämiseen. Terminä se on Suomessa hyvinkin laajasti käytetty. Kunnossapidon merkitys on kuitenkin jatkuvassa kasvussa ja sitä pidetäänkin omana tieteenhaaranaan. (Mitä on kunnossapito? n.d.) Tässä luvussa esitellään kunnossapidon määritelmä ja yleisimpiä kunnossapitolajeja.

3.1 Määritelmä

Kunnossapidon määritelmiä on useita erilaisia, mutta kaikki muistuttavat kuitenkin läheisesti toisiaan. Prosessiteollisuuden Standardoimiskeskus määrittelee kunnossapidon seuraavasti:

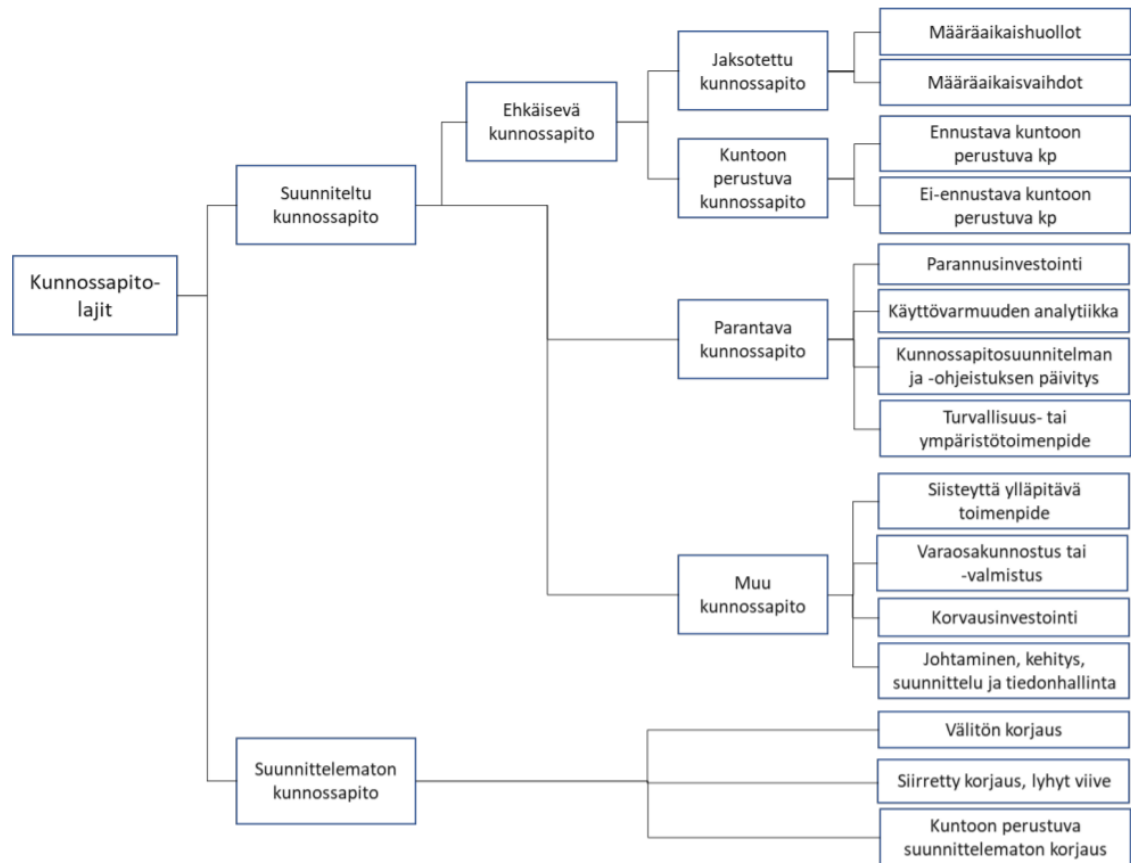
Kunnossapito on kaikkien niiden teknisten, hallinnollisten ja johtamiseen liittyvien toimenpiteiden kokonaisuus, joiden tarkoituksena on säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana. (PSK 6201 2022, 3.)

Käytännössä kunnossapidolla pyritään pitämään laite toimintakuntoisena tai kunnostamaan se toimintakuntoiseksi, mikäli se ei sitä ole. Tämä taas edellyttää laitokselta näkemystä siitä, mikä on laitteen haluttu toimintakunto. (Mikkonen 2009, 26.)

3.2 Kunnossapitolajit

Puhuttaessa kunnossapitolajeista törmätään usein kirjavaan terminologiaan, sekä sen käyttöön ja määrittelyyn. Tämä aiheuttaa helposti haasteita ja väärinkäsityksiä sekä suomenkielisisä että englanninkielisissä teksteissä. (Mikkonen 2009, 95.)

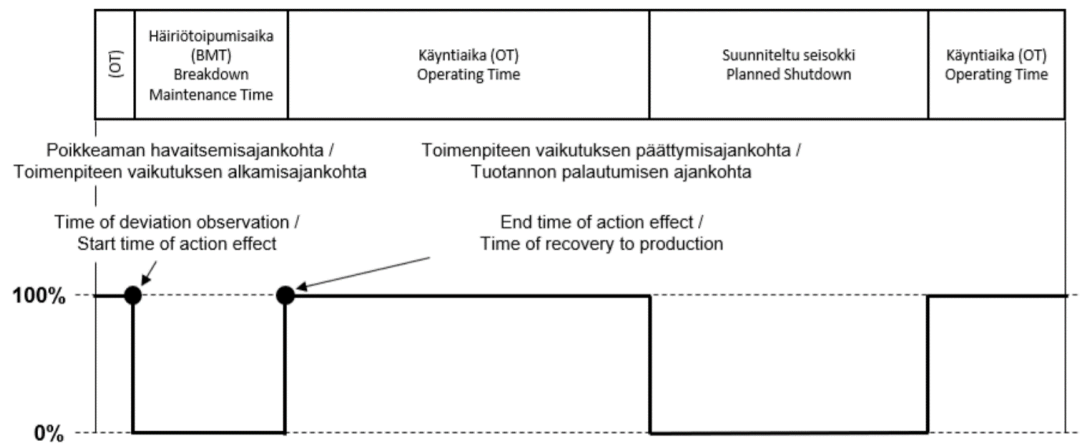
Kunnossapitolajit jaetaan suunnittelemtomaan ja suunniteltuun kunnossapitoon (kuvio 1). Suunnittelemtomalla kunnossapidolla tarkoitetaan korjaavaa kunnossapitoa, kun laite on jo ehtinyt vikaantua. Suunniteltua kunnossapitoa puolestaan toteutetaan ennen laitteen vikaantumista kunnonvalvontamittausten tai kuluneen ajan perusteella. (PSK 6201 2022, 26–27.)



KUVIO 1. Kunnossapitolajien luokittelu (PSK 6201, 40)

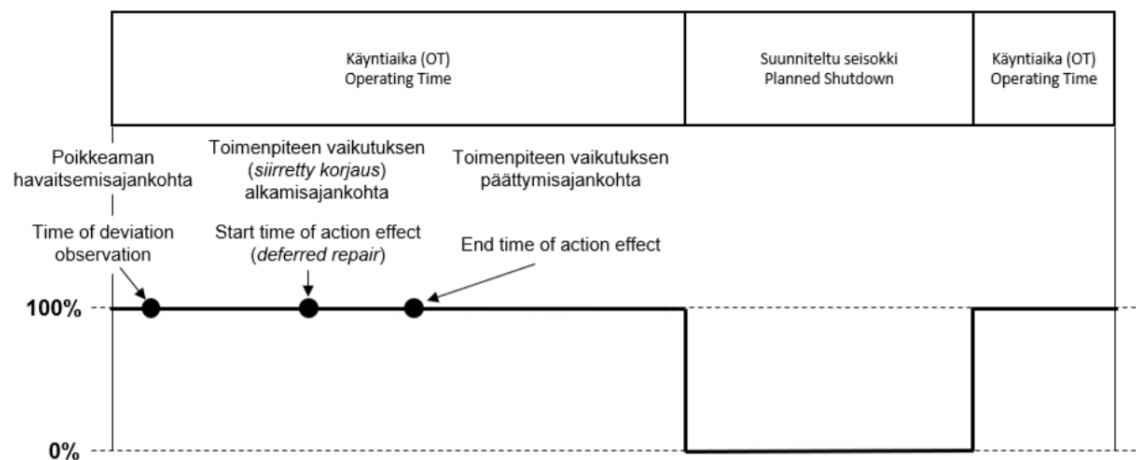
3.2.1 Suunnittelemton kunnossapito

Jos korjaava kunnossapito pitää suorittaa heti laitteen vian tai poikkeaman havaitsemisen jälkeen, puhutaan välittömästä korjauksesta. Kuviossa 2 on esitetty välittömän korjauksen vaikutus tuotantoon, kun poikkeama on pysäyttänyt tuotannon ja se pitää korjata välittömästi, mikä aiheuttaa tuotannonmenetykskustannuksia. (PSK 6201 2022, 27.)



KUVIO 2. Välittömän korjauksen vaikutus tuotantoon (PSK 6201, 28)

Mikäli laitteen vika tai poikkeama ei aiheuta tuotannon seisahtumista tai turvallisuusriskiä, voidaan sen korjaus suorittaa sille parhaiten sopivana ajankohtana, jolloin puhutaan siirretystä korjauksesta. Kuviossa 3 on esitetty siirretyn korjauksen vaikutus tuotantoon. Korjaus ei keskeytä tuotantoa, eikä näin ollen aiheuta tuotannonmenetyskustannuksia. (PSK 6201 2022, 27.)



KUVIO 3. Siirretyn kunnossapidon vaikutus tuotantoon (PSK 6201, 29)

3.2.2 Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettu kunnossapito on kunnossapitoa, jota suoritetaan tietyn ajan tai käyttömäärän täytyttyä. Laitteen kunnon määrittämiseen ei siis käytetä minkäänlaista tutkimusta. Toimenpiteellä pienennetään vikaantumisen todennäköisyyttä tai hidastetaan toiminnan heikkenemistä. Jaksotetusta kunnossapidosta käytetään myös termiä ehkäisevä kunnossapito. (PSK 6201, 32.)

Jaksotetun kunnossapidon toimenpiteisiin kuuluvat voiteluhuolto, jaksotettu huolto ja jaksotettu vaihto. Voiteluhuollolla ylläpidetään kohteen voitelun määrää ja laatua, jaksotetulla huollolla ylläpidetään kohteen suorituskykyä ja jaksotetulla vaihdolla korvataan kohde uudella. (PSK 6201, 32.)

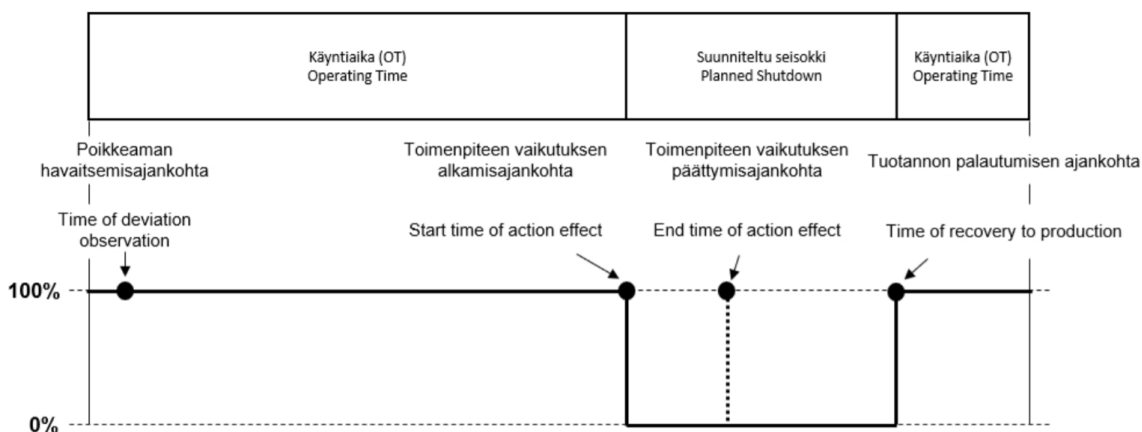
3.2.3 Parantava kunnossapito

Parantavan kunnossapidon tavoitteena on parantaa kohteen toimintaa, huollettavuutta tai turvallisuutta muuttamatta siltä vaadittua toimintaa (PSK 6201, 32). SFS-EN 13306 -standardi käyttää parantavasta kunnossapidosta termiä parantaminen (SFS-EN 13306 2017, 14).

Parantavan kunnossapidon toimenpiteitä ovat esimerkiksi käyttövarmuuden analysointi, kunnossapitosuunnitelman päivitys, työturvallisuuden parantaminen tai muu vastaava. Se voi liittyä myös kustannusoptimoointeihin. (PSK 6201, 32–33.)

3.2.4 Kuntoon perustuva kunnossapito

Kuntoon perustuva kunnossapito perustuu kunnonvalvontaan, joka on toimintaa, jolla seurataan kohteen kuntoa ja arvioidaan sen kehittymistä. Kuntoa valvotaan aisteilla ja mittalaitteilla ja tuloksia analysoimalla saadaan lähtötietoja kuntoon perustuvalla kunnossapidolle. (Mikkonen 2009, 97.) Kun kohteessa havaitaan oireita vikaantumisesta, voidaan niiden suunnitellun korjaamisen (kuvio 4) ajankohta määrittää hyvissä ajoin ennen varsinaista vikaantumista. Kun suunniteltu korjaus pystytään ajoittamaan suunniteltuun seisokkiin, säästytään ylimääräisiltä kustannuksilta, eikä tuotanto keskeydy. (PSK 6201, 29.)



KUVIO 4. Suunnitellun korjauksen vaikutus tuotantoon (PSK 6201, 30)

Kuntoon perustuva kunnossapito on osaavan henkilöstön ja teknologian yhdistelmä. Se koostuu kolmesta osa-alueesta, joita ovat valvonta, diagnosointi ja korjaus. Valvonta tarkoittaa kohteen kunnan seurantaa, jotta voidaan havaita alkavat viat. Diagnosoinnissa selvitetään ongelman aiheuttaja ja tehdään korjaussuunnitelma kohteen kunnan vaatimalla tavalla, joka toteutetaan korjausvaiheessa. Jatkuva ja tarkka tiedonkeruu on välttämätöntä kaikkien kolmen vaiheen toteuttamiseksi. Tietoa analysoitaessa henkilöstön ammattitaito on tärkeintä, se vaatii koulutusta sekä analysointitekniikoista että laitteiston ja ohjelmiston käytöstä. (Gulati 2021, 321.)

