



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Eetu Nisula

Energiankulutuksen optimointi kunnos- sapidon keinoin

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Insinöörityö

10.4.2019

Tekijä Otsikko	Eetu Nisula Energiankulutuksen optimointi kunnossapidon keinoin
Sivumäärä Aika	29 sivua + 5 liitettä 10.4.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Konetekniikka
Ammatillinen pääaine	Valmistus- ja tuotantotekniikka
Ohjaajat	Lehtori Markku Saarnio Aluekunnossapitopäällikkö Somaina Odiah
<p>Borealis Polymers Oy on Euroopan toiseksi suurin muovintuottaja, jolla on tehtaita useissa Euroopan maissa. Porvoossa Borealiksella on olefiini- ja aromaattituotannon lisäksi kolme muovitehdasta, yksi sekoitelaite ja muovin kehitys- ja tutkimusyksikkö. Porvoossa valmistetaan pääosin kierrätettäviä muovilaatuja. Borealis Polymers Oy on sitoutunut ISO-EN-50001-energianhallintastandardiin, jonka avulla on tarkoitus järjestelmällisesti vähentää kasvihuonepäästöjä ja muita ympäristövaikutuksia sekä parantaa energiatehokkuutta.</p> <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tarkastella yleisellä tasolla, miten kunnossapidon keinoin voidaan optimoida energiankäyttöä, Borealis Polymers Oy:n Porvoon muovitehtailla. Tarkastelun kohteista on tehty kehityskohdelista, mikä on esitetty liitteissä.</p> <p>Työn tuloksista luotiin raportit Borealiksen EIM-järjestelmään, missä kehitysehdotukset menevät jatkokäsittelyyn.</p>	
Avainsanat	Kunnossapito, energia, muovi

Author Title	Eetu Nisula Optimizing Energy Consumption by Maintenance
Number of Pages Date	29 pages + 5 appendices 10 April 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Professional Major	Production Engineering
Instructors	Markku Saarnio, Senior Lecturer Somaina Odiah, Area Manager
<p>Borealis Polymers Group is Europe's second largest plastics producer, which has production plants in several European countries. In Porvoo, Borealis has, in addition to olefin and aromatics production, three plastics factories, one compounding plant and a research unit. Porvoo produces mainly recyclable plastic grades. Borealis Polymers Group is committed to the ISO-EN-50001 energy management standard, which is designed to systematically improve energy efficiency, reduce greenhouse gas emissions and to minimize environmental impacts.</p> <p>The objective of this thesis was to examine in general terms how to optimize energy consumption through maintenance at Borealis Polymer's production plants in Porvoo.</p> <p>In conclusion, a number of energy optimization initiatives were created on the basis of the results obtained in the thesis. The initiatives are contained in the appendices. In addition, the results have been reported to the Borealis EIM-system, wherefrom the development proposals have been taken into further processing.</p>	
Keywords	Maintenance, Energy, Plastic

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Borealis group	2
2.1	Tuotteet	3
2.1.1	Polyolefiinit	3
2.1.2	Peruskemikaalit ja lannoitteet	3
2.2	Borealis Polymers Oy	3
3	Borealixen energiankäyttö 2014	4
4	Kunnossapito	5
5	Kunnossapitolajit	6
5.1	Korjaava kunnossapito	7
5.2	Ehkäisevä kunnossapito	7
5.2.1	Kunnonvalvonta	8
5.2.2	Jaksotettu kunnossapito	9
5.2.3	Ehkäisevän kunnossapidon edut	9
6	Kunnossapidon tyypillisimmät metodologiat	10
6.1	Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito (TPM)	10
6.2	Luotettavuuskeskeinen kunnossapito (RCM)	11
7	Energian optimointi kunnossapidossa	15
7.1	Mekaanisen energian optimointi	15
7.1.1	Linjaus	16
7.1.2	Voiteluaine	17
7.1.3	Koneiden modernisointi	19
7.2	Käyttöhyödyke-energian optimointi	20
7.2.1	Lämmönsiirrin	21
7.2.2	Lämmöneristys	25

8	Kehityskohdelista	27
9	Yhteenveto	27
	Lähteet	28
	Liitteet (vain työn tilaajan käyttöön)	
	Liite 1. L-229B energiansäästö-laskelma	
	Liite 2. GA-3403 energiansäästö-laskelma	
	Liite 3. Höyrylinjan lämpöhäviö-laskelma	
	Liite 4. D-201 B-, ja C-reaktorin puhdistuksen eristetyökustannukset	
	Liite 5. Kehityskohdelista	

Lyhenteet

BOREMIX Sekoituslaitos

FMEA Failure Mode and Effects Analysis (vikatilavaikutusten analyysi)

LDPE Pienitiheksinen polyeteeni

MTTF Mean Time to Failure (keskimääräinen vikaantumisväli)

PE Polyeteeni

PP Polypropeeni

RCM Reliability Centered Maintenance (luotettavuuskeskeinen kunnossapito)

TPM Total Productive Maintenance (kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito)

1 Johdanto

Kunnossapidon merkitys yrityksille on ollut viime vuosikymmeninä suuri ja tulee tulevaisuudessa edelleen kasvamaan. Kunnossapito vaikuttaa tuotannon käytettävyyteen ja tuottavuuteen pitämällä laitteet ja järjestelmät toimintakuntoisena. Kunnossapidolla voidaan vaikuttaa energiankulutukseen optimoimalla ja modernisoimalla laitteita.

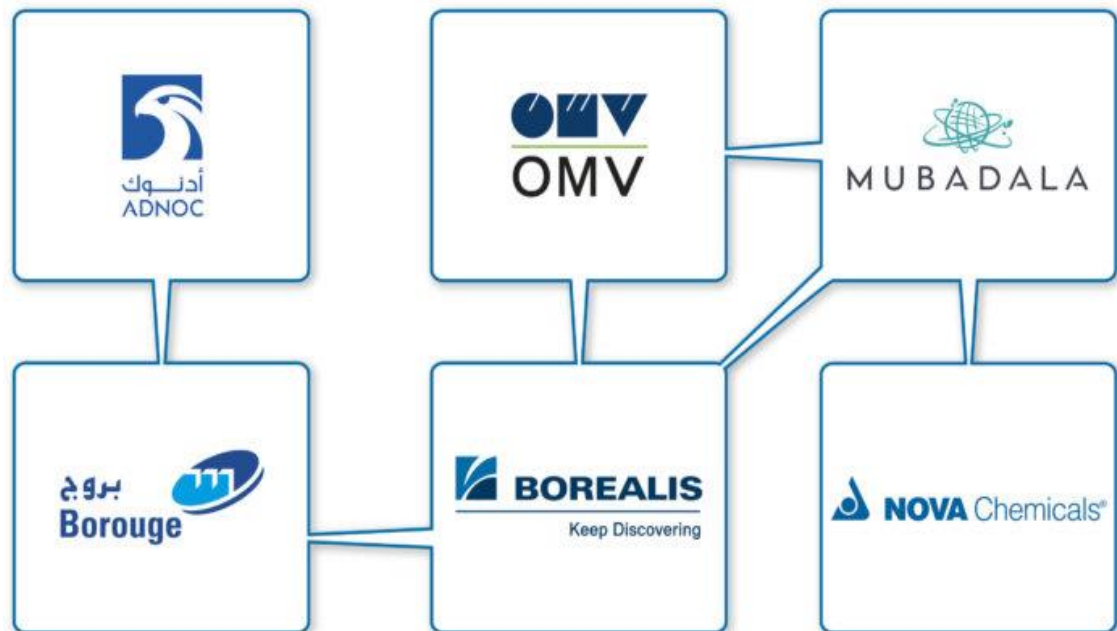
Tämän insinööriyön tarkoituksena oli tarkastella yleisellä tasolla, miten kunnossapidon keinoin voidaan optimoida energiankäyttöä Borealis Polymers Oy:n Porvoon muovitehtailla. Tarkastelun kohteista on kerrottu, miten niiden energiankäyttöä voisi optimoida.

Työn tuloksista luotiin raportit Borealixen EIM-järjestelmään, missä kehitysehdotukset menevät jatkokäsittelyyn.