3.2.5 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito

Luotettavuuskeskeinen kunnossapito eli RCM (reliability-centered maintenance) ei ole varsinainen kunnossapitolaji vaan prosessi, jonka avulla kehitetään käyttökelpoinen ja tehokas kunnossapitosuunnitelma vikaantumisten minimoimiseksi. Onnistunut RCM:n käyttöönotto edistää kustannustehokkuutta, ajoaikaa ja riskienhallintaa. Näiden lisäksi se rohkaisee kunnossapitohenkilöstöä kehittämään työtehtävän valintaprosessia, mikä parantaa työn suorittamista ja yrityksen luotettavuuskulttuuria. (Gulati 2021, 296–297.) RCM-menetelmä on systemaattinen lähestymistapa sekä uuden kunnossapitojärjestelmän luomiseen että jo olemassa olevan järjestelmän kehittämiseen. Molemmissa tapauksissa lopputuloksena on kunnossapitojärjestelmä, joka koostuu toimenpiteistä, jotka ovat teknisesti parhaita ja kustannustehokkaimpia kohteen toimintakunnossa pitämiseen. (Gulati 2021, 297.)

RCM:n neljä peruseriaatetta erottaa sen muista kunnossapitoprosesseista. Ensimmäinen periaate on järjestelmän toiminnan varmistaminen. Tämä on RCM:n päätaavoite ja eroaa muista sillä, että tarkoituksena on koko toiminnan varmistaminen pelkän komponentin toiminnan varmistamisen sijaan. Toinen periaate on sellaisten vikaantumismekanismien selvittäminen, jotka voivat estää järjestelmän toimimisen. Kolmantena on vikaantumismekanismien priorisointi. Viimeisenä valitaan käyttökelpoiset ja tehokkaat menetelmät, joiden avulla vikaantuminen voidaan havaita ja estää tai sitä voidaan lieventää. (Gulati 2021, 298–299.)

Peruseriaatteiden lisäksi RCM tiedostaa rajoitteensa. RCM:n tavoitteena on säilyttää järjestelmän toiminnalle luontainen luotettavuus. Kunnossapitojärjestelmä pystyy säilyttämään ainoastaan järjestelmän suunnitteluvaiheessa määrittyneen luotettavuuden. Mikään määrä kunnossapitoa ei voi päihittää huonoa suunnitelua. Tästä syystä kunnossapidon avulla saatu tieto pitäisi välittää suunnittelijalle, jotta järjestelmää voitaisiin jatkossa kehittää paremmaksi. RCM-prosessissa turvallisuus tulee ennen taloutta. Turvallisuutta tulee vaalia hinnalla millä hyvänsä ja se on aina etusijalla kunnossapitoa suoritettaessa. Turvallisen työympäristön säilyttämisen aiheuttamia kuluja ei lasketakaan RCM:n toteuttamisen kuluiksi. (Gulati 2021, 300.)

SAE:n standardin JA1011 mukaan prosessin pitää vastata seuraaviin seitsemään kysymykseen, jotta sitä voidaan kutsua RCM:ksi:

1. Mitkä ovat laitteen toiminnot ja niiltä toivottu suorituskyky nykyisessä toimintaympäristössä (Toiminnot)
2. Miten laite voi vikaantua niin, ettei se enää täytä siltä vaadittuja toimintoja (Toiminnalliset viat)
3. Mikä aiheuttaa toiminnalliset viat? (Vikaantumismallit)
4. Mitä vikaantumisista aiheutuu? (Vikaantumisen vaikutukset)
5. Miten vikaantumiset vaikuttavat toimintaan? (Vikaantumisen seuraukset)
6. Mitä vikaantumisten estämiseksi tulisi tehdä? (Ennakoivat toiminnot)
7. Mitä tulisi tehdä, jos sopivaa ennakoivaa toimintaa ei löydy? (Korjaavat toiminnot) (Gulati 2021, 300.)

4 KUNNONVALVONTA

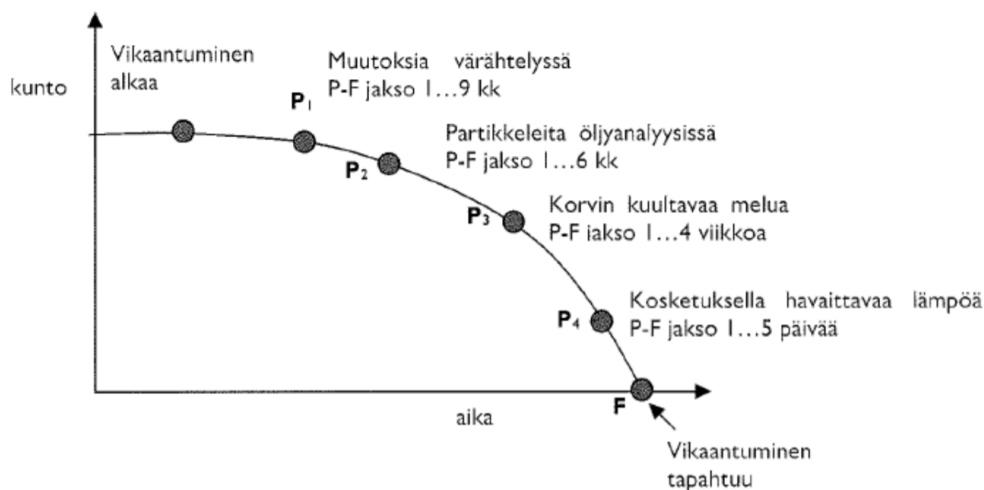
Kone voi menettää toimintakykynsä ennen suunniteltua seisokkia monella tavalla. Vikaantumiseen johtava kunnon heikentyminen voi olla yhteydessä aikaan, käyttöikään, kulutettuun energiaan, kunnossapidon laiminlyömiseen tai vaikka käyttövirheeseen. Kunnonvalvonnalla pyritään havaitsemaan ja ennakoimaan tällaiset tilanteet. Yleisimmin käytetyt kunnonvalvonnan mittausten menetelmät ovat värähtelymittaukset, lämpötilamittaukset ja erilaiset voitelumittaukset. (Leiviskä 2009, 331–332.) Tässä luvussa esitellään vikaantumisen teoriaa ja kunnonvalvonnan värähtely- ja lämpötilamittausmenetelmiä.

4.1 Vikaantuminen

Vikaantuminen on tapahtuma, jonka seurauksena kohteen suorituskyky loppuu ja kohteeseen tulee vika (PSK 6201, 14). Vikaantuminen alkaa syystä, joka voi olla esimerkiksi valmistus-, asennus- tai käyttövirhe. Syyn seurauksena vikaantumismekanismi, eli kuluminen, väsyminen tai vastaava, alkaa. Kun vikaantumismekanismi on päästänyt laitteen tarpeeksi huonoon kuntoon, sen käyttöön tulee yleensä jonkinlainen häiriö, joka johtaa vikaantumiseen. Vikaantuminen ilmenee vikamuotona, joka voi olla esimerkiksi venttiilin jumittuminen tai telan katkeaminen. (Daley n.d.) Aiheeseen liittyy paljon toisiaan muistuttavia termejä, joiden käyttö vaihtelee varsinkin englanninkielisissä teksteissä.

Vikaantumisen etenemistä voidaan kuvata P-F-käyrällä (kuvio 5), jossa näkyy, milloin vikaantumisprosessi alkaa ja milloin se pystytään havaitsemaan erilaisilla mittausmenetelmillä. ”P” tulee sanoista ”potential failure”, eli mahdollinen vikaantuminen. ”F” puolestaan viittaa sanoihin ”functional failure” eli toiminnallinen vikaantuminen. (Bellstedt 2022.) Parhaassa tilanteessa kaikkien laitteiden P-F-käyrä olisi tiedossa, jolloin kunnonvalvontaa suunniteltaessa oikein valituilla menetelmillä voidaan P-pistettä siirtää lähemmäs vaurioitumisen alkua ja näin lisätä aikaa huollon tai korjauksen suunnittelemiseen ennen varsinaista vikaantumista.

Pelkästään oikea mittausten menetelmä ei vielä kuitenkaan riitä, vaan mittausten välin tulee olla myös tarpeeksi tiheä, jotta vikaantuminen havaitaan ajoissa. (Mikkonen 2009, 140–141.)



KUVIO 5. Esimerkki vierintälaakerin P-F-käyrästä (Mikkonen 2009, 141)

Laakereiden vikaantumisista noin kolmasosa johtuu puutteellisesta voitelusta. Toinen kolmasosa puolestaan epäpuhtauksista ja virheellisestä käsittelystä. Loput aiheutuvat linjausvirheistä, epätasapainosta tai esimerkiksi tärinästä. (Miksi laakerit vaurioituvat? n.d.)

4.2 Värähtelymittaukset

Värähtelymittauksia käytetään pyöriä laitteiden, kuten pumppujen, moottoreiden ja telojen kunnan määrittämiseen (Gulati 2021, 323). Se on yleisin kunnonvalvontamenetelmä ja oikein käytettynä myös väitetyksi paras. Värähtelyä mitataan kolmen pääsuureen avulla, jotka ovat siirtymä, nopeus ja kiihtyvyys ja joille kaikille on omat anturinsa. Värähtelyn suuret on esitetty taulukossa 1. (Nohynek & Lumme 2004, 17.)

TAULUKKO 1. Euroopassa käytetyt värähtelysuureet ja mittayksiköt (Mikkonen 2009, 230)

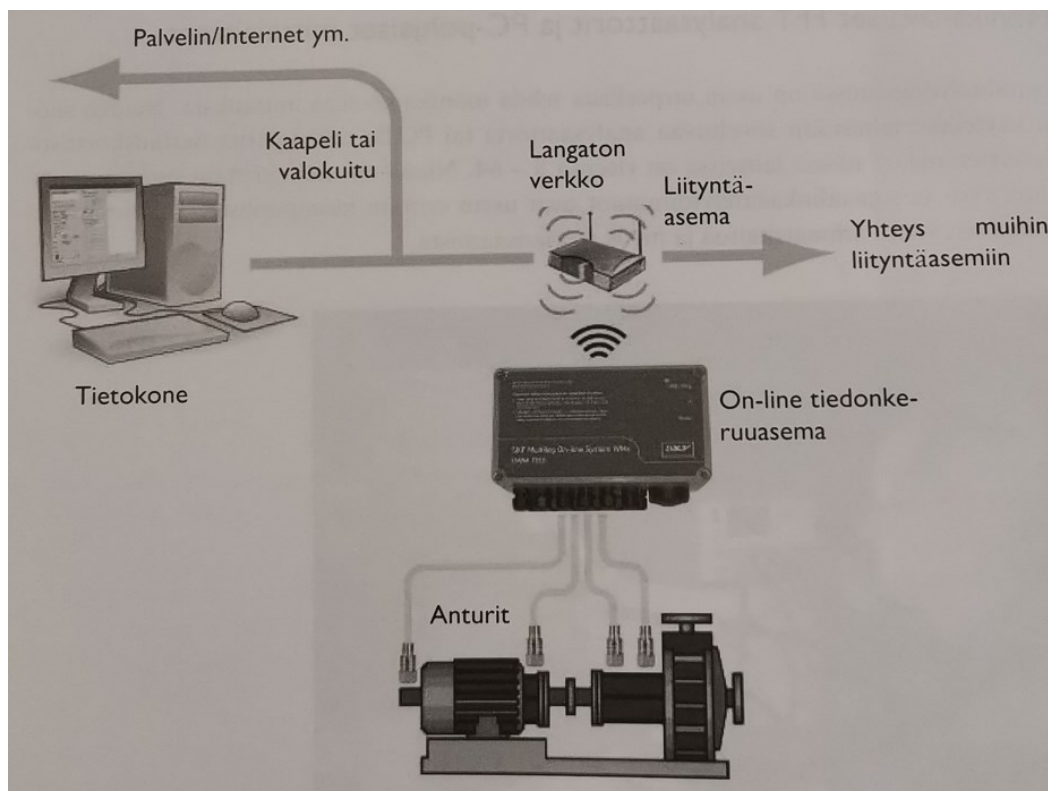
Suure	Lyhenne	Yksikkö
Siirtymä	s	μm
Nopeus	v	mm/s
Kiihtyvyys	v	m/s^2 tai $g = 9,81 \text{ m/s}^2$
Vaihekulma	ϕ	Aste ($^\circ$) tai radiaani ($360^\circ = 2\pi\text{rad}$)
Taajuus	f	Hz
Jakso	T	s

Kunnonvalvontaa on suoritettu värähtelymittauksilla jo pitkään. Ennen elektronisten antureiden ja mittalaitteiden kehittämistä värähtelyä mitattiin aistien avulla. Kuntoa pystyttiin arvioimaan kuuntelemalla ja tunnustelemalla. Ne ovat edelleen hyödyllisiä menetelmiä karkeassa värähtelyn arvioimisessa ja paikantamisessa. Nykypäivänä värähtelyä voidaan kuitenkin mitata tarkasti antureiden ja mittalaitteiden avulla. (Mikkonen 2009, 234.)

4.2.1 Mittausjärjestelmät

Kunnonvalvonnan mittauksia voidaan suorittaa kiinteällä tai puolikiinteällä järjestelmällä tai kannettavalla mittalaitteella. Järjestelmän valintaan vaikuttaa laitteen kriittisyys ja vikojen kehittymisnopeus. (PSK 5705 2006, 6.)

Kiinteä järjestelmä eli online-järjestelmä (kuvio 6) koostuu antureista, antureiden kaapeleista ja mittausyksiköstä. Mittausyksiköstä antureiden mittaama tieto välitetään verkkoa pitkin eteenpäin sitä analysoiville tahoille. (Nohynek & Lumme 2004, 28.) Järjestelmää käytetään kohteissa, joissa vikaantuminen kehittyy nopeasti, häiriöherkkyys on suurta tai mittausväli lyhyt. Kiinteät järjestelmät voidaan asettaa mittaamaan jatkuvasti tai määräväleihin. (PSK 5705 2006, 7.)



KUVIO 6. Esimerkki kiinteästä kunnonvalvontajärjestelmästä (Mikkonen 2009, 262)

Puolikiinteä järjestelmä on samanlainen kuin kiinteä järjestelmä, ainoana erona siihen on mittaussignaalin välittäminen eteenpäin. Puolikiinteässä järjestelmässä mittausyksikön tilalla on turvalliseen paikkaan sijoitettu liitännäyksikkö, johon liitetään kannettava mittalaite, jolla mittaus suoritetaan. Tätä mittausapua käytetään, kun mittauskohteen luokse pääseminen on vaikeaa tai vaaraksi työturvallisuudelle. (Nohynek & Lumme 2004, 29.; PSK 5705 2006, 7.)

Kannettavalla mittalaitteella (kuva 2) voidaan kerätä tietoa puolikiinteän järjestelmän antureilta tai sillä voidaan käyttää siirrettävää anturia. Niissä on sisäinen muisti, johon mittaus tulokset tallentuvat. Mittalaitteeseen voidaan määrittää mittausreitit mittauspisteineen, joita käyttäjä seuraa etukäteen määritellyin aikavälein mitaten kohteita liitännäyksiköiden tai siirrettävän anturin avulla. Kerättyjä mittaus tuloksia voidaan tarkastella laitteelta tai ne voidaan siirtää tietokoneelle tarkempaan tarkasteluun. Kannettavaa mittalaitetta käytetään paikoissa, joihin on helppo ja turvallinen pääsy. (Nohynek & Lumme 2004, 29.)



KUVA 2. Valmet Maintenance Pad -kannettava mittalaite

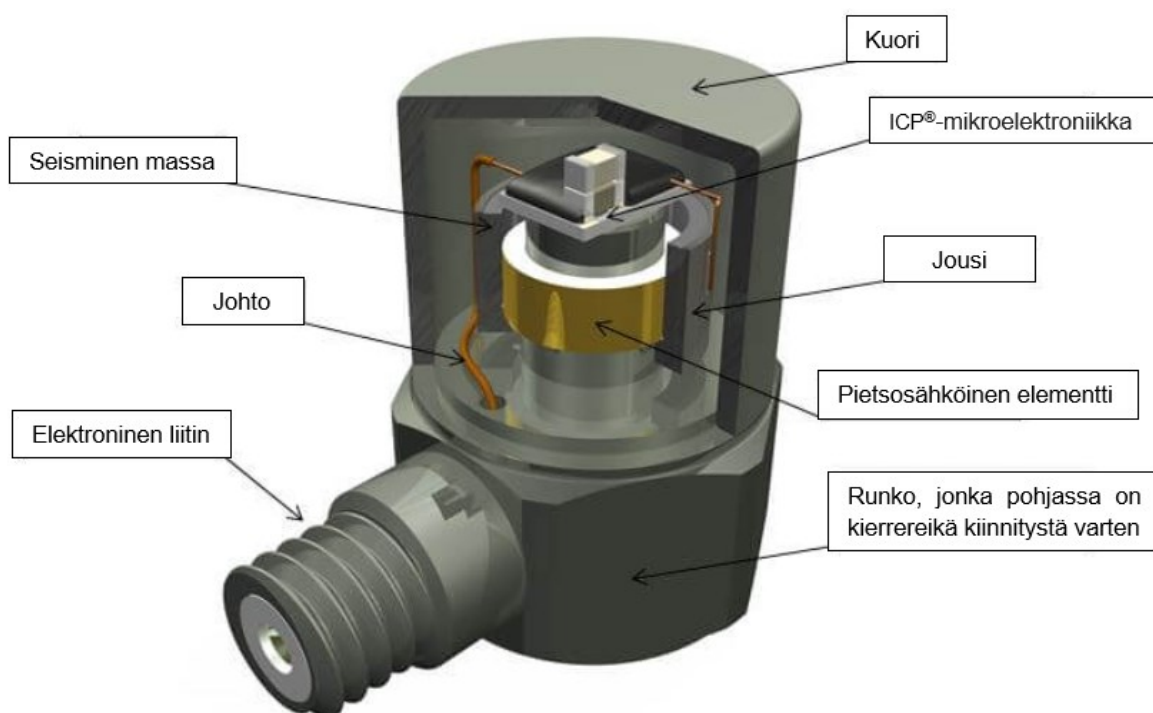
4.2.2 Mittausvälit

Mittausaikavälin määrittämisessä tulee ottaa huomioon käytössä oleva valvontamenetelmä, laitteen kriittisyysluokka, häiriöherkkyys, vikaantumisnopeus ja kohteen kunnan historiatiedot. Mittausvälin tulee olla tarpeeksi lyhyt, etteivät viat pääse kehittymään vaurioiksi mittauksen välillä. Liitteen 1 taulukkoa voidaan käyttää apuna määrittämisessä. (PSK 5705 2006, 8.)

Määritetyistä mittausväleistä huolimatta kunnonvalvontamittaukset tulisi aina suorittaa huolto- tai korjaustoimenpiteiden jälkeen. Näin pystytään varmistamaan, että toimenpide on onnistunut ja saadaan ehjän laitteen mittaustulokset tulevaisuuden tulosten vertailuarvoksi. Myös vikaantumisen merkkejä havaitessa pitää mittausväliä tihentää, jotta vikaantumisen kehittymistä voidaan seurata. Seuraamisen tukemiseksi voi mittaustoimintaa tehostaa muilla mittausmenetelmillä. (PSK 5705 2006, 8.)

4.2.3 Kiihtyvyyssanturit

Pietsosähköiset kiihtyvyyssanturit (kuvio 7) ovat rakenteeltaan monimutkaisia, mutta toiminnaltaan yksinkertaisia. Niissä on pietsosähköinen kide kiinnitettynä anturikuoreen ja sen ympärille on asennettu massa. Anturi kiinnitetään kohteeseen, jolloin se liikkuu kohteen mukana. Liikkeen vaikutuksesta kiteeseen kiinnitetty massa joko venyttää tai puristaa sitä aiheuttaen kiihtyvyyteen verrannollisen sähkövarauksen. Tämä varaus johdetaan vahvistimen kautta liittimeen, josta saadaan mittaussignaali. (Nohynek & Lumme 2004, 46–47.)



KUVIO 7. PCB Piezotronicsin sisäisellä varausvahvistimella varustettu kiihtyvyyssanturi (PCB Piezotronics 2022, muokattu)

Anturi kiinnitetään kohteeseen magneetilla, ruuvilla tai käsin asettamalla (Nohynek & Lumme 2004, 46). Kiihtyvyyssantureiden mittausalue on hertsin kymmenesosista yleensä noin kahteenkymmeneen kilohertsiin (SKF 2018, 2). Kiihtyvyyssanturit ovat värähtelymittauksissa eniten käytettyjä antureita johtuen niiden alhaisesta hinnasta ja monipuolisista käyttökohteista. Samaa anturia voidaan käyttää esimerkiksi niin matalataajuisten akselin pyörimisvikojen kuin korkeataa-

juisten laakerivikojenkin havaitsemiseen, koska mittalaitteella pystytään integroimaan kiihtyvyyssignaali nopeudeksi ja siitä edelleen siirtymäksi. (Nohynek & Lumme 2004, 47.)

4.2.4 Iskusysäysanturit

Iskusysäys eli shock pulse method (SPM) on SPM Instrumentsin patentoima värähtelymittaustapa laakerivikojen ja voiteluhäiriön aiheuttaman metallien välisen kosketuksen havaitsemiseen (Leiviskä 2009, 333). Anturin toiminta perustuu sen 32 kilohertsin ominaistajuuteen. Laakerin vierintäelimen osuminen vastinpinnan vaurioituneeseen kohtaan aiheuttaa anturiin värähtelyä sen ominaistajuudella. (Mikkonen 2009, 249.)

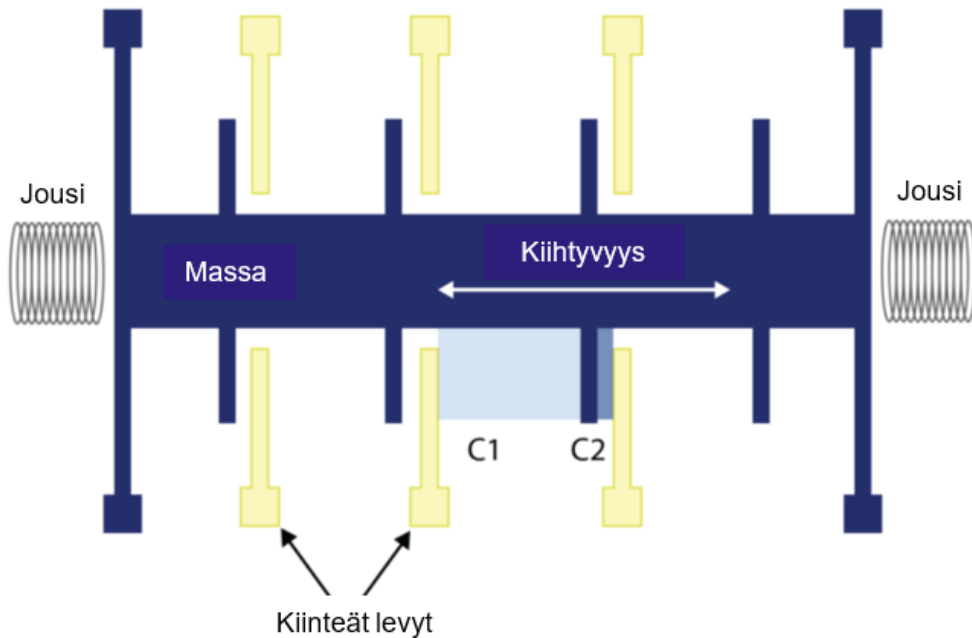
Iskusysäysanturin mittasignaalista pystytään erottamaan esimerkiksi vaurioitunut laakeri, pyörivien osien kosketus toisiinsa, löysällä oleva osa ja toisiaan hankkaavat osat (Mikkonen 2009, 249). SPM-menetelmää käytetään laajasti laakereiden voiteluhoollossa, koska iskusysäyssignaalit kohoavat voitelukalvon ohentuessa. Joissain laitoksissa laakereiden lisävoitelu suoritetaan mittausten perusteella, kun voitelukalvon paksuus laskee alle hälytysrajan. (Parikka & Halme 2006, 10.)

4.2.5 MEMS-anturit

MEMS-anturit ovat yleistyneet viime aikoina runsaasti anturitekniikan saralla (Fraden 2016, 721). MEMS on yhdistelmä mikroelektroniikkaa ja -mekaniikkaa eli englanniksi micro-element-mechanical systems. Antureiden kriittiset osat ovat siis hyvin pieniä ja niiden koko mitataankin mikrometreissä. Valmistusaineena käytetään piitä, sen loistavien mekaanisten ja sähköisten ominaisuuksien takia. (Mikkonen 2009, 243–244.)

MEMS-antureita käytetään värähtelymittauksissa perinteisen kiihtyvyyssanturin tapaan. Niiden toiminta kuitenkin perustuu kapasitanssiin eli ne ovat pieniä kondensaattoreita. Anturissa on pienillä levyillä varustettu massa, joka liikkuu värähtelyn vaikutuksesta. Massaan kiinnitetyt levyt liikkuvat kiinteiden levyjen välissä,

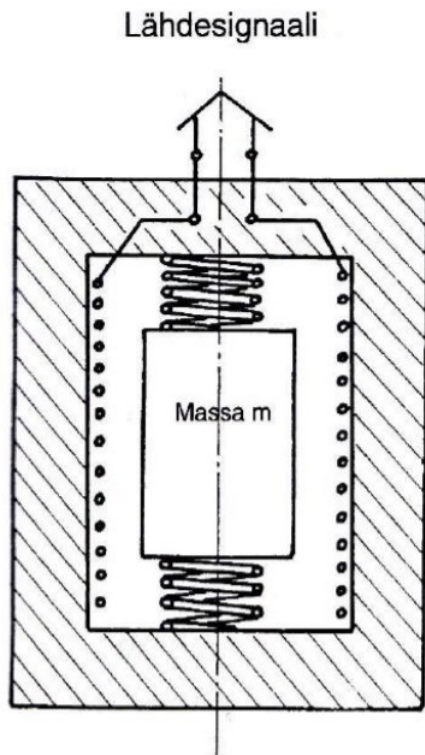
jolloin kapasitanssi muuttuu, joka taas voidaan muuttaa mittasignaali. (Fraden 2016, 205.) Tämänlaisen niin kutsutun kapasitiivisen siirtymäanturin rakenne on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. MEMS-kiihtyvyyssanturin toimintaperiaate (Level Developments n.d., muokattu)

4.2.6 Muut värähtelyanturit

Nopeusanturit (kuvio 9) ovat yleensä hieman suurempia kuin kiihtyvyyssanturit. Ne koostuvat jousilla kiinnitetystä magneettisesta massasta, jonka ympärillä on käämi. Värähtelyn johdosta massa liikkuu sen mukana, aiheuttaen käämiin jännitteen, joka on verrannollinen värähtelynopeuteen. Nopeusanturit ovat häiriöherkempiä kuin kiihtyvyyssanturit ja niiden käyttö on harvinaistunut, erityisesti siksi, että kiihtyvyyssanturin signaali voidaan muuttaa helposti nopeussignaali. (No-hynek & Lumme 2004, 48.)

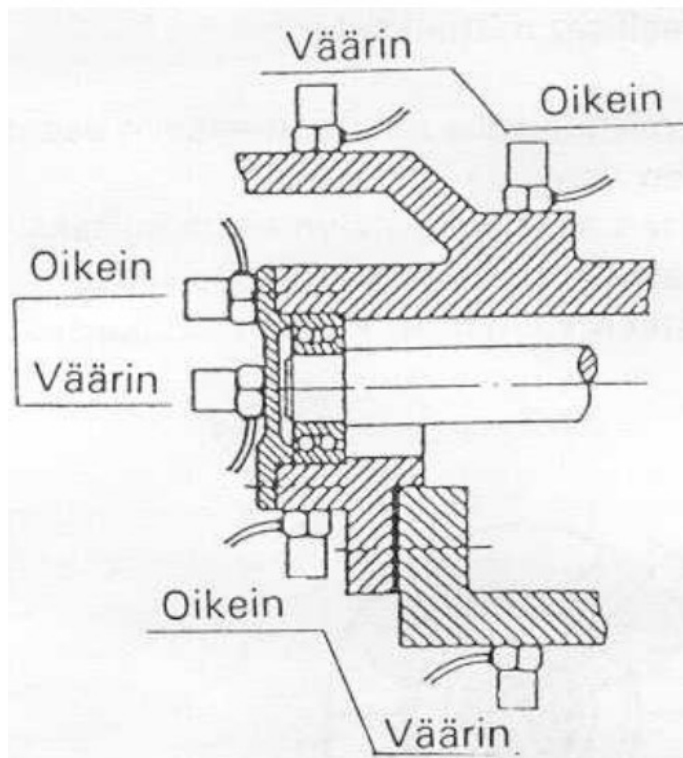


KUVIO 9. Nopeusanturin poikkileikkaus havainnollistettuna (Nohynek & Lumme 2004, 47)

Siirtymäantureilla mitataan etäisyyttä anturin ja kohteen välillä. Niitä käytetään useimmiten liukulaakeroitujen akselien värähtelyn mittaamiseen. Yleisin siirtymäanturityyppi on pyörrevirta-anturi, jonka päässä oleva kela muodostaa magneetikentän, joka indusoi pyörrevirtoja mitattavan kohteen pintaan. Välimatkan vaihdeltaessa pyörrevirrat muuttuvat ja muuttavat kelan jännitettä, joka saadaan anturista ulos signaalitietona. Värähtelyn lisäksi siirtymäanturilla voidaan mitata pinnan muodonmuutoksia, asemaa ja akselin ratakäyriä. (Nohynek & Lumme 2004, 49.)