2 Borealis group

Borealis on norjalaisen Statoilin ja suomalaisen Nesteen vuonna 1994 perustama osakeyhtiö. Sana Borealis tulee latinan kielestä ja tarkoittaa revontulia. Borealoksen pääkonttori sijaitsee Itävallan pääkaupungissa Wienissä. Borealis toimii yli 120 maassa ja työllistää noin 6 800 henkilöä. (Borealis 2019.)

Borealoksen omistajia ovat Mubadala (64 %) ja OMV (36 %). Mubadala on Abu Dhabin johtava strateginen sijoitusyhtiö, jonka omistaa Abu Dhabin hallitus. OMV on kaasu- ja öljyalan itävaltalainen jalostaja. Borealoksen omistussuhteet ovat esitetty kuvassa 1. 2016 Borealis saavutti 1.1 miljardin euron nettotulot 7.2 miljardin euron myyntituotoista. (Borealis 2019.)



Kuva 1 Borealoksen omistussuhteet (Borealis 2019)

2.1 Tuotteet

2.1.1 Polyolefiinit

Polyolefiinit voidaan luokitella niiden lämpökäyttäytymisen mukaan. Polyolefiineihin sisältyvät eri termoelementit, termoplastiset elastomeerit ja termoplastiset aineet. Ne voidaan luokitella myös niiden molekyyliketjun rakenteen mukaan korkeakiteisiin polymeereihin tai amorfisiin polymeereihin. Tämän takia polyolefiinejä käytetään monissa erilaisissa teknisissä sovelluksissa ja teollisuudenaloilla kuten auton osien, lääketieteellisten implanttien, pakkausten tai lelujen tuotannossa sekä teknisissä muoveissa. Polyeteeni (PE) ja polypropeeni (PP) ovat kaikkein eniten käytettyjä polyolefiinityyppejä. Niitä voidaan tuottaa monissa luokissa niiden käyttötarkoituksen tai sovelluksen mukaan. (McKenna 2013. 1-2.) Borealiksen polyolefiinituotteita käytetään laajalti monissa sovelluksissa, kuten kaapelipinnoitteissa, autoteollisuudessa, kulutustuotteissa ja putkissa. (Borealis 2019.)

2.1.2 Peruskemikaalit ja lannoitteet

Borealis tarjoaa useille eri aloille peruskemiallisia tuotteita, kuten melamiinia, fenolia, asetonia, etyleeniä ja propyleeniä. Yritys on yksi Euroopan johtavista lannoitevalmistajista, ja sen varastointikapasiteetti on yli 700 000 tonnia. (Borealis 2019.)

2.2 Borealis Polymers Oy

Borealis Polymers Oy sijaitsee Kilpilahden teollisuusalueella Porvoossa (Muovintie 19, 06850 Kulloo, Porvoo). Kilpilahden öljyjalostus- ja kemianteollisuuden alue on pohjoismaiden suurin. Polyolefiinit ja peruskemikaalit Borealis Polymers Oy:llä tuotetaan kuudessa eri tuotantolaitoksessa: olefiinit, fenoli ja aromaatti, PE, PP, LDPE ja BOREMIX. Kuuden tuotantolaitoksen lisäksi Borealis Polymers Oy:llä on tutkimus-, kehitys- ja innovaatiokeskus. Borealis Polymers Oy työllistää noin 900 ihmistä. (Borealis 2019.)

Borealis Polymers Oy:llä on oma kunnossapito-osasto. Kunnossapitotoiminta on jaettu kolmeen eri jaokseen, joilla on omat vastuualueensa. Säiliöt sekä mekaaniset ja pyörivät laitteet ylläpitää mekaaninen jaos. Sähkölaitteet ja muut sähköiset kunnossapitotoimet

ylläpitää sähköjaos. Instrumentointivälineet ja automaattiset laitteet ylläpitää instrumenttijaos.

Borealis Polymers Oy toteuttaa käyttöomaisuudenhallintaa, jolla varmistetaan korkea tuottavuus ja laatu. Kunnossapidettävyyttä, luotettavuutta ja elinkaarikustannuksia ylläpidetään ja parannetaan jatkuvalla kehityksellä.

Suunnittelemattomat kunnossapitotyöt voidaan hoitaa nopeasti, koska korjaamorakennus sijaitsee tuotantolaitosten läheisyydessä.

Borealis soveltaa maailmanluokan kunnossapitomenetelmiä, joissa laitoksella työskentelevät operaattorit ovat mukana tietyissä toiminnoissa. Lisäksi koko henkilökunnalle tarjotaan koulutusohjelmia, kuten pakolliset turvallisuus- ja ympäristökoulutukset. Investointien toteutukset, seisokit ja muut suunnitellut pysäytykset suunnitellaan kunnossapitoorganisaation, seisokkiorganisaation ja tuotannon toimihenkilöiden kanssa, epäluotettavien tekijöiden poistamiseksi ja tuotannon menetyksen välttämiseksi.

3 Borealisen energiankäyttö 2014

Borealis Polymers Oy on sitoutunut ISO-EN-50001-energianhallintastandardiin, jonka avulla on tarkoitus järjestelmällisesti vähentää kasvihuonepäästöjä ja muita ympäristövaikutuksia sekä parantaa energiatehokkuutta.

Porvoon tuotantolaitosten energiakulutuksen jakautuminen on esitetty kuvassa 2. Energiankulutus voidaan jakaa karkeasti kolmeen pääluokkaan, jotka ovat polttoaineet, höyry ja sähkö.

Porvoon energian kulutus prosentteina 2014			
	Polttoaineet	Höyry	Sähkö
Eteeni	87 %	30,5 %	20,4 %
Aromaattit	12,8 %	51,5 %	15,3 %
LDPE	0 %	0,9 %	19,4 %
Boremix	0 %	0,5 %	2,4 %
PP	0,04 %	5,5 %	13,8 %
PE2	0,04 %	2,4 %	21,1 %
Muut	0,08 %	8,50 %	7,50 %

Kuva 2 Borealiksen Porvoon toimipisteen energian kulutus prosentteina 2014

4 Kunnossapito

Kunnossapidon tarkoitus on varmistaa fyysisten laitteiden ja järjestelmien toiminta tehokkaasti tuotannon ja turvallisen käytön edellyttämällä tavalla.

Kunnossapitoa voidaan myös kuvailla ehkäiseväksi ja tappioiden vähentämiseksi. Tappiot johtuvat tyypillisesti laiterikoista tai järjestelmähäiriöstä, joten kunnossapitoa ei enää mitata sillä, kuinka nopeasti laiterikko saadaan korjattua, vaan kuinka voidaan estää laiterikkoja. (Moblely 2002: 43.)

Kunnossapidon rooli ei ole vain korjata rikkiäisiä laitteita, vaan ennemminkin estää kaikenlainen rikkoontuminen. Kunnossapidon pitää saavuttaa ja toteuttaa seuraavat tavoitteet:

- laitteiden optimaalinen saatavuus
- optimaaliset käyttöolosuhteet
- kunnossapidon voimavarojen optimoitu käyttö
- laitteiden optimaalinen käyttöikä
- laitteiden varaosien varastointi
- kyky reagoida nopeasti vikaantumisiin

(Mobley 2002: 44.)

5 Kunnossapitolajit

Kunnossapitolajit jaetaan kahteen ryhmään, jotka ovat ehkäisevä kunnossapito ja korjaava kunnossapito. Kunnossapitolajit on havainnollistettu kuvassa 3.



Kuva 3 Kunnossapitolajit (Järviö 2011: 47)

Optimaalinen kunnossapito hyödyntää kaikkia kunnossapitotyyppisiä tuotantoympäristöön sopivalla tavalla, huomioiden kustannukset ja laiteluotettavuuden. Korjaavaa kunnossapitoa toteutetaan halpojen ja helposti korvattavien laitteiden kohdalla, ehkäisevää kunnossapitoa toteutetaan kriittisille laitteille ja järjestelmille, joiden hajotessa syntyy huomattavia tuotannollisia tappioita.

5.1 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on määritelty reaktiiviseksi hallintamenetelmäksi, jossa kunnossapitotoimet toteutetaan sen jälkeen, kun laitteisto saavuttaa toiminnallisen tai totaalisen vian. Korjaava kunnossapito on ollut vuonna 2002 keskimäärin kolme kertaa kalliimpaa kuin aikataulutettu tai ehkäisevä kunnossapitomenetelmä. (Moblely 2002: 2–3.)