4.2.7 Mittauspaikan valinta

Mittauspiste tulee valita niin, että värähtelylähteen ja anturin etäisyys on mahdollisimman pieni (kuvio 10). Värähtely menettää voimakkuuttaan rajapinnoissa, siksi myös rajapintojen määrä anturin ja värähtelijän välissä tulisi pitää minimissä. (PSK 5702 2007, 1.)



KUVIO 10. Anturin kiinnityskohdat värähtelymittauksessa (PSK 5702 2007, 2)

Pyörivien massojen värähtely siirtyy laakerin kautta koneen runkoon, minkä takia mittauspisteet on hyvä sijoittaa laakerointikohtiin. (PSK 5702 2007, 2.) Suositeltavaa olisi, että värähtelymittaukset pystyttäisiin tekemään jokaisen laakerin kohdalla vaaka-, pysty- ja aksiaalisuunnassa. Tästä suosituksesta joudutaan tosin usein poikkeamaan tilanpuutteen tai työturvallisuuden takia. Minimimäärä on kuitenkin yksi mittauspiste laakeria kohden. (Nohynek & Lumme 2004, 53.)

Kiinteissä- ja puolikiinteissä mittausjärjestelmissä joudutaan usein tyytymään yhteen mittapisteeseen korkeiden kustannusten takia. Näissä tilanteissa anturin suunnan valintaan tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kartonkikoneen telojen laakereiden anturit kannattaa asentaa aksiaalisuuntaan, koska kokemuksen perusteella laakeriviat havaitaan parhaiten tässä suunnassa. (Nohynek & Lumme 2004, 53–54.) Laakereiden mittauspisteen määrittämisessä pitää ottaa huomioon myös kuormitussuunta. Kuormitussuunnan ollessa alaspäin tulee mittaus suorittaa alemmasta laakeripukin puolikkaasta ja päinvastoin. (Mikkonen 2009)

Mittauspisteen valinnassa tulee huomioida myös käytössä oleva tila. Anturi pitää olla mahdollista asentaa, vaihtaa, suojata ja kaapeloida luotettavasti. Anturien

olemassaolo ei saisi myöskään vaikeuttaa muita ympäristössä tapahtuvia toimenpiteitä. (PSK 5702 2007, 2.)

4.3 Lämpötilamittaukset

Laakereiden kunnonvalvonnassa suosittiin aikaisemmin lämpötilamittauksia. Niiden huonona puolena on kuitenkin lämpötilamuutoksen vasta myöhäisessä vaiheessa antama indikaatio alkavasta laakeriviasta. Lähes kaikkien vikojen kehityessä vaurioksi lämpötila kuitenkin nousee huomattavasti ja siksi lämpötilamittauksia kannattaa käyttää täydentävänä menetelmänä muiden rinnalla. (Nohynek & Lumme 2004, 20.)

Lämpötilaa voidaan mitata kosketuksellisilla käsimittareilla, infrapunamittalaitteilla tai infrapunakameroilla. Kosketuksellisten mittareiden etuna on, ettei niiden kanssa tarvitse ottaa huomioon eri pintojen emissiokertoimia tai heijastuvien lämpöaaltojen häiriöitä. Haittapuolena on niiden vaatima pääsy mitattavan laitteen luokse. (Nohynek & Lumme 2004, 20.)

Infrapunasäteilyyn perustuvat menetelmät ovat eniten käytettyjä, koska niillä voidaan mitata tarvittaessa todella etäältäkin. Niiden mittatarkkuutta toisaalta häiritsevät emissiokertoimet, heijastumat ja mittausalueen laajeneminen etäisyyden kasvaessa. Infrapunakameroilla (kuva 3) voidaan kuitenkin havaita koneenosien vikoja yksityiskohtaisesti, kuten esimerkiksi telojen vinokuormitus, venttiilivuodot ja laakereiden kunto. (Nohynek & Lumme 2004, 20–21.)



KUVA 3. Fluke TiX580 -lämpökamera (Fluke 2022)

5 KUNNONVALVONNAN KOHTEET

Kartonki- ja paperikoneen pyöriviä osia, jotka kannattelevat viiraa, huopaa tai kartonki- tai paperirainaa, kutsutaan teloiksi. Kuivatussylinterit ovat poikkeus tähän nimeämistapaan. Karttonkikoneessa erilaisia teloja ja kuivatussylintereitä on satoja. Telojen suuren määrän ja kalliin rakenteen vuoksi niistä muodostuu suurin yksittäinen kustannustekijä. Kokonaisen paperikoneen hinnasta noin 60 % koostuu teloista ja siksi ne ovat tärkeä kohde kunnonvalvonnalle. (Paulapuro 2008, 446.) Tässä luvussa esitellään Metsä Board Takon kunnonvalvonnan piiriin kuuluvia teloja ja sylintereitä.

5.1 Johtotelat

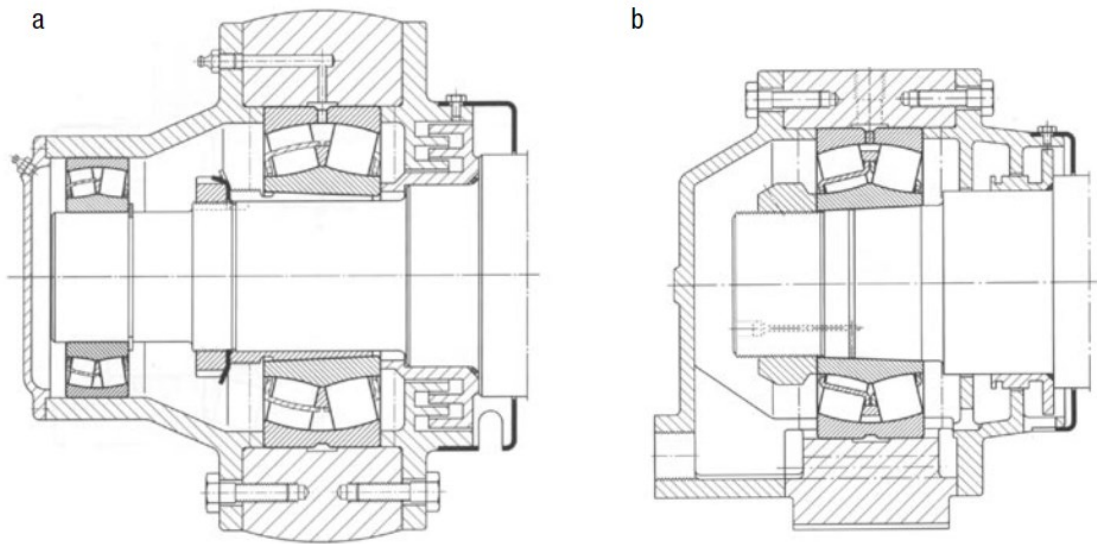
Johtotelojen (kuva 4) rakenne on karttonkikoneen teloista yksinkertaisin. Nimensä mukaisesti niiden tarkoitus on ohjata tai tukea kudoksia tai rainaa. Telan sijainnista ja käyttötavasta riippuen sitä voidaan kutsua myös esimerkiksi veto-, kiristys- tai ohjaustelaksi. Johtoteloihin ei kohdistu erityisen suuria ulkoisia kuormituksia. Johtotela koostuu yleensä teräksisestä sylinterimäisestä kuoresta, päätyvai-poista ja päätyakseleista. Nykyään on saatavilla myös komposiittiteloja. (Paulapuro 2008, 446–451.)



KUVA 4. Varastoinnin ajaksi suojattu johtotela

Märänpään johtotelat ovat yleensä päällystettyjä kulumisen ja korroosion estämiseksi. Kudosten kitka ja telojen kaavaaminen aiheuttaa eniten kulumista ja kostea ympäristö aiheuttaa korroosiota. Yleisin päällystysmateriaali on kumi. (Paulapuro 2008, 452.)

Johtotelojen laakereina käytetään lähes poikkeuksetta pallomaisia rullalaakereita. Etuna tämäntyyppisille laakereille on laakeripesän linjausvirheen kestävyys. Osassa teloista on lisäksi ohjauslaakeri, joka pitää laakeripesän oikeassa asennossa (kuvio 11). Lämpötilavaihteluista johtuvien pituudenmuutosten takia telan hoitopuolen laakeri pääsee liukumaan laakeripesän sisällä. (Paulapuro 2008, 452.)



KUVIO 11. Johtotelan laakeroinnit (Paulapuro 2008, 452)

5.2 Imutelat

Imuteloja (kuva 5) käytetään veden poistamiseen rainasta mutta myös rainan siirtämiseen koneen osalta toiselle. Imutelan vaippa on reiätetty ja sen sisällä on alipaine, joka imee vettä rainasta tai pitää rainan kiinni kudoksessa. Valmistusmateriaalina käytetään haponkestävää duplex-terästä. (Paulapuro 2008, 457–459.)

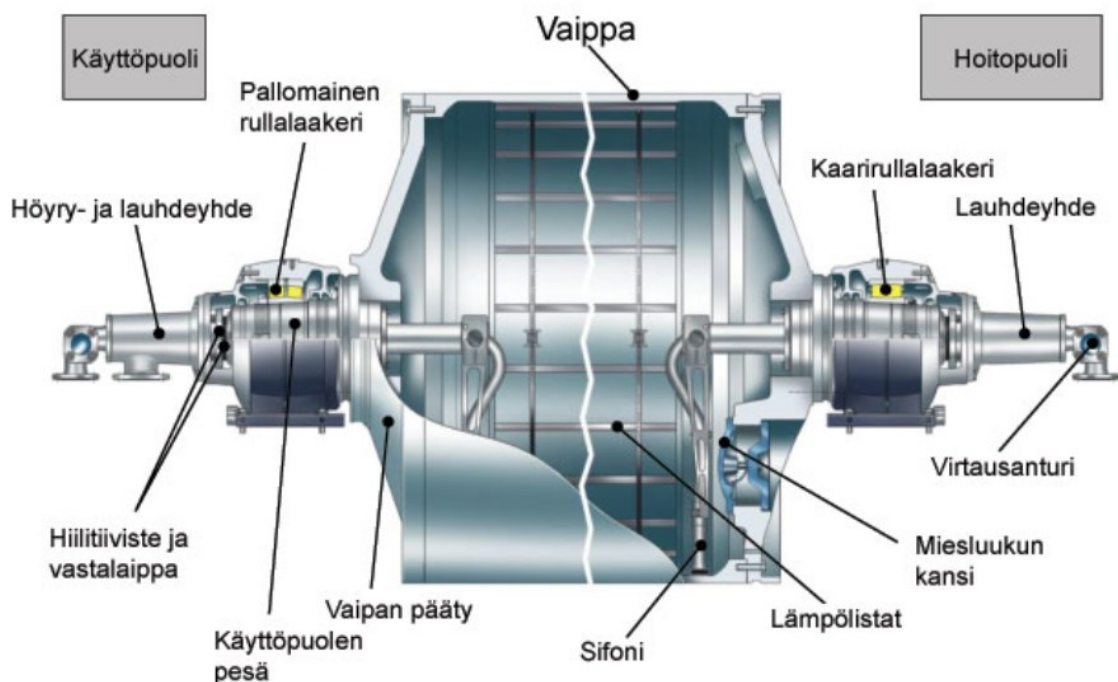


KUVA 5. Imutela (Valmet 2022)

Laakereina imuteloissa käytetään pallomaisia rullalaakereita, joissa on kartiomainen laakerireikä. Aksiaalisesti ohjaavana laakerina toimii käyttöpuolen laakeri. Hoitopuolen laakerissa on liukusovite ulkorenkaalla, minkä avulla se siirtyy ja vastaa telan pituusmuutoksiin. (FAG 2004, 10.)

5.3 Kuivatussylinterit

Kuivatussylinteri (kuvio 12) on valuraudasta valmistettu paineastia, jolla kartonkia kuivataan sen kulkiessa kuuman sylinterin yli. Sylinteriin syötetään höyryä, joka luovuttaa lämpönsä sylinterin vaippaan ja lauhtuu vedeksi. Lauhdevesi poistetaan sylinterin toisesta päästä. Kaikissa kuivatussylintereissä on kaavarit pitämässä niiden pinnan puhtana. (KnowPap n.d.)



KUVIO 12. Kuivatussylinterin rakenne (KnowPap n.d.)

Kartonkikoneissa kuivatussylintereitä on useita kymmeniä. Niiden halkaisija vaihtelee 1,25 metristä jopa yli kahteen metriin, mutta yleisimpiä ovat 1,5 m halkaisijan kuivatussylinterit. Valmistusmateriaalina käytetään harmaavalurautaa sen hyvän lämmönjohtokyvyn takia. (Karlsson 2010, 91.)

Sylintereiden lämmitys aiheuttaa lämpölaajenemista, minkä vuoksi laakereiden pitää ottaa vastaan pituus- ja kulmamutokset. Hoitopuolella suositellaan käytettävän kaksirivistä lieriörullalaakeria pallomaisella ulkorenkään liukupinnalla. Käyttöpuolelle suositellaan pallomaista rullalaakeria. (FAG 2004, 16.)

6 SUUNNITTELU JA TYÖN TOTEUTUS

Tämän opinnäytetyön tavoitteen mukainen kartonkikoneen kunnonvalvonnan kehittäminen suunniteltiin tehtävän kirjallisena kehitysehdotuksena, jonka avulla konkreettinen kehitystyö voitaisiin toteuttaa. Tässä luvussa esitetään työn toteutussuunnitelma ja toteutuksen kulku.

6.1 Toteutussuunnitelma

Työn ensimmäinen vaihe olisi kartoittaa kartonkikoneen vanhan ja toimimattoman kunnonvalvonnan mittausjärjestelmän rakenne ja selvittää miten kunnonvalvontaa suoritetaan tällä hetkellä. Lisäksi suunnitelmaan kuuluisi tutustuminen toisen kartonkitehtaan kunnonvalvonnan mittausratkaisuihin. Ennen kehitystyön aloittamista haluttiin haastatella myös kunnossapitohenkilöstöä heidän kokemuksistaan ja ajatuksistaan kunnonvalvontaan liittyen.

Tutustumisvaiheen jälkeen kehitystyö aloitettaisiin kartonkikoneen osien kriittisyysanalyysillä, minkä perusteella voitaisiin tehdä valintoja kunnonvalvontajärjestelmän hankintaan liittyen. Tässä vaiheessa myös perehdyttäisiin erilaisiin kunnonvalvonnan mittausmenetelmiin ja -järjestelmiin kirjallisuuden ja asiantuntijahaastatteluiden avulla. Viimeisessä vaiheessa pyydettäisiin tarjouksia sopivista kunnonvalvontajärjestelmistä. Saatujen tarjousten vertailun jälkeen suositeltaisiin toimeksiantajalle niistä sopivinta ja laadittaisiin kirjalliset ohjeet sen käyttöä varten.

6.2 Työn toteutus

Opinnäytetyön toteutus aloitettiin selvittämällä vanhan puolikiinteän mittausjärjestelmän antureiden asennuspaikat myöhempää mahdollista hyödyntämistä varten. Lisäksi selvitettiin nykyisin käytössä olevat mittausvälineet ja -menetelmät haastattelemalla mekaanisen kunnossapidon henkilöstöä.

Kunnonvalvonnan nykytilanteeseen perehtymisen jälkeen käytiin tehdasvierailulla tutustumassa Metsä Board Kyron online-värähtelymittausjärjestelmään. Vierailulla päästiin näkemään kiihtyvyyssantureiden asennustapoja, puolikiinteän järjestelmän jakokoteloiden rakennetta ja kunnonvalvontaohjelmiston toimintaa. Saatuja tietoja pystyttiin soveltamaan ja hyödyntämään myöhemmin opinnäytetyön tekemisessä.

Itse kunnonvalvonnan kehittäminen aloitettiin analysoimalla kartonkikoneen osien kriittisyyttä, jotta värähtelymittausten suunnitteluun olisi oikeanlaiset lähtökohdat. Kriittisyysanalyysin perusteella pystyttiin määrittämään koneen kunnonvalvontatarve ja selvittämään eri osien vaatimat erilaiset mittausaikavälit.

Osien kriittisyysanalyysin jälkeen oltiin yhteydessä kolmeen eri laitetoimittajaan, joista kahdelta saatiin apua värähtelymittausratkaisuiden valitsemisessa. Lopulta vain Valmet Automation Oy:ltä saatiin tarjous, jonka perusteella voitaisiin rakentaa mittausjärjestelmä. Valmet Automation valittiin aiemman yhteistyön ja jo aikaisemmin tehtyjen laite- ja ohjelmistohankintojen vuoksi. Tarjoukseen sisältyi puolikiinteä värähtelymittausjärjestelmä: 360 kiihtyvyyssanturia ja 17 liitäntäyksikköä.

Lopulta tehtiin ehdotus puolikiinteän mittausjärjestelmän käyttöönottamisesta ja mittauskierron toteuttamistavasta. Nämä asiat on esitelty kehitysehdotuksessa luvussa yhdeksän.

7 KARTONKIKONEEN KUNNONVALVONNAN NYKYTILANNE

Takolla kartonkikoneiden kunnonvalvontakierroksia hoitaa tällä hetkellä yksi henkilö muiden kunnossapitotöiden ohella, minkä lisäksi kahdella kunnossapito henkilöllä on kunnonvalvontakoulutus käynnissä. Kartonkikone ykkösen kunnonvalvontakierros suoritetaan hieman ennen suunniteltua huoltoseisokkia, mikä antaa huonon indikaation koneen kunnosta ja senkin liian myöhään. (Jansson 2022.) Mittaustoiminta ei ole suunnitelmallista eikä selkeää, minkä muuttamiseksi vaaditaan toimiva järjestelmä ja aikataulu.

Kartonkikoneen kuivausryhmillä on olemassa 90-luvulla asennettuja puolikiinteitä mittapisteitä, jotka ovat olleet pitkään huonossa kunnossa ja käyttämättöminä. Käsimittalaitteena käytössä on Emerson CSI 2140, jolla mitataan lähinnä pumppuja ja moottoreita. Telojen kunnonvalvontaan käytetään pääasiassa stetoskooppeja (kuva 6), jolla laakereiden pyörimisen tuottamia ääniä kuunnellaan ja sitä kautta paikannetaan vikoja.



KUVA 6. SPM Instrumentsin stetoskooppi (Mitchell Instrument Company 2021)

Uusin hankinta on kaksi Valmet Maintenance Pad -kosketusnäyttöllistä käsimittalaitetta langattomalla WVS-100 -kiihtyvyyssanturilla. Niiden käyttöönotto on vielä kesken. Käyttöönoton jälkeen niillä pystytään tekemään ennalta suunnitellut reititmittaukset puolikiinteän värähtelymittausjärjestelmän liitäntäyksiköiltä tai käsimittauksella WVS-100-antureiden avulla. Saatuja mittaustuloksia voidaan tarkastella Valmet Analysis Workbench -analysointityökalulla.

Langattoman värähtelyanturin lyhenne WVS tulee sanoista Wireless Vibration Sensor ja siinä on sisäänrakennettuna sekä pietsosähköinen kiihtyvyyssanturi korkeille taajuuksille että MEMS-kiihtyvyyssanturi matalille taajuuksille. Anturissa on ladattava akku ja datansiirto Maintenance Padiin tapahtuu WLAN-verkon kautta. (Wireless vibration sensor 2016.)

8 KUNNONVALVONTATARPEEN MÄÄRITYS

Kartonkikoneen kunnonvalvontatarpeen määrittäminen tehtiin kriittisyysanalyysillä, joka Takolla oli jo valmiiksi tehtynä. Kohteiden kriittisyysluokka oli määritetty korjausajan, pysähtymisen viiveajan, laatumenetysten, kunnossapitokustannusten, vikaantumisvälin, turvallisuustekijöiden ja ympäristövaikutusten avulla lasketun kriittisyysindeksin perusteella. Kriittisyysanalyysi on esitetty sen sisältämän luotettavuusluokituksen tiedon vuoksi muokattuna liitteessä 3.

Kriittisyysluokat oli jaettu neljään luokkaan, A, B, C ja D, joista A on kriittisin ja D vähiten kriittinen. Tämän opinnäytetyön puitteissa tarkasteltavat telat ja kuivatussylinterit kuuluivat kaikki luokkiin A tai B. Kriittisimpiä olivat rinta-, siirto-, veto- ja puristintelat sekä kuivatussylinterit.

Kohteiden kriittisyyden takia niille olisi tarpeellista suorittaa säännöllisiä kunnonvalvontamittauksia, jotta pystyttäisiin välttämään kalliita laiterikkoja. Kriittisyysluokan A kohteille voisi olla tarpeellista käyttää online-järjestelmää, mutta sen kustannukset ovat korkeammat ja se vaatisi jatkuvaa seurantaa eikä A-luokan kohteita ole kuin 24 prosenttia käsittelyssä olevista teloista. Puolikiinteä järjestelmä toimisi molempien kriittisyysluokkien kohteille, koska mittausväliä voisi säätää kriittisyyden mukaan tiheämmäksi.

Puolikiinteä järjestelmä poistaisi myös tarpeen mennä kuivausryhmien huuvan sisälle, missä ei ole kuumuuden, pimeyden ja ahtauden takia turvallista työskennellä. Samalla järjestelmään voisi liittää kaikki telat, jolloin mittauskierroksesta tulisi selkeä, eikä minkään pyörivän telan lähelle olisi tarpeellista mennä.

9 EHDOTUS KARTONKIKONEEN KUNNONVALVONNAN VÄRÄHTELYMITTAUSTEN KEHITTÄMISEKSI

Kartonkikone ykkösen kunnonvalvontakierroksen parantamiseksi jokaisen telan molempien päiden laakerit tulisi varustaa värähtelyantureilla ja liittää puolikiinteään mittausjärjestelmään. Tämä parantaisi työturvallisuutta ja tekisi mittausten suorittamisesta tehokasta ja järjestelmällistä. Tässä luvussa esitetään suositellut toimenpiteet kunnonvalvonnan kehittämiseksi.

9.1 Puolikiinteä mittausjärjestelmä

Valmet Automation teki tarjouksen puolikiinteästä mittausjärjestelmästä, johon sisältyvät viiraosille ja puristinosalle asennettavat RVT-105-anturit, kuivausryhmille asennettavat RVT-120-anturit ja 17 jakokotelo eli antureiden liitäntäyksikköä. Tarjous sisältää tarvikkeet ja asennukset, ja tilaajalta vaaditaan ainoastaan paikat antureille ja jakokoteloille.

RVT-105-kiihtyvyyssanturit (kuva 7) kestävät kosteutta ja kemikaaleja, minkä vuoksi ne ovat sopivia kartonkikoneen märän alkupään teloille. Anturit kiinnitetään M6-pultilla ja kaapelit suojataan haponkestävällä teräsputkella. (Acceleration sensor RVT-105 2015; Karjalainen 2022.)



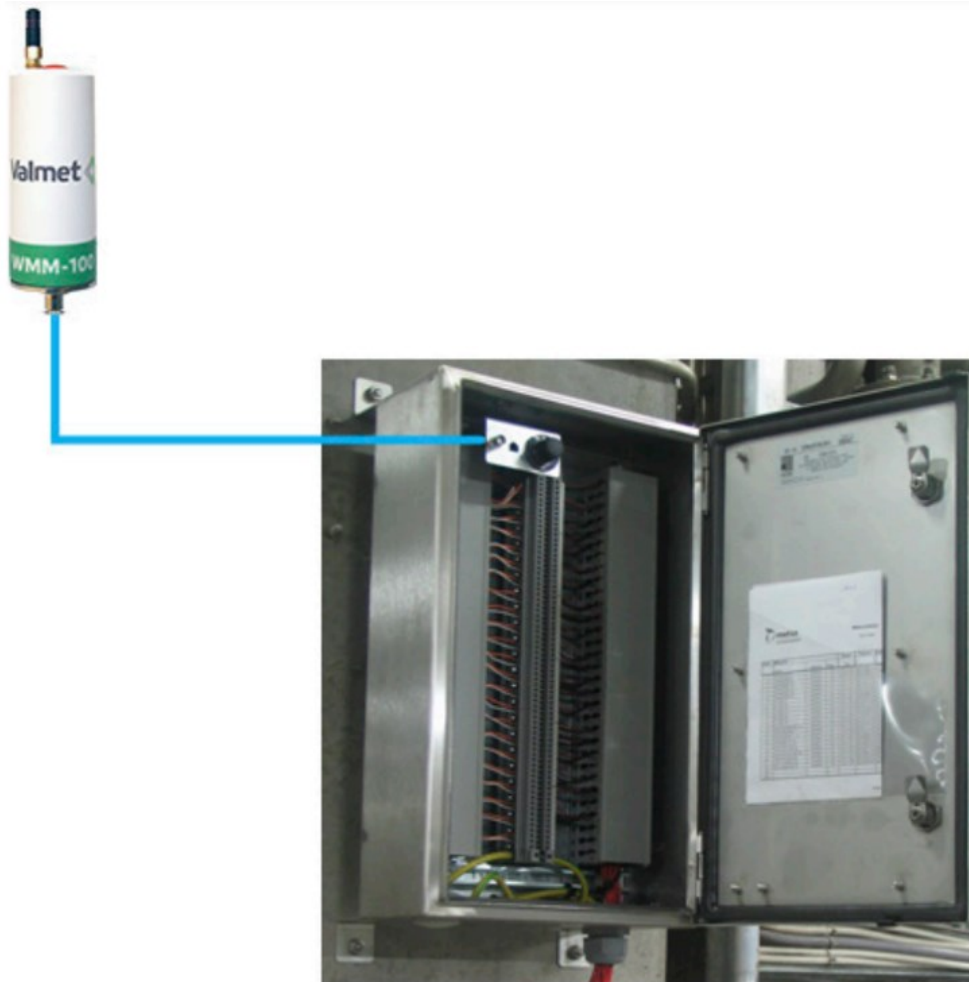
KUVA 7. RVT-105-kiihtyvyyssanturi (Acceleration sensor RVT-105 2015)

RVT-120-kihtyvyyssanturit (kuva 8) kestävät korkeita lämpötiloja ja sopivat siksi kuivausryhmien teloille ja sylintereille. Antureiden kiinnitys tapahtuu M8-vaar-naruuvilla ja kaapelit suojataan alumiiniputkilla. (Acceleration sensor RVT-120 2019; Karjalainen 2022.)



KUVA 8. RVT-120-kihtyvyyssanturi (Acceleration sensor RVT-120 2019)

Jakokotelot (kuvio 13) ovat liitäntäyksiköitä, joihin kiihtyvyyssantureiden kaapelit liitetään. Niihin pystytään liittämään 24 anturia ja kiertokytkimestä kääntämällä voidaan valita minkä anturin dataa liittimestä mitataan. Liittimeen yhdistetään langaton WMM-100-moduuli, joka tallentaa tiedon ja lähettää sen WLAN-verkon välityksellä Valmet Maintenance Padiin analysointia varten. (Wireless measurement module, 2016.) Koteloiden asennuspaikat ja niihin liitettävät anturit on esitetty liitteessä 2.



KUVIO 13. Jakokotelo ja Valmet WMM-100 -moduuli (Wireless measurement module 2016)

Puolikiinteä järjestelmä voidaan päivittää kiinteäksi online-järjestelmäksi helposti, jos myöhemmin niin halutaan tehdä mittaustoiminnan tehostamiseksi entisestään. Jakokoteloilta vedettäisiin vain kaapelit IO-kaapille. Koteloista voitaisiin silti mitata värähtelyä kannettavalla mittalaitteella tarpeen tullen. (Karjalainen 2022.)