Haitat korjaavassa kunnossapitomenetelmässä:

- suuri varaosavarasto
- korkea ylityökustannus
- laitteen pitkä seisokkiaika
- tuotannon alhainen käyntivarmuus

(Moblely 2002: 3.)

5.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevä kunnossapito on aikataulutettua tai jatkuvaa, ja sillä voidaan estää suunnitelmattomat pysäytykset ja ennenaikaiset vahingot. Ehkäisevää kunnossapitoa voidaan toteuttaa rajoitetuin keinoin kuten pienillä korjaustöillä ja voitelulla tai se voidaan toteuttaa kattavasti esimerkiksi suunnitelluilla huoltotöillä ja kriittisten laitteiden uusimisella. (Moblely 2002: 414.)

5.2.1 Kunnonvalvonta

Kunnonvalvonta määritellään osaksi ehkäisevää kunnossapitoa. Kunnonvalvonnassa pyritään mittaamaan laitteen kuntoa, jotta voidaan ennustaa vikaantuminen ennen kuin se ilmenee. Näin kunnossapitoa suoritetaan laitteelle vain silloin, kuin sitä tarvitaan. Sen lisäksi edistyneimmillä tekniikoilla huoltotarpeet voidaan määrittää hyvissä ajoin ennakoon, jolloin laitoksen pysäytysajankohdat voidaan optimoida suhteessa tuotantoaika- tauluihin. Näin ollen laitteiden ja järjestelmien käyttöolosuhteita sovelletaan optimoimaan laitoksen koko toiminta. Siksi tuotanto- ja tuotantolaitosten kannattavuus ja tuottavuus paranevat, kun kunnonvalvonta toteutetaan oikein. (Mobley 2002: 5.)

Jatkuvalla kunnonvalvonnalla on suuri vaikutus suunnittelemattomien tuotantopysäytyk- sien lisäksi myös korjauskustannuksiin. Yksittäisen komponentin vikaantumisen havait- semisella voidaan välttää sekundääriset vauriot moniosaisessa mekaniismissa. Esimer- kiksi vaihdelaatikon laakerivian ensiaste kehittyy hiljalleen laakerivaurioksi, tässä pro- sessissa laakerista irtoaa metallipartikkeleita öljyn kierto. Lisäksi laakeri menettää ky- kynsä tukea akselia suunnitellulla tavalla, jolloin akseli menettää oman asemansa. Nämä kaksi tekijää vaurioittavat vaihdelaatikon muita sisäosia ja voivat johtaa vaihteiston to- taaliseen rikkoontumiseen. Kunnonvalvonnalla pyritään nimenomaan löytämään vikaan- tumisien ensiasteet ennen kuin ne kehittyvät vaurioiksi, joista seuraa suuria kustannuk- sia.

Seuraavia muuttujia mitataan kunnonvalvonnassa:

- värähtely
- asema
- lämpötila
- prosessi parametrit
- silmämääräinen tarkastus

(Mobley 2002: 6.)

Ennakoivassa kunnossapidossa seurataan ensisijaisesti laitteiden värähtelyä. Toisaalta järjestelmien tai ei-mekaanisten komponenttien toiminnan tehokkuus voidaan määrittää seuraamalla lämpöhäviötä tai prosessitehokkuutta. (Mobley 2002: 6.)

5.2.2 Jaksotettu kunnossapito

Jaksotettua kunnossapito eli määräaikaishuolto on yksinkertainen tapa huoltaa laitetta ennen vaurioiden syntymistä, ja se perustuu laitevalmistajan arvioon tai käyttäjän kokemukseen komponenttien käyttöiästä. Tämä voi johtaa turhaan huoltamiseen, sillä samanlaisissa laitteissa on laatueroja ja niiden kuormitus- ja tuomintaympäristöt vaihtelevat. Jaksotettua ehkäisevää kunnossapitoa toteutetaan esimerkiksi autoteollisuudessa seuraavasti; öljynvaihto 20 000 km välein ja sytytystulppien vaihto 60 000 km välein riippumatta niiden todellisesta kunnosta. (Mobley 2002: 47.) Samalta tuotantolinjalta valmistuneita autoja käytetään ympäri maailmaa erilaisissa olosuhteissa ja käyttötarkoituksissa. Riippumatta edellä mainituista autoille on silti määritelty valmistajakohtaisesti samat huolto-ohjelmat.

5.2.3 Ehkäisevän kunnossapidon edut

Ehkäisevän kunnossapidon edut:

- Laitteen huolto voidaan ajoittaa tuotannon kanssa sopivaksi.
- Laitteiden käyttöaika kasvaa.
- Kunnossapitomenetelmät, -ajat ja -kustannukset voidaan standardisoida.
- Varastoidaan vain tarpeelliset varaosat.
- Suunnitelmallinen resurssien käyttö.
- Ympäristö- ja turvallisuusolosuhteita voidaan parantaa.
- Ennakkohuoltotehtäviä edistetään reaktiotehtävien sijasta.
- Kunnossapitokustannusten aleneminen.

Ehkäisevää kunnossapidon strategiaa käyttöönottaessa on hyvä huomioida, että suunnitelmallisia huoltoja on alkuun enemmän ja varaosat täytyy ostaa ennakkoon, mikä tekee alkukustannuksista suuremmat.

6 Kunnossapidon tyypillisimmät metodologiat

Suomessa tyypillisimmät sovelletut kunnossapidon metodologiat ovat TPM sekä RCM ja näitä hyödynnetään lähes kaikissa suurissa tuotantolaitoksissa. Niissä määritellyt toimintatavat ovat tehokkaita ja niiden hyödyt laajalti todistettuja.

6.1 Kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito (TPM)

TPM, (Total Productive Maintenance) eli kokonaisvaltainen tuottava kunnossapito kehitettiin 1950-luvulla Demingin toimesta. Deming-konsepti otettiin japanilaisten käyttöön tehokkaaksi kunnossapitomenetelmäksi. TPM-menetelmän hyödyt voidaan ilmaista kapasiteetin, kokonaistuotannon kustannusten ja laadun suhteen. Laitteiden tehokkuuden parantaminen, kokonaistuotantokustannukset ja tuotannon laatu kohdistuvat TPM-menetelmään, joten sitä ei pidetä kunnossapitomenetelmänä vaan enemmän kunnossapidon laadunhallintamenetelmänä. TPM:ssä pyritään osallistamaan koko tuotanto ja kunnossapitohenkilöstö yhteisiin talkoisiin laitteiden luotettavuuden ylläpitämiseksi. (Moblely 2002: 6.)

TPM-filosofian lähtökohta on, että luodaan tuotannon koneille optimaaliset toimintaolosuhteet ja ylläpidetään ne. Metodologian perustana on laatuguru J.M.Juranin toteamus siitä, että luotettavuuden vähentyminen johtuu toimintaolosuhteiden hitaasta muuttumisesta epäedulliseen suuntaan. Näin ollen luotettavuuden (tuottavuuden) nosto vaatii näiden olosuhteiden parantamista. (Järviö 2007: 111.)

TPM korostaa sanaa kokonaisvaltainen seuraavasti:

- Kokonaistehokkuus; pyrkimys tehokkuuteen mitattuna taloudellisin mittarein.
- Kokonaiskattavuus; kunnossapitotarpeen pienentäminen, huolto- ja korjaustöiden helpottaminen rakenteita muuttamalla sekä ehkäisevällä kunnossapidolla.
- Kokonaisvaltainen osallistaminen; kaikki osallistuvat, häiriötön toiminta on tulos, jonka osatekijöinä ovat kaikki yrityksen osastot ja ihmiset asemasta riippumatta.

(Järviö 2007: 111.)