9.2 Antureiden kiinnitys

Johto-, rinta-, veto-, siirto-, kiristys- ja ohjaustelojen antureille optimaalinen kiinnityspaikka olisi laakeripesän kannessa, koska laakeriviat havaitaan parhaiten aksiaalisuunnassa (Nohynek & Lumme 2004, 53–54.) Kansiasennus hidastaisi kuitenkin telanvaihtoja aiheuttamalla ylimääräistä työtä vaihdon yhteydessä, jolloin paras vaihtoehto on asentaa anturit telojen laakeripukkiin tai pukin länkeen

sille puolelle, jolle laakeriin kohdistuu suurin kuormitus, kuten kuivausryhmillä on aiemminkin tehty (kuva 9).



KUVA 9. Kuivausryhmän johtotelan anturointi laakeripukissa

Kuivatussylintereiden laakeripesiin anturi tulisi sijoittaa kanteen, kiinnityspulttien kehälle sille puolelle, jolle laakeriin kohdistuu suurin kuormitus, koska siltä puolelta vikaantuminen todennäköisimmin alkaa. Kuivatussylintereiden vikaantumisväli on pitkä ja korjaaminen on työlästä, jolloin anturin irrottamisen ja uuteen sylinteriin kiinnittämisen vaatima aika ei ole merkittävä.

Kuivausryhmien käyttöjen vaihteille on tarjouksessa varattu myös yksi anturi jokaiselle kuudelle vaihteelle. Anturi tulisi asentaa nopean akselin laakerille, johon se tilan sallimissa puitteissa on helpoin asentaa.

Puristimilla nippivärähtelyn mittaamiseksi anturit olisi hyvä asentaa radiaalisuuntaan, mikä tosin edellyttäisi kulmapalan käyttöä suunnan kääntämiseksi (Karjalainen 2022). Kriittisyysanalyysissä yleisimpänä vikatyypinä ovat kuitenkin laakeriviat, minkä vuoksi aksiaaliasennus olisi kunnonvalvontamielessä järkevämpi.

Kaikissa kohteissa asennuksessa tulee toimia tilan sallimissa puitteissa. Tämä tarkoittaa sitä, että tarpeen tullen voi joutua tekemään kompromisseja asennussuunnan ja -paikan suhteen.

9.3 Mittauskierros

Mittausaikavälien määrittämisessä hyödynnettiin liitteen 1 taulukkoa ja liitteen 3 kriittisyysanalyysiä. Kierrosten toteuttaminen olisi hyvä aloittaa suositelluilla mittausväleillä, ja vertailudatan ja kokemuksen kerryttyä mittausvälejä voitaisiin muokata optimaalisemmaksi. Liian usein tehtävät mittauskierrokset tuhlaavat resursseja ja liian harvoin tehtävät mittauskierrokset estävät vikaantumisen havaitsemisen ja siihen reagoimisen, aiheuttaen laiterikkoja ja tuotannon seisahtumista.

Kriittisyysluokan A telat tulisi mitata jakokoteloilta noin kolmen viikon välein ja kriittisyysluokan B telat noin kuuden viikon välein, kuten liitteessä 1 ohjeistetaan. Mittaaminen vaatii hyvää reittisuunnittelua Valmet Maintenance Padiin ja tarkkuutta, koska jakokoteloihin on liitetty molempien kriittisyysluokkien teloja. Liitteeseen 2 on lisätty kriittisyysluokan A kohteisiin punaiset merkit reittisuunnittelun selkeyttämiseksi.

Langattomalla WVS-100-anturilla mitattaisiin käsimitoituksena Valmet Maintenance Padiin kanssa telojen käyttömoottorit, jotka eivät kuulu puolikiinteään järjestelmän piiriin. Moottorit on sijoitettu kartonkikoneen käyttöpuolen käytävälle, jossa käsimitaus onnistuu turvallisesti. Moottorit olisi hyvä mitata molemmista päistä kaikista kolmesta suunnasta eli aksiaali-, pysty- ja vaakasuunnassa tilan salliessa. Mittaaminen voidaan toteuttaa samalla mittauskierroksella A-kriittisyysluokan kohteiden kanssa, koska kaikki käyttömoottoreiden pyörittämät telat kuu-

luvut A-luokkaan ja niitä on huomattavasti vähemmän kuin B-luokan teloja. Mittauskohdat tulisi merkitä selvästi esimerkiksi maalilla, jotta mittaustulokset pysyisivät johdonmukaisina.

Mittauskierrosten jälkeen dataa olisi kertynyt melkein neljästä sadasta mittapistestä, mikä tarkoittaisi suurta työmäärää sen analysoimisessa. Analysoinnin helpottamiseksi kierrokset kannattaisi suorittaa niin, että niiden välissä olisi aikaa analysoida saatua dataa. Tämän voisi toteuttaa esimerkiksi tekemällä A-kriittisyysluokan kohteiden mittauskierroksen alkuviikolla ja B-kriittisyysluokan mittauskierroksen seuraavan viikon puolivälissä. Näin jokaisen kierroksen välissä olisi yli viikko aikaa tutkia saatuja tuloksia ja tehdä niiden pohjalta tarvittavia jatkotoimenpiteitä.

10 TYÖN TUOTOS

Tämän opinnäytetyön tuotoksena luotiin kehitysehdotus kartonkikone ykkösen määrään kunnonvalvonnan kehittämiseksi. Kehitysehdotukseen sisältyi suositus puolikiinteän mittausjärjestelmän hankkimisesta sekä kunnonvalvontakierrosten toteuttamisen ohjeet aikatauluineen. Tuotoksen avulla työn toimeksiantaja Metsä Board Tako voi alkaa toimenpiteisiin, joilla kunnonvalvonnan suorittamisesta tulee turvallisempaa ja tehokkaampaa. Kehitysehdotus on esitetty kokonaisuudessaan luvussa yhdeksän.

Puolikiinteän mittausjärjestelmän hankkimiseen liittyen yritykselle on toimitettu tarjous sellaisen toimittamisesta ja asennuksesta erillisenä liitteenä. Kyseinen tarjous ei ole julkista tietoa, minkä vuoksi sitä ei ole tässä työssä esitelty kokonaisuudessaan.

11 POHDINTA

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli parantaa kunnonvalvonnan työturvallisuutta ja tehokkuutta Metsä Board Takon tehtaan kartonkikone ykkösellä parantamalla telojen laakereiden mittaustapahtumaa. Tätä lopullista tavoitetta ei ole vielä käytännössä saavutettu, koska mitään toimia ei tämän opinnäytetyön aikana pantu vielä täytäntöön, mutta lähtökohdat ja ehdotus, miten tavoite saavutettaisiin, on nyt olemassa. Työssä parannettiin värähtelymittaustapahtumaa ja kehityksen kohteina olivat kartonkikone ykkösen märänpään telat ja kuivatussylinterit, jotka tämän opinnäytetyön tuotoksena syntyneen kehitysehdotuksen toteuttamisen jälkeen tulisivat olemaan kokonaan säännöllisen kunnonvalvonnan piirissä. Tässä työssä esitetty puolikiinteä mittausjärjestelmä parantaisi huomattavasti kunnonvalvontahenkilöstön työturvallisuutta, sillä se poistaa tarpeen mennä vaarallisten kohteiden läheisyyteen. Näin ollen luotu kehitysehdotus tähtää siis sekä kunnonvalvonnan tehokkuuden parantamiseen että työturvallisuuden parantamiseen, minkä perusteella opinnäytetyötä voidaan pitää onnistuneena työn tavoitteeseen nähden.

Puolikiinteä mittausjärjestelmä valikoitui kehitysehdotukseen, koska suurin osa mitattavista kohteista ei ole erittäin kriittisiä ja tärkein peruste kunnonvalvonnan kehittämiseksi olivat mittauskohteiden vaikeapääsyinen ja vaarallinen sijainti. Lisäksi puolikiinteän järjestelmän etuna on sen helppo päivitettävyyys online-mittausjärjestelmäksi, jos tulevaisuudessa kunnonvalvonnan tehokkuutta halutaan parantaa entisestään.

Kehitysehdotuksessa suositellun puolikiinteän mittausjärjestelmän mittapisteitä on 360, joten jokaisen anturin tarkkaa asennuspaikkaa ei tämän opinnäytetyön puitteissa pystytty erikseen määrittämään. Tarkempi asennuspaikkojen määrittäminen olisi helpottanut asennustyötä, mutta muuta merkittävää vaikutusta kehitysehdotuksen toteuttamiseen sillä ei ole. Kartonkikoneen käydessä mittauskohteiden lähelle ei pääse turvallisesti ja huoltoseisokkeja, joiden aikana kohteille pääsy saattaisi olla mahdollista, on harvassa. Lisäksi tehdaskäyntejä monimutkaisti koronaviruspandemian johdosta vaatimuksena ollut enintään viikon vanha

todistus negatiivisesta koronavirustestistä. Testausta ei kuitenkaan tarvinnut itse järjestää, vaan se oli mahdollista suorittaa toimeksiantajan tarjoamana.

Toimeksiantajayritykseltä kehitysehdotuksen mukaisen mittaustoiminnan aloittaminen edellyttäisi vielä töitä. Puolikiinteä mittausjärjestelmä antureineen ja jakokoteloineen pitäisi asentuttaa. Asentamisen jälkeen käsimittalaitteisiin tulisi tehdä reittisuunnitelmat, joihin kirjataan mittauskierroksilla käytävät mittauspisteet järjestyksessä ja määritetään muun muassa kierrosten aikataulut ja jokaisen kohteen laakeritiedot mittaustulosten analysointia varten. Viimeiseksi tästä mittaustoiminnasta tulisi tehdä pysyvä osa kunnosapito-osaston arkea, jotta siitä saataisiin kaikki hyöty irti. Työtapaturmien ja laiterikkojen huolellisella dokumentoinnilla pystyttäisiin seuraamaan kehitysehdotuksen vaikutuksia työturvallisuuden ja tehokkuuteen. Tämän datan avulla kunnonvalvontatoimintaa voitaisiin kehittää edelleen.

Mahdollisina jatkotutkimusaiheina tälle työlle voi pitää kunnonvalvontatoiminnan kehittämistä edelleen. Kun kartonkikone ykkösen määränpään kunnonvalvontatoiminnasta on saatu sujuvaa, voisi seuraavaksi edessä olla kehitystyön laajentaminen koko kartonkikoneen alueelle ja tarvittaessa kunnonvalvontajärjestelmän päivittäminen online-järjestelmään. Online-järjestelmä olisi kattavampi, koska se seuraa laakereiden värähtelyä itsenäisesti ja jatkuvasti. Takolla on käytössä myös kartonkikone 3, jonka kunnonvalvontatoiminta on samanlaista kartonkikone ykkösen kanssa, minkä vuoksi sen kehittäminen saattaisi myös olla ajankohtaista.

LÄHTEET

Acceleration sensor RVT-105. 2015. Valmet. Pdf-dokumentti. Viitattu 7.4.2022.
https://www.valmet.com/globalassets/automation/distributed-control-system-dcs/condition-monitoring/br81079_en_01-rvt-105.pdf

Acceleration sensor RVT-120. 2019. Valmet. Pdf-dokumentti. Viitattu 7.4.2022.
https://www.valmet.com/globalassets/automation/distributed-control-system-dcs/condition-monitoring/br81080_en_03-rvt-120.pdf

Bellstedt, S. 2022. P-F Curve: What it is and how to use it in maintenance. Fiix blog 1.3.2022. Blogikirjoitus. Viitattu 21.3.2022.
<https://www.fiixsoftware.com/blog/what-is-the-p-f-curve-p-f-interval/>

Daley, D. n.d. Failure Modes and Failure Mechanisms. CED Engineering. Pdf-dokumentti. Viitattu 23.2.2022.
<https://www.cedengineering.com/userfiles/Failure%20Modes%20and%20Failure%20Mechanisms%20R1.pdf>

FAG. 2004. Vierintälaakerit paperiteollisuudelle. Pdf-dokumentti. Viitattu 9.3.2022.
https://www.schaeffler.com/remotemedien/media/shared_media/08_media_library/01_publications/schaeffler_2/publication/downloads_18/wl_13103_2_fi_fi.pdf

Fluke. 2022. Lämpökamerat. Fluke TiX580 -lämpökamera. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2022.
<https://www.fluke.com/fi-fi/tuote/lampokamerat/tix580>

Fraden, J. 2016. Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications. 5. painos. Cham: Springer International Publishing AG.

Gulati, R. 2021. Maintenance and Reliability Best Practices. 3. painos. Norwich: Industrial Press, Inc.

Jansson, M. Luotettavuusinsinööri. 2022. Haastattelu 5.1.2022. Haastattelija Kukkula, J. Tampere.

Karjalainen, J. Sales Manager. 2022. Tako kunnonvalvontajärjestelmä tarjouspyyntö. Sähköpostiviesti. Viitattu 6.4.2022.

Karlsson, M. 2010. Papermaking science and technology. Book 9, Papermaking, part 2, Drying. 2. painos. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association.

KnowPap. n.d. Monisyylinterikuivatus. Kuivatussyylinteri. Verkkosivu. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 6.2.2022.
http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/paper_machine/drying_section/4_multicylinder_drying/frame.htm?zoom_highlightsub=kuivaussyylinteri

Leiviskä, K. 2009. Papermaking science and technology. Book 14, Process and maintenance management. 2. painos. Helsinki: Paper Engineers' Association. Level Developments. n.d. MEMS Accelerometer. Verkkosivu. Viitattu 2.3.2022. <https://www.leveldevelopments.com/2020/10/what-are-inclinometers/mems-accelerometer/>

Metsä Board. n.d. About us. Verkkosivu. Viitattu 19.1.2022. <https://www.metsaboard.com/About-Us/Pages/default.aspx>

Mikkonen, H. 2009. Kuntoon perustuva kunnossapito: käsikirja. 1. painos. Helsinki: KP-Media Oy.

Mitchell Instrument Company. 2021. SPM ELS-14 Electronic Stethoscope Set. Verkkosivu. Viitattu 10.4.2022. <https://www.mitchellinstrument.com/spm-els-14-electronic-stethoscope-set.html>

Mitä on kunnossapito? n.d. Opetushallitus. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2022. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/perusteet_1-1_mita_on_kunnossapito.html

Miksi laakerit vaurioituvat? n.d. Opetushallitus. Verkkosivu. Viitattu 9.3.2022. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_a2_miksi_laakerit_vaurioituvat.html

Nohynek, P. & Lumme, V. E. 2004. Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. täyd. painos. Rajamäki: KP-Media Oy.

Parikka, R. & Halme, J. 2006. Värähtelypohjaiset mittaus- ja analysointimenetelmät rasvavoideltujen vierintälaakerien voiteluvirheiden tunnistamiseksi. VTT. Pdf-dokumentti. Viitattu 9.3.2022. http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/prognos/prognos/pdf/052006/varmittana%20vtt-r-01567-06_x.pdf

Paulapuro, H. 2008. Papermaking science and technology. Book 8, Papermaking part 1, Stock preparation and wet end. 2. painos. Helsinki: Finnish Paper Engineers' Association.