Kokonaisvaltaisen tuottavan kunnossapidon keskeiset viisi päämäärää ovat seuraavat:

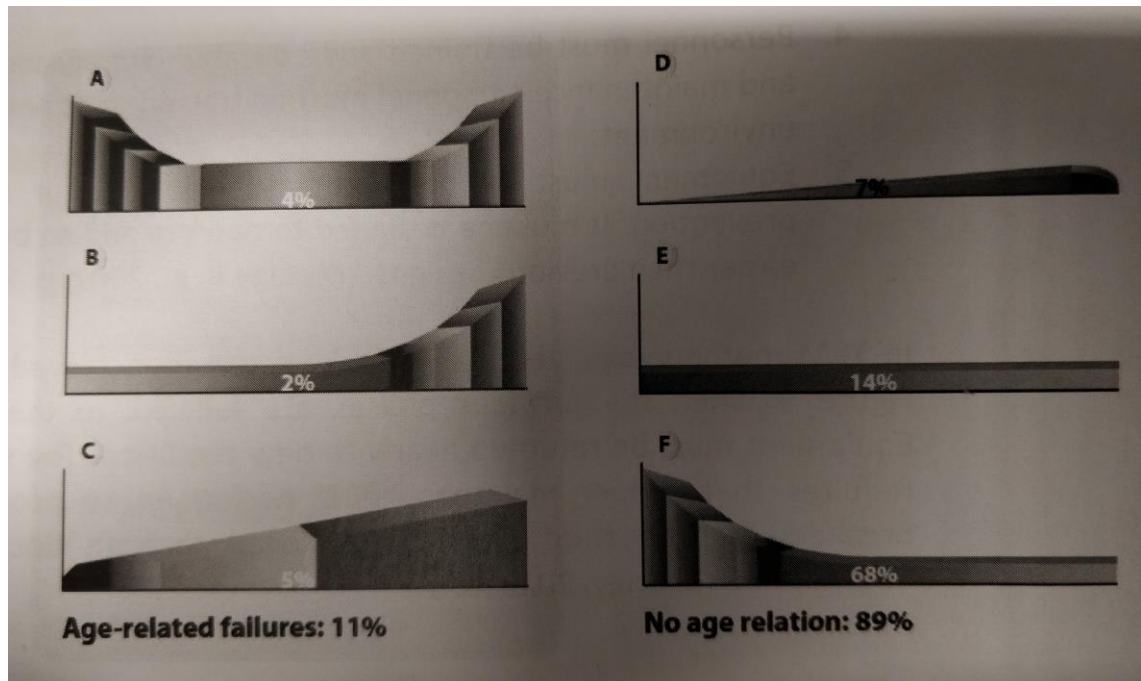
- Lisätään suunnittelun avulla laitteiden tehokkuutta.
- Parannetaan olemassa olevia ehkäisevän ja ennakoivan kunnossapidon tasoja.
- Määritetään vaatimustasot koulutettujen käyttäjien tekemille huolto- ja puhdistustöille.
- Lisätään kunnossapidon ja käytön henkilökunnan taitoja ja motivaatiota yksilö- ja ryhmätason koulutuksella.
- Aloitetaan ehkäisevät kunnossapitotoimet mukaan lukien suunnittelun ja hankintojen kehittäminen.

(Järviö 2007: 111.)

6.2 Luotettavuuskeskeinen kunnossapito (RCM)

RCM (Reliability Centered Maintenance) kehitettiin 1960-luvulla. Ennen kuin RCM julkaistiin, tuotantoinsinöörit ajattelivat, että laitteella on rajallinen käyttöikä, joten tuotannon riittävät luotettavuuden tasot saavutettiin ajoittaisilla laitteen uusinnoilla (jaksotettu kunnossapito). (Mobley 2002: 9.)

Vuonna 1979 Stanley Nowland ja Howard Heap julkaisivat luotettavuuskeskeisen kunnossapitoraportin. Raportissa havaittiin UA:n (United Airlines) kaupallisissa lentokoneissa kuusi vikahäiriömallia. Vikaantumiset jaettiin kahteen ryhmään kuten kuvassa 4 on esitetty. Raportissa kävi ilmi, että vain 11 % häiriöistä johtui laitteen ikääntymisestä, näin ollen suurinta osaa vikaantumisista (89 %) ei estetty silloin käytetyllä jaksotetulla kunnossapidolla. (Reyes-Picknell 2017: 16.)

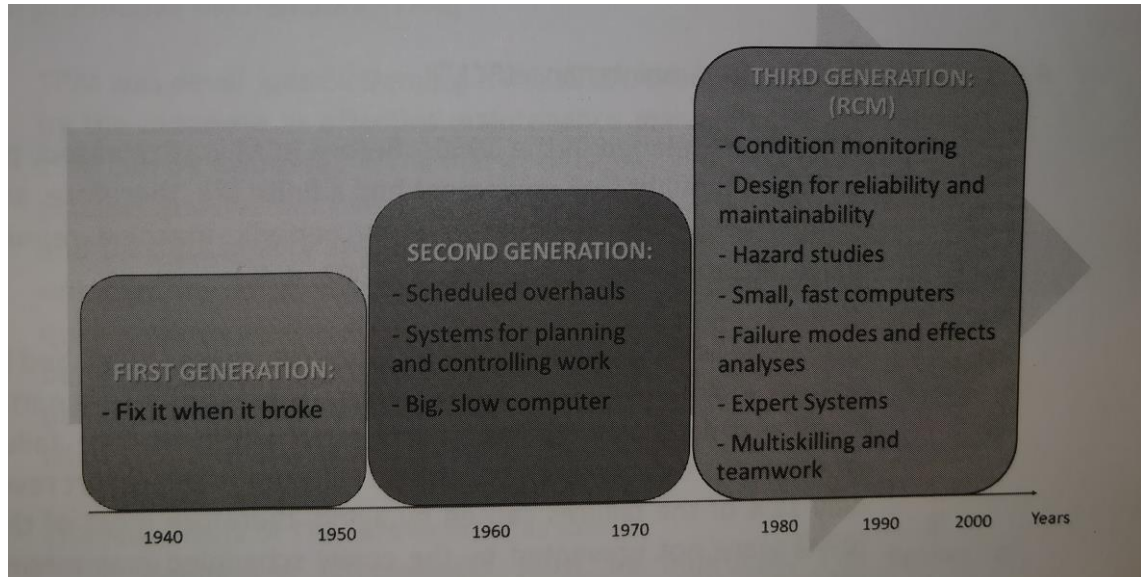


Kuva 4 Boeing ja UA:n raportin tulokset (Reyes-Picknell 2017: 17)

Vuonna 1999 uusi standardi (SAE Ja-1011 "Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance [RMC] Processes") julkaistiin autoinsinööriyhdistyksen (SAE) toimesta luotettavuuskeskeisen kunnossapidon sekaannuksen selvittämiseksi ja vähemmän tehokaiden menetelmien poistamiseksi. Tällä hetkellä lentokoneollisuuden kunnossapitokustannukset pienenevät ja korkeammat turvallisuustasot saavutetaan luotettavuuskeskeisen kunnossapitoprosessin kehittämisen vuoksi. (Reyes-Picknell 2017: 18.)

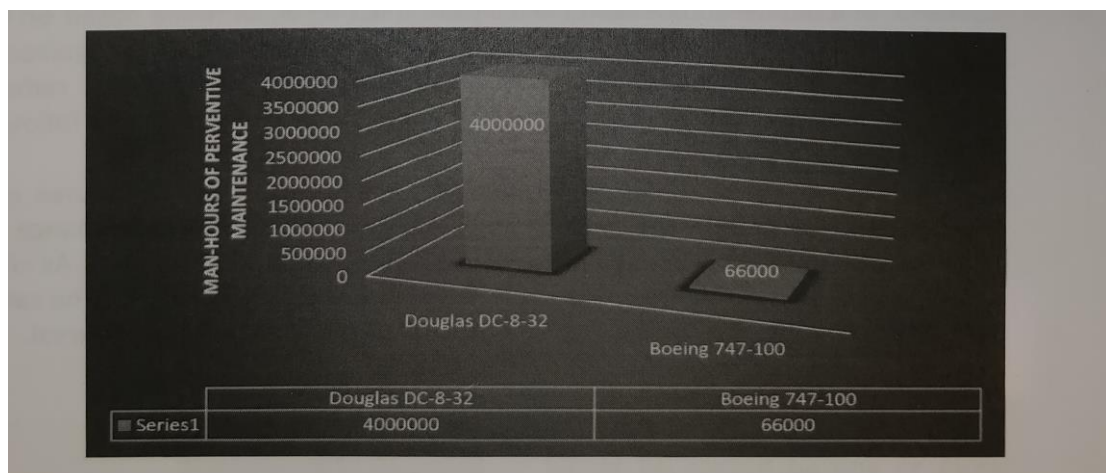
Yhtiön fyysisistä voimavaroista saadaan enemmän arvoa, kun luotettavuuskeskeinen kunnossapito on toteutettu. (Reyes-Picknell 2017: 20.)