PCB Piezotronics. 2022. Introduction to ICP® Accelerometers. Verkkosivu. Viitattu 22.2.2022. <https://www.pcb.com/resources/technical-information/introduction-to-accelerometers>

PSK 5702. 2007. Kunnonvalvonnan värähtelymittaus. Mittauspisteen valinta ja tunnistaminen. PSK Standardisointiyhdistys ry. Pdf-dokumentti. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 9.3.2022. <https://psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma57/PSK5702-3.p.pdf>

PSK 5705. 2006. Kunnonvalvonta. Värähtelymittaus. Mittaustoiminnan suunnittelu. 5. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry. Pdf-dokumentti. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 9.3.2022. https://psk-standardisointi.fi/Standard/Ryhma57/PSK5705_5p.pdf

PSK 6201. 2022. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. 4. painos. PSK Standardisointiyhdistys ry. Pdf-dokumentti. Vaatii käyttöoikeuden. Viitattu 19.1.2022.
https://psk-standardisointi.fi/wp-content/uploads/PSK6201_4p.pdf

SFS-EN 13306. 2017. Kunnossapito. Kunnossapidon terminologia. Helsinki: Suomen Standardoimisliitto SFS.

SKF. 2018. SKF Vibration Sensors Catalog. PDF-dokumentti. Viitattu 22.2.2022.

https://www.skf.com/binaries/pub12/Images/0901d196804926fe-11604_16-EN-Vibration-Sensor-Catalogue---OK_tcm_12-267858.pdf#cid-267858

Valmet. 2022. Roll types for board and paper machines. Verkkosivu. Viitattu 6.2.2022.

<https://www.valmet.com/board-and-paper/services-for-board-and-paper/workshop-and-roll-services/rolls/roll-types/?page=1>

Wireless measurement module. 2016. Valmet. Pdf-dokumentti. Viitattu 6.4.2022.

https://www.valmet.com/globalassets/automation/distributed-control-system-dcs/condition-monitoring/br81588_en_01-wmm-100-sensor.pdf

Wireless vibration sensor. 2016. Valmet. Pdf-dokumentti. Viitattu 7.4.2022.

https://www.valmet.com/globalassets/automation/distributed-control-system-dcs/condition-monitoring/br81586_en_01-wvs-100-sensor.pdf

LIITTEET

Liite 1. Suositeltavia värähtelyn mittausvälejä

(PSK 5705 2006, 9)

Taulukko 1 Suositeltavia värähtelyn mittausvälejä jatkuvatoimisille laitteille.			Table 1. Recommended vibration measurement intervals for machines in continuous operation.							
Kone tyyppi Machine type	Kriittisyys Criticality	Rasitus Stress	Suositeltava mittausväli Recommended measurement interval							
			Jaksottainen kunnonvalvontamittaus				Tarkastusmittaus ¹⁾			
			kiinteä on-line	2 vko 2 weeks	4 vko 4 weeks	2 kk 2 months	4 kk 4 months	6 kk 6 months	12 kk 12 months	24 kk 24 months
Pumppu ja puhallin Pump and fan / blower	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Turbogeneraattori Turbo generator	kriittinen critical	kaikki all	X							T
Ruuvikompressori Screw compressor	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Vaihteisto Gear	kriittinen critical	kova heavy	X							T
	kriittinen critical	kevyt light	X							T
	ei kriittinen non critical	kova heavy								T
	ei kriittinen non critical	kevyt light								
Moottori Motor	Mittausväli määritetään käytettävän laitteen mukaan. Värähtelymittauksia täydennetään tarvittaessa erikoismittauksilla. The measurement interval shall be based on the driven machine.									
Telat Cylinders	kriittinen critical	kova heavy	X							
	kriittinen critical	kevyt light	X							
	ei kriittinen non critical	kova heavy								
	ei kriittinen non critical	kevyt light								

^{X)} kiinteä järjestelmä on ensisijainen kriittisille koneille, toteutus määritellään taloudellisilla perusteilla
^{X)} a permanent online system is the primary choice for critical machines and is implemented on economical grounds

Tumma Mittausväli jaksottaisessa kunnonvalvonnassa tulisi sijaita tällä alueella. Mittausväli tarkennetaan kokemusperäisesti. Mittausvälit on esitetty aika-alueina todennäköisimmän vikaantumismekanismin etenemisnopeuden mukaan olettaen, että suoritetaan muutakin valvontaa kuin värähtelymittauksia.

Dark The measurement interval in periodical condition monitoring should fall in this range. The measurement interval shall be adjusted based on experience. The measurement intervals have been presented as time slots according to the progress rate of the most probable fault mechanisms and assuming that other methods than vibration measurements are used for monitoring.

¹⁾ Kertaluonteisella tarkastusmittauksella täydennetään säännöllisin mittausvälein tai kiinteällä järjestelmällä tehtyjä mittauksia. Menetelminä käytetään monipuolisempia mittausmenetelmiä kuin säännöllisessä kunnonvalvonnassa.

¹⁾ Occasional checks are used to supplement the measurements performed at regular intervals or by online systems. More versatile measurement methods than during the periodic condition monitoring shall be used.

Liite 2. Jakokoteloiden paikat ja liitännät

1 (2)

Jakokotelo 1			Jakokotelo 2			Jakokotelo 3			Jakokotelo 4		
Positio	Kansiviira Kanava	Kohde	Positio	Sisäviira Kanava	Kohde	Positio	Taustaviira Kanava	Kohde	Positio	Puristinosa Kanava	Kohde
7P 2. kerros			3P 2. kerros			2P 1. kerros			2. pur. moottorin jalka		
1	1.2001 KP	1.2001 KP	1	1.2015 KP	1.2015 KP	1	1.2024 KP	1.2024 KP	1	2.2001 KP	2.2001 KP
2	1.2001 HP	1.2001 HP	2	1.2015 HP	1.2015 HP	2	1.2024 HP	1.2024 HP	2	2.2002 KP	2.2002 KP
3	1.2002 KP	1.2002 KP	3	1.2016 KP	1.2016 KP	3	1.2025 KP	1.2025 KP	3	2.2003 KP	2.2003 KP
4	1.2002 HP	1.2002 HP	4	1.2016 HP	1.2016 HP	4	1.2025 HP	1.2025 HP	4	2.2004 KP	2.2004 KP
5	1.2005 KP	1.2005 KP	5	1.2017 KP	1.2017 KP	5	1.2026 KP	1.2026 KP	5	2.2009 KP	2.2009 KP
6	1.2005 HP	1.2005 HP	6	1.2017 HP	1.2017 HP	6	1.2026 HP	1.2026 HP	6	2.2010 KP	2.2010 KP
7	1.2006 KP	1.2006 KP	7	1.2018 KP	1.2018 KP	7	1.2027 KP	1.2027 KP	7	2.2011 KP	2.2011 KP
8	1.2006 HP	1.2006 HP	8	1.2018 HP	1.2018 HP	8	1.2027 HP	1.2027 HP	8	2.2012 KP	2.2012 KP
9	1.2007 KP	1.2007 KP	9	1.2019 KP	1.2019 KP	9	1.2028 KP	1.2028 KP	9	2.2013 KP	2.2013 KP
10	1.2007 HP	1.2007 HP	10	1.2019 HP	1.2019 HP	10	1.2028 HP	1.2028 HP	10	2.2014 KP	2.2014 KP
11	1.2008 KP	1.2008 KP	11	1.2020 KP	1.2020 KP	11	1.2029 KP	1.2029 KP	11	2.2015 KP	2.2015 KP
12	1.2008 HP	1.2008 HP	12	1.2020 HP	1.2020 HP	12	1.2029 HP	1.2029 HP	12	2.2016 KP	2.2016 KP
13	1.2009 KP	1.2009 KP	13	1.2021 KP	1.2021 KP	13	1.2030 KP	1.2030 KP	13	2.2017 KP	2.2017 KP
14	1.2009 HP	1.2009 HP	14	1.2021 HP	1.2021 HP	14	1.2030 HP	1.2030 HP	14	2.2018 KP	2.2018 KP
15	1.2010 KP	1.2010 KP	15	1.1101 KP	1.1101 KP	15	1.2031 KP	1.2031 KP	15	2.2019 KP	2.2019 KP
16	1.2010 HP	1.2010 HP	16	1.1101 HP	1.1101 HP	16	1.2031 HP	1.2031 HP	16	2.2020 KP	2.2020 KP
17	1.2011 KP	1.2011 KP	17	1.1102 KP	1.1102 KP	17	1.2032 KP	1.2032 KP	17	2.2025 KP	2.2025 KP
18	1.2011 HP	1.2011 HP	18	1.1102 HP	1.1102 HP	18	1.2032 HP	1.2032 HP	18	2.2026 KP	2.2026 KP
19	1.2012 KP	1.2012 KP	19	1.1103 KP	1.1103 KP	19	-	-	19	-	-
20	1.2012 HP	1.2012 HP	20	1.1103 HP	1.1103 HP	20	-	-	20	-	-
21	1.2013 KP	1.2013 KP	21	1.1104 KP	1.1104 KP	21	-	-	21	-	-
22	1.2013 HP	1.2013 HP	22	1.1104 HP	1.1104 HP	22	-	-	22	-	-
23	1.2014 KP	1.2014 KP	23	1.1105 KP	1.1105 KP	23	-	-	23	-	-
24	1.2014 HP	1.2014 HP	24	1.1105 HP	1.1105 HP	24	-	-	24	-	-

Jakokotelo 5			Jakokotelo 6			Jakokotelo 7			Jakokotelo 8		
Positio	Puristinosa Kanava	Kohde	Positio	Puristinosa Kanava	Kohde	Positio	Puristinosa Kanava	Kohde	Positio	1. Kuivausryhmä Kanava	Kohde
5P 1. kerros			2. pur. moottorin jalka			5P 1. kerros			KP Etukäytön ovenpieli		
1	2.2001 HP	2.2001 HP	1	2.2005 KP	2.2005 KP	1	2.2005 HP	2.2005 HP	1	SYL 1 KP	SYL 1 KP
2	2.2002 HP	2.2002 HP	2	2.2006 KP	2.2006 KP	2	2.2006 HP	2.2006 HP	2	SYL 1 HP	SYL 1 HP
3	2.2003 KP	2.2003 KP	3	2.2008 KP	2.2008 KP	3	2.2007 HP	2.2007 HP	3	SYL 2 KP	SYL 2 KP
4	2.2004 HP	2.2004 HP	4	2.2021 KP	2.2021 KP	4	2.2008 HP	2.2008 HP	4	SYL 2 HP	SYL 2 HP
5	2.2009 HP	2.2009 HP	5	2.2022 KP	2.2022 KP	5	2.2021 HP	2.2021 HP	5	SYL 3 KP	SYL 3 KP
6	2.2010 HP	2.2010 HP	6	2.2023 KP	2.2023 KP	6	2.2022 HP	2.2022 HP	6	SYL 3 HP	SYL 3 HP
7	2.2011 HP	2.2011 HP	7	2.2024 KP	2.2024 KP	7	2.2023 HP	2.2023 HP	7	SYL 4 KP	SYL 4 KP
8	2.2012 HP	2.2012 HP	8	2.2027 KP	2.2027 KP	8	2.2024 HP	2.2024 HP	8	SYL 4 HP	SYL 4 HP
9	2.2013 HP	2.2013 HP	9	2.2028 KP	2.2028 KP	9	2.2027 HP	2.2027 HP	9	SYL 5 KP	SYL 5 KP
10	2.2014 HP	2.2014 HP	10	2.2029 KP	2.2029 KP	10	2.2028 HP	2.2028 HP	10	SYL 5 HP	SYL 5 HP
11	2.2015 HP	2.2015 HP	11	2.2030 KP	2.2030 KP	11	2.2029 HP	2.2029 HP	11	SYL 6 KP	SYL 6 KP
12	2.2016 HP	2.2016 HP	12	2.2031 KP	2.2031 KP	12	2.2030 HP	2.2030 HP	12	SYL 6 HP	SYL 6 HP
13	2.2017 HP	2.2017 HP	13	2.2032 KP	2.2032 KP	13	2.2031 HP	2.2031 HP	13	SYL 7 KP	SYL 7 KP
14	2.2018 HP	2.2018 HP	14	2.2033 KP	2.2033 KP	14	2.2032 HP	2.2032 HP	14	SYL 7 HP	SYL 7 HP
15	2.2019 HP	2.2019 HP	15	2.2034 KP	2.2034 KP	15	2.2033 HP	2.2033 HP	15	SYL 8 KP	SYL 8 KP
16	2.2020 HP	2.2020 HP	16	-	-	16	2.2034 HP	2.2034 HP	16	SYL 8 HP	SYL 8 HP
17	2.2025 HP	2.2025 HP	17	-	-	17	-	-	17	SYL 9 KP	SYL 9 KP
18	2.2026 HP	2.2026 HP	18	-	-	18	-	-	18	SYL 9 HP	SYL 9 HP
19	-	-	19	-	-	19	-	-	19	SYL 10 KP	SYL 10 KP
20	-	-	20	-	-	20	-	-	20	SYL 10 HP	SYL 10 HP
21	-	-	21	-	-	21	-	-	21	DRG 1	DRG 1
22	-	-	22	-	-	22	-	-	22	DRG 2	DRG 2
23	-	-	23	-	-	23	-	-	23	3.2001 KP	3.2001 KP
24	-	-	24	-	-	24	-	-	24	3.2002 KP	3.2002 KP