Kunnossapitokehityksen tarve lisääntyi tuotannon ja valmistuksen vallankumouksen sekä muutosten myötä, jotka tapahtuivat sodassa ensimmäisten vuosikymmenien aikana, kuten kuvassa 5 on esitetty. (Moubray 1999: 5.)



Kuva 5 Kunnossapidon kehitys (Moubray 1999: 5)

Turvallisuus parani ja kunnossapitokustannukset pienenivät huomattavasti, kun luotettavuuskeskeisen kunnossapidon periaatteet otettiin käyttöön 747-100 lentokoneissa verrattuna vanhempaan perinteiseen kunnossapitoon, jota Douglas DC-8-32 lentokoneisiin sovellettiin, kuten kuvassa 6 on esitetty. (Reyes-Picknell 2017: 17.)



Kuva 6 DC-8-32:n ja Boeing 747-100:n kunnossapidon kustannusvertailu

RCM:an yksi keskeinen työkalu on FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) eli vika-vaikutusanalyysi. FMEA-menetelmää käytetään tunnistamaan vikamekanismit, jotta niiden syntymiseen voidaan vaikuttaa. Viat, niiden seuraus ja niiden esiintymistodennäköisyys arvioidaan ja analysoidaan. Tuloksena saadaan vikavaikutusanalyysi kuten kuvassa 7 on esitetty. Kun vikaantumismekanismi on tunnistettu, voidaan vikaantumisen synty poistaa tehokkaasti RCM:n avulla. (Mobley 2004: 30.)

RCM II INFORMATION WORKSHEET © 1996 ALADON LTD		SYSTEM <i>Cooling Water Pumping System</i>	
		SUB-SYSTEM	
FUNCTION		FUNCTIONAL FAILURE (Loss of Function)	FAILURE MODE (Cause of Failure)
1	To transfer water from tank X to tank Y at not less than 800 liters/minute	A Unable to transfer any water at all	1 Bearing seizes 2 Impeller comes adrift 3 Impeller jammed by foreign object 4 Coupling hub shears due to fatigue 5 Motor burns out 6 Inlet valve jams closed ... etc
		B Transfers less than 800 liters per minute	1 Impeller worn 2 Partially blocked suction line ... etc

Kuva 7 Pumpun vikatilat (Moubray 1999: 54)

Vikatilanteet johtuvat yleisimmin laitteiston ikääntymisestä. Se, miten laitetta käsitellään koko sen elinkaaren ajan, vaikuttaa myös siihen, milloin se alkaa hajota; se voi jopa tapahtua satunnaisesti. Myös ennenaikaisesti tapahtuneet viat tai ennustettavissa olevat kulumisviat on otettava huomioon. Kunnossapitotehtävät on määriteltävä todennäköisten vauriomekanismien mukaan. SAE JA1011 (Society of automotive engineers report) tunnisti kolme kunnossapitostrategiaa seurausten vähentämiseksi. Nämä kunnossapitostrategiat ovat usein osa RCM:an lopputuloksena suoritettavaa kunnossapitoa:

- kuntoon perustuva kunnossapito (kunnonvalvonta)
- jaksotettu kunnossapito
- korjaava kunnossapito

(Reyes-Picknell 2017: 31.)

7 Energian optimointi kunnossapidossa

Aiemmin kappaleessa 4 mainittiin, että kunnossapidon tarkoitus on varmistaa fyysisten laitteiden ja järjestelmien toiminta tehokkaasti tuotannon ja turvallisen käytön edellyttämällä tavalla. Tehokas tuottaminen edellyttää, että tuotannossa käytetty materiaali ja käyttöhyödykkeet käytetään optimaalisella tavalla. Näin ollen yksi merkittävä osa tuotannon tehokkuuskeskustelussa on tuotannon tekemiseen käytetyn energian hyödyntäminen. Tuotantolaitteet voivat hyödyntää käyttämänsä energian optimaalisesti vain, jos niitä huolletaan asianmukaisesti ja ne toimivat oikein. Tosin tekniikan kehittyessä vanhoihin laitteisiin voidaan soveltaa uusia teknologioita, joilla niiden energiatehokkuutta voidaan parantaa. Tällöin voidaan perinteisen kunnossapidon sijasta puhua laitteiden modernisoinnista. Joka tapauksessa on erittäin tärkeää, että edellisissä kappaleissa mainittuja metodologioita ja strategioita sovelletaan oikealla tavalla, jotta laitteiden energiatehokas käyttö voidaan varmistaa. Seuraavaksi tässä työssä tarkastellaan, minkälaisissa yhteyksissä laitteet hukkaavat energiaa ja mitä asialle voidaan tehdä.

7.1 Mekaanisen energian optimointi

Mekaanisen energian potentiaaliset säästömahdollisuudet on kartoitettu yleisellä tasolla laitteiden linjauksen, voitelun ja modernisoinnin osalta.

7.1.1 Linjaus

Kahden pyörivän laitteen välinen tehonsiirto tapahtuu yleensä akseli- tai hihnavälityksellä, jossa sähkömoottorin teho siirretään koneelle. Akselivälityksessä tehonsiirto tapahtuu tehokkaimmin, kun kahden toisiinsa liitetyn akselin keskilinjat muodostavat suoraa linjaa. Hihnavälityksellä hihnapyörät ovat suorassa ja samassa linjassa toisiinsa nähden. Kaikkia poikkeamia edellä mainituista voidaan tulkita linjausvirheiksi. (SKF-laakerien kunnossapito 2016.)

Yleisesti linjausvirheitä on kolme, joista yksi on pehmeä jalka, joka tarkoittaa tilannetta, jolloin kone ei ole tukevasti perustuksen päällä. Pehmeä jalka tekee linjauksesta mahdollottoman, koska kone pääsee liikkumaan linjausvaiheessa. Pehmeä jalka poistetaan linjauslevyillä, jotka laitetaan yksinkertaisesti koneen jalan alle. Pehmeä jalka voi ilmetä kahdella eri tavalla, jotka on esitetty kuvassa 9. (SKF-laakerien kunnossapito 2016.)



Kuva 9 Pehmeän jalan tyyppejä (SKF-laakerien kunnossapito 2016)

Kaksi muuta linjausvirhettä ovat kytkimen suhteen vinossa, joko yhdensuuntaisesti tai kulman suhteen.

Koneiden ja laitteiden asianmukaisella linjauksella vähennetään suunnittelemattomia viikaantumisia. Huolimattomasti linjatun laitteen energiankulutus kasvaa ja laakerivaurion riski nousee. Energiankulutusta on vaikea arvioida, koska laitteen sisäiseen kitkaan vaikuttava linjausvirheen suuruus voi vaihdella. Linjausvirheestä johtuvan energiahukan määrän voi todentaa vasta, kun on vertailtu energiankulutus virheen löytymisen ja sen korjaamisen jälkeen. Laitteen korkeat värinät ja tiivistevuodot voivat johtua myös huolimattomasta linjauksesta, ja useissa verkkoteksteissä arvioidaan, että jopa 50 % laiterikoista johtuu huolimattomasta linjauksesta.

Laitevalmistaja laatii yleensä linjaustoleranssit, jos näitä ei ole saatavilla on syytä käyttää yleisesti hyväksytyjä akselin linjaustoleransseja, jotka on esitetty kuvassa 10.

Pyörimisnopeus Rotation speed	Yhdensuuntaisuus Offset		Kulmavirhe Angularity	
	Hyvä Good	Hyväksyttävä Acceptable	Hyvä Good	Hyväksyttävä Acceptable
rpm	mm	mm	mm/100 mm	mm/100 mm
0000-1000	0,07	0,13	0,06	0,1
1000-2000	0,05	0,1	0,05	0,08
2000-3000	0,03	0,07	0,04	0,07
3000-4000	0,02	0,04	0,03	0,06
4000-5000	0,01	0,03	0,02	0,05
5000-6000	<0,01	<0,03	0,01	0,04

Kuva 10 Akselin linjaustoleranssit (SKF-laakerien kunnossapito 2016)

Yleisesti voidaan sanoa, että teollisuudessa, niin myös Borealiksella, kaikkien merkittävästi energiaa kuluttavien pyörivien laitteiden linjaus tulisi tarkastaa viimeistään laitteen huollon yhteydessä. Laitteelle spesifiset linjaustoleranssit ja mittauksista syntyvät linjaustulokset tulee taltioida kunnossapidon tietojärjestelmään.