Jakokotelo 9			Jakokotelo 10			Jakokotelo 11			Jakokotelo 12		
Positio	1. Kuivausryhmä Kanava	Kohde	Positio	1. Kuivausryhmä Kanava	Kohde	Positio	2. Kuivausryhmä Kanava	Kohde	Positio	2. Kuivausryhmä Kanava	Kohde
7P 1. kerros			KP Jälkäkäyttö			KP Jälkäkäyttö			8P 1. kerros		
1	3.2001 HP	3.2001 HP	1	3.2003 KP	3.2003 KP	1	SYL 11 KP	SYL 11 KP	1	SYL 11 HP	SYL 11 HP
2	3.2002 HP	3.2002 HP	2	3.2004 KP	3.2004 KP	2	SYL 12 KP	SYL 12 KP	2	SYL 12 HP	SYL 12 HP
3	3.2003 HP	3.2003 HP	3	3.2005 KP	3.2005 KP	3	SYL 13 KP	SYL 13 KP	3	SYL 13 HP	SYL 13 HP
4	3.2004 HP	3.2004 HP	4	3.2006 KP	3.2006 KP	4	SYL 14 KP	SYL 14 KP	4	SYL 14 HP	SYL 14 HP
5	3.2005 HP	3.2005 HP	5	3.2007 KP	3.2007 KP	5	SYL 15 KP	SYL 15 KP	5	SYL 15 HP	SYL 15 HP
6	3.2006 HP	3.2006 HP	6	3.2008 KP	3.2008 KP	6	SYL 19 KP	SYL 19 KP	6	SYL 19 HP	SYL 19 HP
7	3.2007 HP	3.2007 HP	7	3.2009 KP	3.2009 KP	7	SYL 20 KP	SYL 20 KP	7	SYL 20 HP	SYL 20 HP
8	3.2008 HP	3.2008 HP	8	3.2010 KP	3.2010 KP	8	3.2025 KP	3.2025 KP	8	3.2025 HP	3.2025 HP
9	3.2009 HP	3.2009 HP	9	3.2011 KP	3.2011 KP	9	3.2026 KP	3.2026 KP	9	3.2026 HP	3.2026 HP
10	3.2010 HP	3.2010 HP	10	3.2012 KP	3.2012 KP	10	3.2027 KP	3.2027 KP	10	3.2027 HP	3.2027 HP
11	3.2011 HP	3.2011 HP	11	3.2013 KP	3.2013 KP	11	3.2029 KP	3.2029 KP	11	3.2029 HP	3.2029 HP
12	3.2012 HP	3.2012 HP	12	3.2014 KP	3.2014 KP	12	3.2030 KP	3.2030 KP	12	3.2030 HP	3.2030 HP
13	3.2013 HP	3.2013 HP	13	3.2015 KP	3.2015 KP	13	3.2038 KP	3.2038 KP	13	3.2038 HP	3.2038 HP
14	3.2014 HP	3.2014 HP	14	3.2016 KP	3.2016 KP	14	3.2039 KP	3.2039 KP	14	3.2039 HP	3.2039 HP
15	3.2015 HP	3.2015 HP	15	3.2017 KP	3.2017 KP	15	3.2040 KP	3.2040 KP	15	3.2040 HP	3.2040 HP
16	3.2016 HP	3.2016 HP	16	3.2018 KP	3.2018 KP	16	3.2043 KP	3.2043 KP	16	3.2041 HP	3.2041 HP
17	3.2017 HP	3.2017 HP	17	3.2019 KP	3.2019 KP	17	3.2044 KP	3.2044 KP	17	3.2042 HP	3.2042 HP
18	3.2018 HP	3.2018 HP	18	3.2020 KP	3.2020 KP	18	3.2045 KP	3.2045 KP	18	3.2043 HP	3.2043 HP
19	3.2019 HP	3.2019 HP	19	3.2021 KP	3.2021 KP	19	3.2046 KP	3.2046 KP	19	3.2044 HP	3.2044 HP
20	3.2020 HP	3.2020 HP	20	3.2022 KP	3.2022 KP	20	3.2047 KP	3.2047 KP	20	3.2045 HP	3.2045 HP
21	3.2021 HP	3.2021 HP	21	3.2023 KP	3.2023 KP	21	3.2048 KP	3.2048 KP	21	3.2046 HP	3.2046 HP
22	3.2022 HP	3.2022 HP	22	3.2024 KP	3.2024 KP	22	3.2049 KP	3.2049 KP	22	3.2047 HP	3.2047 HP
23	3.2023 HP	3.2023 HP	23	-	-	23	DRG 3	DRG 3	23	3.2048 HP	3.2048 HP
24	3.2024 HP	3.2024 HP	24	-	-	24	DRG 4	DRG 4	24	3.2049 HP	3.2049 HP

■ = Kriittisyysluokka A

(jatkuu)

Jakokotelo 13 2. Kuivausryhmä		
Positio	Kanava	Kohde
9N 2. kerros (vanha taulu 11)	1	SYL 16 KP
	2	SYL 16 HP
	3	SYL 17 KP
	4	SYL 17 HP
	5	SYL 18 KP
	6	SYL 18 HP
	7	3.2028 KP
	8	3.2028 HP
	9	3.2031 KP
	10	3.2031 HP
	11	3.2032 KP
	12	3.2032 HP
	13	3.2033 KP
	14	3.2033 HP
	15	3.2034 KP
	16	3.2034 HP
	17	3.2035 KP
	18	3.2035 HP
	19	3.2036 KP
	20	3.2036 HP
	21	3.2037 KP
	22	3.2037 HP
	23	3.2041 KP
	24	3.2042 KP

Jakokotelo 14 3. Kuivausryhmä		
Positio	Kanava	Kohde
KP Etukäyttö	1	SYL 21 KP
1. kerros (vanha taulu 8)	2	SYL 23 KP
	3	SYL 25 KP
	4	SYL 29 KP
	5	SYL 31 KP
	6	3.2050 KP
	7	3.2051 KP
	8	3.2052 KP
	9	3.2054 KP
	10	3.2055 KP
	11	3.2065 KP
	12	3.2066 KP
	13	3.2067 KP
	14	3.2070 KP
	15	3.2071 KP
	16	3.2072 KP
	17	3.2073 KP
	18	3.2074 KP
	19	3.2075 KP
	20	3.2076 KP
	21	3.2077 KP
	22	3.2078 KP
	23	DRG 5
	24	DRG 6

Jakokotelo 15 3. Kuivausryhmä		
Positio	Kanava	Kohde
10P 1. kerros (vanha taulu 2)	1	SYL 21 HP
	2	SYL 23 HP
	3	SYL 25 HP
	4	SYL 29 HP
	5	SYL 31 HP
	6	3.2050 HP
	7	3.2051 HP
	8	3.2052 HP
	9	3.2054 HP
	10	3.2055 HP
	11	3.2065 HP
	12	3.2066 HP
	13	3.2067 HP
	14	3.2070 HP
	15	3.2071 HP
	16	3.2072 HP
	17	3.2073 HP
	18	3.2074 HP
	19	3.2075 HP
	20	3.2076 HP
	21	3.2077 HP
	22	3.2078 HP
	23	-
	24	-

Jakokotelo 16 3. Kuivausryhmä		
Positio	Kanava	Kohde
10N 2. kerros (vanha numeroton taulu)	1	SYL 22 KP
	2	SYL 24 KP
	3	SYL 26 KP
	4	SYL 27 KP
	5	SYL 28 KP
	6	SYL 30 KP
	7	SYL 32 KP
	8	3.2053 KP
	9	3.2056 KP
	10	3.2057 KP
	11	3.2058 KP
	12	3.2059 KP
	13	3.2060 KP
	14	3.2061 KP
	15	3.2062 KP
	16	3.2063 KP
	17	3.2064 KP
	18	3.2068 KP
	19	3.2069 KP
	20	-
	21	-
	22	-
	23	-
	24	-

Jakokotelo 17 3. Kuivausryhmä		
Positio	Kanava	Kohde
10P	1	SYL 22 HP
	2	SYL 24 HP
	3	SYL 26 HP
	4	SYL 27 HP
	5	SYL 28 HP
	6	SYL 30 HP
	7	SYL 32 HP
	8	3.2053 HP
	9	3.2056 HP
	10	3.2057 HP
	11	3.2058 HP
	12	3.2059 HP
	13	3.2060 HP
	14	3.2061 HP
	15	3.2062 HP
	16	3.2063 HP
	17	3.2064 HP
	18	3.2068 HP
	19	3.2069 HP
	20	-
	21	-
	22	-
	23	-
	24	-

■ = Kriittisyysluokka A

Liite 3. Kriittisyysanalyysi

1 (3)

	Vikatyyppi [vapaa teksti]	Korjausaika		Viiveaika (PK:n pysähtymiseen)		Vikaväli (MTBF)		Kriittisyysindeksi	Uusi kriittisyysluokka
		Arvo	[h]	Arvo	[h]	Arvo	[a]		
KK1 KANSIVIRAN RINTATELA EMD3	Akseli	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1,5	5 - 10 vuotta	26,7	A
KK1 KANSIVIRAN JOHTOTELA 3 EDD1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	0,8	0- 8 h	1,5	5 - 10 vuotta	10,8	B
KK1 KANSIVIRAN SIIRTOTELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	17,8	A
KK1 KANSIVIRAN VETOTELA EYD2	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	17,8	A
KK1 KANSIVIRAN JOHTOTELA 2 EDD1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 KANSIVIRAN JOHTOTELA 1 EDD1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 KANSIVIRAN OHJAUSTELA EJD5	Ohjain mek.häiriö	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 KANSIVIRAN JOHTOTELA 4 EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 KANSIVIRAN KIRISTYSTELA 1 EJD5	Kiristin mek.häiriö	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 KANSIVIRAN JOHTOTELA 5 EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 KANSIVIRAN KIRISTYSTELA 2 EJD5	Kiristin mek.häiriö	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 KANSIVIRAN JOHTOTELA 6 EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 SISÄ FORMER VIIRAN KITATELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	12,4	B
KK1 SISÄ FORMER VIIRAN VETOTELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	12,4	B
KK1 SISÄ FORMER VIIRAN JOHTOTELA EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 SISÄ FORMER VIIRAN KIRISTYSTELA EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	10,4	B
KK1 SISÄ FORMER VIIRAN OHJAUSTELA EJD5	Ohjain mek.häiriö	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 SISÄVIIRAN RINTATELA EMD2	Laakerivaurio/akselivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	2	2 - 5 vuotta	22,8	A
KK1 SISÄVIIRAN SIIRTOTELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	22,8	A
KK1 SISÄVIIRAN VETOTELA EYD3	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	17,8	A
KK1 SISÄVIIRAN JOHTOTELA 2 EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 SISÄVIIRAN KIRISTYSTELA EJD5	Kiristin mek.häiriö	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 SISÄVIIRAN JOHTOTELA 1 EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 SISÄVIIRAN OHJAUSTELA EDD1	Ohjain mek.häiriö	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 TAUSTAVIIRAN RINTATELA EMD4	Laakerivaurio/akselivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	2	2 - 5 vuotta	22,8	A
KK1 TAUSTAVIIRAN IMUTELA	Listat&paisuntakumit	4	2 - 8h	0,8	0- 8 h	2	2 - 5 vuotta	10,4	B
KK1 TAUSTAVIIRAN VETOTELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	17,8	A
KK1 TAUSTAVIIRAN JOHTOTELA 4 EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 TAUSTAVIIRAN JOHTOTELA 3 EDD1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 TAUSTAVIIRAN JOHTOTELA 5 EJD5	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 TAUSTAVIIRAN JOHTOTELA 2 EDD1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 TAUSTAVIIRAN OHJAUSTELA EDD1	Ohjain mek.häiriö	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 TAUSTAVIIRAN JOHTOTELA 1 EDD1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURISTIN ALATELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	22,8	A
KK1 1 PURISTIN YLÄTELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	22,8	A
KK1 1 PURISTIN PICK-UP IMUTELA	Listat&paisuntakumit	4	2 - 8h	0,4	Yli 8 h	1,5	5 - 10 vuotta	3,9	B
KK1 1 PURISTIN PICK-UP ALATELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	16,4	A
KK1 1 PURISTIN YLÄHUOPA JOHTOTELA 1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURIST.YLÄHUOPA JOHTOTELA 2 EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURIST.YLÄHUOPA KIRISTYSTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURIST.YLÄHUOPA JOHTOTELA 3 EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURISTIN YLÄHUOPA OHJAUSTELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURIST.PICK-UP ALATELA SIIRTO EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURISTIN ALAHUOVAN JOHTOTELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURISTIN ALAHUOVA KIRISTYSTEL EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURISTIN ALAHUOVAN JOHTOTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURISTIN ALAHUOVAN JOHTOTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1 PURISTIN ALAHUOVAN OHJAUSTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURISTIMEN YLÄPURISTINTELA	Laakerivaurio	4	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	22,8	A
KK1 SIIRTO PICK-UP IMUTELA	Sielulistat	4	2 - 8h	0,4	Yli 8 h	1,5	5 - 10 vuotta	3,9	B
KK1 2 PURISTIMEN YLÄHUOVAN JOHTOTELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.YLÄHUOVAN JOHTOTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURISTIMEN YLÄHUOVAN KIRISTYSTELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.YLÄHUOVAN OHJAUSTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURISTIMEN YLÄHUOVAN JOHTOTELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.YLÄHUOVAN OHJAUSTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.ALAHUOVAN JOHTOTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.ALAHUOVAN JOHTOTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.ALAHUOVAN KIRISTYSTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST. ALAHUOVAN JOHTOTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.ALAHUOVAN JOHTOTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURIST.ALAHUOVAN OHJAUSTELA EJD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 3 PURISTIMEN KÄYTÖLLINEN JOHTOTELA	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 2 PURISTIMEN ALÄPURISTINTELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	22,8	A
KK1 3 PURISTIMEN ALATELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	22,8	A
KK1 3 PURISTIMEN YLÄTELA	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	22,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 1	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 2	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 3	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 4	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 5	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 6	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 7	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 8	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 9	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIVAUSRYHMÄ KUVAUSSYLINTERI 10	Laakerivaurio	8	8 - 24h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	21,8	A
KK1 1.KUIV.R.YLÄHUOVANJOHTOTELA 1 EHD10	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1.KUIV.R.YLÄHUOVANJOHTOTELA 2 EHD10	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1.KUIV.R.YLÄHUOVANJOHTOTELA 3 EHD10	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1.KUIV.R.YLÄHUOVANJOHTOTELA 4 EHD10	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 1.KUIV.R.YLÄHUOVANJOHTOTELA 5 EHD10	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B

(jatkuu)

3 (3)

KK1 3.KUIV.R.ALAHUOVANJOHTOTELA 8	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 3.KUIV.R.ALAHUOVANJOHTOTELA 9 EHD11	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 3.KUIV.R.ALAHUOVANJOHTOTELA10 EHD11	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 3.KUIV.R.ALAH.KIRISTYTELA11 EOD1	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 3.KUIV.R.ALAHUOVANJOHTOTELA12 EHD10	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 3.KUIV.R.ALAH.OHJAUSTELA13 EUD4	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B
KK1 3.KUIV.R.ALAHUOVANJOHTOTELA14 EHD10	Laakerivaurio	4	2 - 8h	1,6	Suora vaikutus	1	Yli 10 vuotta	11,4	B