7.1.2 Voiteluaine

Voiteluaineita käytetään liikkuvien osien välisen kitkan pienentämiseksi, välyksien tiivistämiseksi sekä kulumisen estämiseksi. Näiltä vaaditaan juuri oikeanlaisia ominaisuuksia voitelukohteisiin ja ympäristöolosuhteisiin nähden. Voiteluaineet ryhmitetään voiteluöljyihin ja voitelurasvoihin.

Tehokkain tapa vähentää kahden tai useamman liikkuvan osan kosketuspinnan välistä kitkaa ja kulumista on erottaa ne voiteluaineella. Oikeanlaisella voitelulla saavutetaan merkittäviä taloudellisia hyötyjä, kuten energiakustannuksien pienentyminen ja laitteen eliniän kasvaminen. Voiteluaineen tärkeimpiä tehtäviä ovat muun muassa: (Mekaniikka & voiteluaineet.)

- kosketuspintojen erottaminen toisistaan
- kitkan pienentäminen
- kulumisen vähentäminen
- epäpuhtauksien kuljettaminen pois
- värähtelyn vaimentaminen

(Mekaniikka & voiteluaineet.)

Voiteluaineen vaikutus energiankulutukseen tulee kahden kosketuspinnan välisestä kitkasta. Öljyn viskositeetilla, sen kyvyllä kantaa kuormaa ja erityisillä lisäaineistuksilla voidaan vaikuttaa öljyn luistokykyyn, joilla vaikutetaan kahden vastakkain liikkuvan kappaleen liikkeessä pitämisen tarvittavaan energian määrään.

Borealiksella on käytetty tähän asti monen eri valmistajan voiteluaineita, mutta vuosien 2019 ja 2020 aikana siirrytään käyttämään pelkästään ExxonMobil Oy:n tuotteita, ja tässä vaiheessa on hyvä tilaisuus tarkastella varsinkin päälaitteiden osalta, mikä öljy palvelee käyttötarkoitusta parhaiten.

Voiteluainekartoituksessa ilmeni, että vaihteistoissa käytetään mineraaliöljyä, vaikka tiedettävästi synteettinen öljy suojaa kulumiselta paremmin ja pienentää energiankulutusta vähentämällä kitkaa. Esimerkkikohteena potentiaalisesta energiansäästöstä on ollut L-229B vaihteisto, jossa vuosittainen säästö olisi n. 5150 € synteettisellä öljyllä. ExxonMobil Oy:n laskelmat ovat liitteessä 1.

Voiteluainekartoituksessa ilmeni myös, että Borealixen muovitehtailta löytyy 11 kpl isoja vaihteistoja, joissa käytetään alustavien tietojen mukaan mineraaliöljyä. Vaihteistot on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1 Vaihteistot, joissa mineraaliöljyä

Sort field	Description	Current oil	Öljytilavuus
GG-9881A	GG-9801A PÄÄVAIHDELAATIKKO	Vaihteisto 320	1700L
GG-9881B	GG-9801B PÄÄVAIHDELAATIKKO	Vaihteisto 320	1700L
GA-9881A	Extruuderin sulapumppu / vaihteisto	Vaihteisto 320	200L
GA-9881B	Extruuderin sulapumppu / vaihteisto	Vaihteisto 320	200L
L-229B	TUOTE-EKSTRUUDERI (B-YKS.) vaihteisto	Shell omala 460EP	700L
L-240B	Sivu Extr.	Shell omala 220EP	175L
L-229C	TUOTE-EKSTRUUDERI (C-YKS.) vaihteisto	Vaihteisto 220EP	540L
PA-8682X	REDUCTION GEAR	Vaihteisto 220	1600L
PA-8683X	GEAR REDUCER FOR MELT PUMP	Vaihteisto 220	500L
L-09-202	EXTRUDER (SL200) Vaihteisto	Shell Omala 320	320L
L-09-521	TUOTE-EXSTRUUDERI (SL-500) Vaihteisto	Shell Omala 320	160L

Taulukon 1 perusteella voidaan päätellä, että siinä esitetyistä vaihteistoista saa energia-säästöjä kymmeniä tuhansia euroja vuodessa vaihtamalla myös niiden voiteluaineet syn-teettiseksi.

7.1.3 Koneiden modernisointi

Modernisoinnin tavoite on saada aikaan parannuksia tai uudistuksia jo olemassa olevalle koneelle tai koneyhdistelmälle, jossa parannuksia ovat mm. parempi energiatehokkuus, turvallisuus ja vähentyneet seisokit. Modernisoinnin alussa tehdään kohteen perusteellinen arviointi, jossa kiinnitetään huomiota sen yleiskuntoon. Kartoitettujen toimintojen perusteella saadaan selville, mitä parannuksia kyseinen kohde tarvitsee.

Tuotantolaitoksien ikääntyminen heijastuu kunnossapito-organisaation työmäärään. Ikääntyminen lisää häiriökorjausten osuutta ja vähentää tuotantolaitoksen tuottavuutta laitteiden ollessa pois käytöstä. Modernisoinnin hyötyjä:

- Modernisointikustannukset ovat pienemmät kuin koneen uusiminen.
- Koneen tuottavuus paranee.
- Koneen energiatehokkuus kasvaa.
- Koneen käyttöturvallisuus kasvaa.

Kun yksittäisen laitteen energiahukka on todennettu, voidaan vertailla erilaisia teknologisia ratkaisuja hukan poistamiseen. Näistä usein hyödyllisin ratkaisu toteutetaan.

Borealoksen muovitehtaan tuotantolaitoksilla on useita alle 200 kW:n kompressoreita, jotka ovat ylimitoitettuja ja toimivat 100 % kuormituksella, vaikka niiden tuottamaa tehoa ei tarvita kokonaisuudessaan. Kompressoreiden energiankulutusta pystytään parantamaan esimerkiksi muuttamalla ne taajuusmuuntajakäyttöiseksi, jolloin tarvittava tuotto pystytään säätämään käyttäjän toimesta. Kompressoreiden energiansäästöön on myös monia muita tapoja, jotka riippuvat kompressorin tyypistä, käyttökohteesta ja vaadituista käyttöolosuhteista.

Pyörivien laitteiden määräaikaistöiden tarkastelussa ilmeni, että laitoksilla on vielä useita pyöriviä laitteita ilman asianmukaista huoltostrategiaa. Laitteiden huoltostrategian puutteellisuus lisää vikaantumisen riskiä ja näin ollen katastrofaalista tuotantolaitoksen alarajoja, sen lisäksi laitteen tuotto hiipuu hiljalleen sisäisten vuotojen takia. Sisäisten vuotojen korvaamiseen tarvitaan huomattava määrä lisäenergiaa, jotta prosessi pysyy tuottavassa tilassa.

7.2 Käyttöhyödyke-energian optimointi

Käyttöhyödyke-energian potentiaalisia säästökohteita on tarkasteltu yleisellä tasolla lämmönsiirron ja lämpöhäviön osalta. Tässä insinööriyössä ei käsitellä muovitehtaiden paineilma- tai höyryverkostoa aihepiirin suuruuden vuoksi, vaikkakin niissä piilee suuri säästöpotentiaali. Mainittakoon kuitenkin, että paineilmaa käytetään työ- ja instrumentti-ilmana, verkoston paineen tuottavat kahdennetut kompressorit, jotka tuottavat paineilmaa 24 tuntia vuorokaudessa. Paineilmaverkon paineen ja kompressorin paineensäätösuhteiden säätötoiminpiteillä voidaan usein säästää merkittäviä määriä energiaa. Lisäksi paineilmaverkoissa on lähes aina vuotoja, jotka ovat puhdasta energiahukkaa. Kuvassa 11 on esitetty esimerkkinä Sarlin internetsivujen laskurilla saatu hinta paineilma-verkoston vuotoreiälle, jossa reiän halkaisija on 1 mm.

Vuotoreiän halkaisija	<input type="text" value="1"/>	mm	Vuodon hinta 230 €/a Vuotoreiän aiheuttama vuosittainen energiahukka 5 MWh/a Vuodon määrä 656 m ³ /a Vuotonopeus 0 m ³ /min
Paineilman paine	<input type="text" value="7"/>	bar(g)	
Paineilman lämpötilä	<input type="text" value="20"/>	°C	
Energian hinta	<input type="text" value="50"/>	€/MWh	
Käyttötunteja vuodessa	<input type="text" value="8760"/>	h	
Paineilmajärjestelmän ominaistehontarve	<input type="text" value="7"/>	kW/(m ³ /min)	

Kuva 11 Sarlin paineilmaverkon vuodon hinta (Paineilmavuodon hinta)

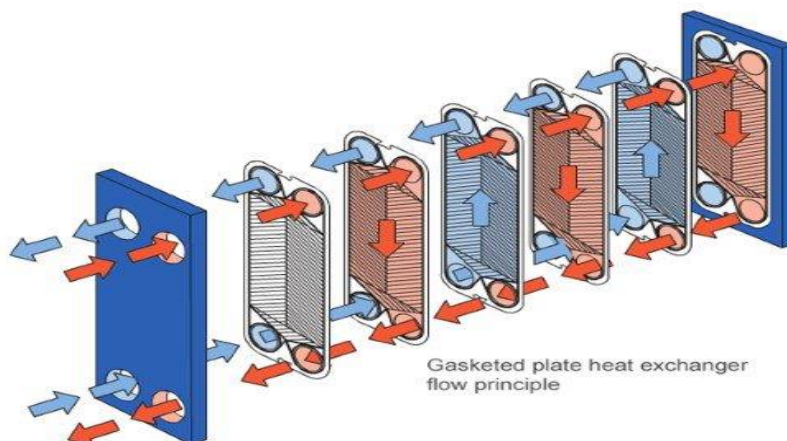
Paineilmaa ei tulisi koskaan käyttää tarpeettomaan puhdistamiseen tai laitteen pysyvään jäädyttämiseen.

Borealis tuottaa osan käyttämästään höyrystä itse ja Kilpalahden voimalaitos tuottaa loput. Höyryä käytetään lämmitykseen, mutta paikoin myös jäädytykseen. Aivan kuten paineilmavuodot, myös höyryverkoston höyry- tai lauhdevuodot aiheuttavat suuren energiahukan, varsinkin, jos lauhdetta hyödynnetään myös lämmittämiseen. Myöhemmin työssä käsitellään lyhyesti höyrylinjoista huonon lämpöeristyksen takia häviävää energiaa.

Borealiksella käytetään saattolämmityksessä sähkökaapeleita. Saattolämmityksiä ohjaa termostaatti, johon on asetettu lämmitettävän kohteen optimaalinen lämpötila. Termostaatin hajotessa saattolämmityksen lämpötilaa ei ohjaa mikään ja saattolämmityskaapelin lämpötila asetus on täysillä. Termostaatin rikkoontumisesta aiheutuu merkittäviä energiakustannuksia.

7.2.1 Lämmönsiirrin

Levylämmönsiirrin koostuu levypakasta eli sarjasta ohuita toisiinsa kiinnitettäviä lämpölevyjä, joiden päissä on virtauskanavat kuumalle ja kylmälle väliaineelle. Kuvassa 12 on havainnollistettu, miten kuuma ja kylmä väliaine kulkevat levyjen vastakkaisilla puolilla eri suuntiin. Kun nesteet kulkevat lämmönvaihtimen läpi, lämpö siirtyy kuumasta väliaineesta kylmään väliaineeseen, ja koska lämmönsiirtolevyt on kiinnitetty toisiinsa puolihiitsaamalla, juottamalla tai tiivisteiden avulla, eivät väliaineet pääse sekoittumaan. (Energiatehokas lämmönsiirto 2014–2016.)



Kuva 12 Levylämmönvaihtimen toimintaperiaate

Lämmönsiirtojen likaantuminen vaikuttaa aina energiakustannuksien kasvamiseen. Mikäli lämmönsiirtokerroin pienenee, lämpöenergia ei siirry väliaineesta toiseen tarpeeksi, jolloin tarvitaan lisälämmitystä tai –jäähdytystä. Jos lämmönsiirtokertoimen pienenemistä kompensoidaan virtausnopeuksia nostamalla, painehäviöt kasvavat. Tällöin pumppauksen vaatima energia kasvaa eksponentiaalisesti. Painehäviöt kasvavat myös pelkästään lämmönsiirtojen likaantumisen kanssa, koska poikkipinta-ala pienenee ja virtausvastus kasvaa. Likaantumisen yleisimmät syyt:

- saostuminen
- jähmettyminen
- hiukkaslikaantuminen
- kemiallinen likaantuminen
- korroosiolikaantuminen
- biologinen likaantuminen

(Energiatehokas lämmönsiirto 2014–2016.)

Muuttuja	Saostuminen	Jähmettyminen	Hlukkanlikaantuminen	Kemiallinen likaantuminen	Korroosio	Biologinen likaantuminen
Lämpötila	↑↓	↓	↑↓↔	↑↓	↑↓	↑↓↔
Virtausnopeus	↓↔	↑↓	↓	↓	↑↓↔	↑↓
Liuoksen ylikylläisyys	↑	↑				
pH	↑		↑↓		↑↓	↑↓
Epäpuhtaudet		↓				
Ylim. aineen konsentraatio	↑	↑	↑			
Pinnan karheus	↑	↑	↑↔		↑↔	↑
Paine	↔	↔		↑	↑	↑↓
Happipitoisuus	↔	↔		↑	↑	↑↓

Kuva 13 Eri suureiden vaikutus nestevirtauksen likaantumiseen. (Shah ja Sekulic 2007)

Muovilaitosten päälämmönsiirtimet sijaitsevat merivesitunnelissa, ja niiden jäädyttävä nesteenä toimii merivesi. Lämmönsiirtimiä on 4 kpl jokaiselle tuotantolaitokselle, ja lämmönvaihtimia operoi käyttöhyödyke, joka vastaa tuotantolaitosten jäädytysenergian saatavuudesta. Tuotantolaitosten tarvitsemaa jäädytysenergian määrää ei pystytä mittaamaan, joten merivesipumppu käy vakionopeudella ja tuottaa 19 000 m³/h, tarvittava jäädytysenergia määrä säädetään ohituslinjan kuristusventtiilillä ja ylijäävä merivesi ohjataan takaisin mereen. Lämmönvaihtimien likaantumista estävänä tekijänä on karkea suodatin ennen merivesipumpun imua, joka kerää isoimmat roskat talteen. Meriveden mukana tuleva humus ja pienet partikkelit päätyvät lämmönvaihtimen sisälle, joka edesauttaa likaantumista. Kuvassa 14 on esitetty merivesilinjan pinnoitteen irtoaminen ja muu merestä tullut roska. Esimerkiksi PE2-tuotantolaitoksen levylämmönvaihtimia pestään mekaanisesti 4 – 6 kertaa vuodessa likaantumisen aiheuttamien seurausten takia, ja yksi pesukerta maksaa n. 3 00–4 000 €.



Kuva 14 Merivesilinjan putki kuvattuna sisältäpäin

Tämän lisäksi tuotantolaitoksilla on useita lämmönsiirtimiä, joihin pätee samat ongelmat. Tuotantolaitoksien lämmönsiirtimet likaantuvat usein varsinkin lämpimillä keleillä. Lämmönsiirtimien jäähdytysveden puoli ei likaannu, sillä siinä on suljettu kierto. Prosessiveden puoli likaantuu herkemmin, koska siinä on avonainen kierto. Prosessista pääsee lämmönsiirtimen kiertoon epäpuhtauksia ja pellettejä, jotka aiheuttavat likaantumista ja kulumista. Tuotantolaitoksien lämmönsiirtimien energiankustannukset eivät paljoa likaantumisesta nouse, mutta sen pesemisestä aiheutuu huomattavia kustannuksia.

Merivesiputkien sisällä kulkevat roskat ja epäpuhtaudet kulkeutuvat lämmönvaihtimiin, mikä aiheuttaa likaantumista, kulumista ja tukkeutumista. Merivesilinjan putkien pinnoitus tulisi tarkastaa ja korjata rikkoontuneiden osalta. Pumpun imupuolelle pitäisi rakentaa parempi suodatusjärjestelmä kuin "välppi" humuksen, rapujen ja muun roskan keräämiseksi.

Merivesipumppu käy vakionopeudella, vaikka kaikkea sen tuottamaa jäähdystehoja ei tarvita. Näin ollen iso osa pumpatusta vedestä johdetaan takaisin mereen ohituslinjan kautta. Viimeisen vuoden aikana ohituslinjan kautta takaisin mereen johdatetun veden pumppaaminen maksoi n. 111 800 €. Lasku ja lähtöarvot on esitetty liitteessä 2. Energiasäästön saavuttamiseksi tulisi merivesipumpun ohjausta muuttaa siten, että sen tuottoa pystytään säätämään, ja ohituslinja sulkea kokonaan. Sen lisäksi jokaisen tuotantolaitoksen jäähdytysvirtoja pitää pystyä säätämään omanaan.

Tuotantolaitoksien lämmönsiirtimien prosessiveden puolelle pitäisi rakentaa parempi suodatusjärjestelmä, jolla estettäisiin likaantumista ja kulumista. Paremmalla suodatusjärjestelmällä säästettäisiin likaantuneen lämmönsiirtimen pesukuluja.

7.2.2 Lämmöneristys

Lämmöneristyksen tehtävä on muodostaa eristettävän kohteen ja sen ulkopuolen välille lämpöä eristävä kerros, jotta kohteen haluttu lämpötila voidaan ylläpitää mahdollisimman vähällä energiankäytöllä. Energiakustannuksien lisäksi huono eristys edesauttaa kohteen nopeampaa kulumista, sillä se lisää termisiä jännityksiä ja kulumista. Eristämättömien kohteiden kuumat pinnat, kuten venttiilit ja putket ovat turha työturvallisuusriski. (Teollisuuden tekninen eristys & energiatehokkuus 2015–2016.)

Lämmöneristys ei pelkästään minimoi lämpöhäviöitä. Eristys myös varmistaa prosessin toimivuuden, sillä se mahdollistaa halutun lämpötilan ylläpitämisen. (Teollisuuden tekninen eristys & energiatehokkuus 2015–2016.)

Puutteellinen lämmöneristys lisää energiakulutusta huomattavasti, koska kohteen lämpöenergia haihtuu sen ympäristöön. Eristeiden kunnolla on suuri merkitys lämmöneristyksessä, märkä ja jäinen eriste johtaa lämpöä monta kertaa enemmän kuin kuiva eriste. (Teollisuuden tekninen eristys & energiatehokkuus 2015–2016.)

Tuotantolaitoksilla on useita kohteita, joiden lämmöneristys on puutteellisella tasolla kuten kuvassa 15 on havainnollistettu.



Kuva 15 Puutteellinen lämmöneristys

D-201B ja C-reaktoreiden saattolämmityksien eristeet puretaan ja laitetaan kierrätykseen reaktorin avauksen yhteydessä ja uudet eristeet asennetaan kasausvaiheessa. Eristeiden purku ja asennus kustantavat keskimäärin n. 1 695 €/kerta kuten liitteessä 4 on esitetty. LDPE-laitoksen molempien yksiköiden reaktoreiden saattolämmityksien päälle rakentamalla koteloidut eristeet, säästyisi eristeiden materiaalikustannukset seuraavilta kerroilta. Myös muiden jatkuvasti huollossa olevien kohteiden eristeiden koteloinnilla säästyisi huomattava määrä eristemateriaalia.

Tuotantolaitoksilla on paljon puutteellisia eristyskohteita, joiden korjaamisella saavutetaisiin merkittäviä energiasäästöjä. Esim. eristämättömän 10 baarin höyrylinjan lämpöhäviö on 413 W/m, Paroc eristevalmistajan internet, -sivuilla olevan laskeminen mukaan. Laskelma on esitetty liitteessä 3. (Paroc-calculus)

8 Kehityskohdelista

Työn havaituista kohteista, joiden energiankulutusta voidaan kunnossapidon keinoin optimoida, on tehty kehityskohdelista. Lista on esitetty liitteessä 5.

9 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli kartoittaa yleisellä tasolla, miten kunnossapidon keinoin voidaan optimoida energiankäyttöä. Kunnossapidon toimesta ei vain huolleta rikkiäisiä laitteita, vaan vaikutetaan tuotannon käytettävyyteen ja tuottavuuteen pitämällä laitteet ja järjestelmät toimintakuntoisena.

Työssäni perehdyin kansainväliseen muovia valmistavaan tehtaan Borealis Polymers Oy:n toimintaan. Sain mahdollisuuden perehtyä yrityksen kunnossapitokäytäntöön. Osa tiedoista on salassapitovelvollisuuden alaisia, joten ne on sijoitettu työn liitteisiin. Luin myös alan kirjallisuutta kunnossapidosta ja energiankulutuksesta. Sain hyvän kokonaiskuvan muoviteollisuuden tuotannon kunnossapitoon liittyvistä prosesseista.

Yrityksen kunnossapitotoiminnot ovat selkeitä, mutta ehdotan muutamia energiansäästökohteita erilaisista käyttötarkoituksista ja toimintaympäristöistä, joiden vuosittainen energiankulutus on merkittävä. Tästä esimerkkinä: muuttamalla merivesipumpun ohjauksen säädettäväksi, jolloin ohituslinja voitaisiin sulkea kokonaan, saataisiin huomattavaa säästöä. Ohituslinjan kautta takaisin mereen johdatetun veden vuosittainen pumpauskustannus on n. 110 000 € vuodessa. Tietenkin olisi huomioitava investointikustannus ohjauksen muutokselle.

Insinööriyön lopputuloksista on luotu kehitysehdotelmalista ja tulokset raportoitiin myös Borealoksen EIM järjestelmään, missä kehitysehdotukset menevät jatkokäsittelyyn. Työn laajasta aihealueesta huolimatta työ eteni loppuun saakka aikataulussa ja onnistui hyvin.

Lähteet

Agustiady, T. K. & Cudney, E. A. 2015. Industrial Innovation Series: Total Productive Maintenance: Strategies and Implementation Guide. CRC Press.

Borealisgroup 2019. Verkkodokumentti. www.borealisgroup.com. Viitattu 20.3.2019.

Energiatehokas lämmönsiirto 2014–2016. Verkkodokumentti. https://www.motiva.fi/files/11078/Energiatehokas_lammonsiirto_opas.pdf. Viitattu 15.3.2019.

Fitch, E. C. 2013. Proactive maintenance for mechanical systems. USA: Elsevier & technology.

Järviö, J. 2007. Kunnossapito. 4. uudistettu painos. Helsinki: KP-Media.

Mekaniikka & voiteluaineet. Verkkodokumentti. http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_e03_voiteluaineet_voiteluoljyt.html. Viitattu 31.3.2019.

Mobley, R. K. 2002. An Introduction to Predictive Maintenance. Burlington: Butterworth-Heinemann.

Mobley, R. K. 2004. Maintenance Fundamentals. Burlington: Butterworth-Heinemann.

Mobley, R. K. 2008. Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers. Butterworth-Heinemann.

Moubray, J. 1999. Reliability-centered maintenance (2.painos). New York: Industrial press inc.

Paroc-calculus. Verkkodokumentti. https://calculus.paroc.com/paroc-calculus/index_fi.html#/. Viitattu 6.4.2019.

Reyes-Picknell, J. R. 2017. Reliability centered maintenance- reengineered. USA: Taylor & Francis group.

Paineilmavuodon hinta. Verkkoliite. <https://www.sarlin.com/ty%C3%B6kalupakki/paineilman-laskimet/vuodon-hinta/>. Viitattu 9.4.2019.

Shah, R. K. & Sekulić, D. P. 2007. Fundamentals of heat exchanger design. Hoboken, NJ: Wiley.

SKF-laakerien kunnossapito 2016. Verkkodokumentti. https://www.skf.com/binary/123-290853/SKF-laakerien-kunnossapito---SKF-bearing-maintenance-handbook---10001_1-FI.pdf. Viitattu 28.3.2019.

Smith, D. J. & Smith, D. 2011. Reliability, Maintainability and Risk. Butterworth-Heinemann.

Teollisuuden tekninen eristys & energiatehokkuus 2015-2016. Verkkodokumentti. https://www.motiva.fi/files/12253/Teollisuuden_tekninen_eristys_energiatehokkuus.pdf. Viitattu 2.4.2019.