



OSIENPESUN KEHITTÄMINEN METALLITEOLLISUUDESSA

Juha Luukila

Tampereen ammattikorkeakoulu
Opinnäytetyö
Huhtikuu 2012
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Modernit tuotantojärjestelmät

JUHA LUUKILA: Osienpesun kehittäminen metalliteollisuudessa

Ohjaajan nimi: Kaarlo Koivisto
Tilaajan nimi: Kiiltoclean Oy
Opinnäytetyö 39 sivua, josta liitteitä 4 sivua
Huhtikuu 2012

Tämän tutkintotyö käsittelee teollisuuden osienpesukoneiden energiankulutuksen alentamista käyttöveden lämpötilaa muuttamalla. Työvaiheen merkitys läpimenoaikaan, energiankulutukseen ja käytetyn pesukemian hävitykseen on kokonaisuutena merkittävä kuluerä rahallisesti ja ajallisesti mitattuna.

Työn tarkoituksena oli kartoittaa samanlaisissa olosuhteissa toimivien osienpesukoneiden energiankulutusta ja siihen olennaisesti liittyvän pesuaineen mukautuvuutta erilaisiin lämpötiloihin kulloisenkin puhdistustarpeen mukaan. Lisäksi työssä tutkitaan mahdollisuutta löytää toimiva energialaskuri, jolla voidaan todentaa lämpötilan muutoksen tuoma hyöty käyttäjän näkökulmasta katsottuna.

Arviointi perustuu teollisuudessa tehtyihin mittauksiin ja laskelmiin sekä käyttäjien mielipiteisiin valmiiden tuotteiden halutusta läpimenoajasta.

Asiasanat: Energiankulutus, osienpesukone, läpimenoaika

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical Engineering
Modern production systems

JUHA LUUKILA: Development of component washing in metal industry

Supervisor's name: Kaarlo Koivisto
Customer's name: Kiiltoclean Oy
Bachelor's thesis 39 pages, appendices 4 pages
April 2012

This thesis concerns to reduction of energy consumption of industrial parts cleaning machines by changing the water temperature. The importance of this process is financially taken into account in order to measure lead time of the production, consumption of energy and also disposal of waste chemicals.

The purpose of this study was to investigate energy consumption levels of industrial parts cleaning machines used in similar circumstances and also to examine how detergents reacted in different cleaning requirements when the washing temperature was altered. Another aim was to develop the functional formula for the energy calculations to verify benefits of lower temperatures from manufacturer's point of view.

The evaluation is based on the industrial measurements, calculations and machine operator's estimations about desired lead time of finished products.

Key words: Energy consumption, industrial parts cleaning machines, lead time

SISÄLLYS

JOHDANTO	5
Teollisuuspesun teoriaa	8
1.1 Pesuihin vaikuttavat tekijät	8
2.1.1 Lämpö	9
2.1.2 Pesutekniikka	10
2.1.3 Pesuaika	13
2.1.4 Pesukemia	13
1.2 Pesukoneen lisälaitteet	15
TYÖN KUVAAMINEN	18
1.3 Työn suunnittelu	18
Mittausvälineet	20
Mittaustavat	20
TULOKSET 21	
1.4 Energiankulutukset	21
4.1.1 Energiatase	21
4.1.2 Suorat kulutusmittaukset	25
1.5 Työkappaleiden läpimenoajat	26
1.6 Jätevesien käsittely	27
1.7 Kokonaiskustannukset pesukoneen käytölle	28
TULOSTEN TARKASTELU	31
LIITTEET	34
Liite 1. Laskentakaavat energiataselaskuille	35
Liite 2. Laskentakaavat virrankulutusmittauksille	36
Liite 3. Laskuri kulutukselle	37
Liite 4. Taulukoita pesukoneilta	39

JOHDANTO

Tämän työn toimeksiantaja on Kiiltoclean Oy:n teollisuusosasto, joka kuuluu osana Kiilto Family- konserniin. Konserniin kuuluu kaikkiaan kuusi yhtiötä, jotka toimivat seuraavilla aloilla:

Kiilto Oy	(kemianteollisuuden tuotteet)
KiiltoClean Oy	(hygienia- ja puhtausala)
Kiiltoplast Oy	(muovipinnoitetut tuotteet)
Metalpak Oy	(metallipakkauksien valmistus)
Intermedius Oy	(eri teollisuudenaloille tarvikkeiden valmistus)
Ramport Oy	(huonekalu- ja puusepänteollisuuden tarvikkeet)

Konsernin liikevaihto on noin 150 miljoonaa euroa ja henkilökuntaa eri yhtiöissä on noin 800.



Kuva 1 Kiillon tuotantolaitokset Lempäälässä (Kiilto Oy)

Työn tavoitteena on löytää erilaisia vaihtoehtoja pesuaineiden toimivuuteen nykyisillä energiatalouden kiristyvillä markkinoilla.

Ongelmallisinta pesuaineiden osalta on alle 55 °C:n lämpötilat vesialtaissa suurentuneen bakteerikannan muodostumisen vuoksi.

Tärkeintä tutkimuksessa oli saada aikaan laskelma, jolla osaltaan pystytään osoittamaan kustannusten aleneminen käytettäessä pesulämpötilaltaan viileämpiä vesiä. Olennaista

oli kuitenkin se, että pesuprosessia ei tarvitse ajallisesti pidentää halutun puhtaustason saavuttamiseksi.

Lämpötilan merkitys kappaleissa on noussut merkittävään asemaan tämän päivän teollisuudessa hyvinkin tarkkojen mittausten vuoksi, jotka useimmiten suoritetaan välittömästi pesun jälkeen. Jo muutaman asteen lämpötilan vaihtelu tuo epätarkkuutta kappaleiden mittauspöytäkirjoihin.

Osaltaan koneiden muodostama höyry on myös haittatekijä työntekijöiden joutuessa ottamaan lämpimät kappaleet pois pesukoneen kammioista höyrynpölyn jälkeen. Kappaleiden pintalämpötilat vaihtelivat tutkimuksen yhteydessä 40-80 °C:n välillä.

Tutkintotyöhön liittyvät mittaukset on suoritettu useammalla konepajalla tuotannon eri pesujen vaiheissa. Yhteisenä nimittäjänä pesuissa on ollut samantyyppiset pesukoneet ja -aineet. Yrityksissä oli tavoitteena pestä kahdella koneella kappaleita eri lämpötiloissa, jotta saadaan selville energiankulutuksen eroavaisuudet. Paikallisen verkostoveden lämpötila on jätetty huomioimatta tässä tutkimuksessa, mikä osaltaan vaikuttaa hiukan lopputulokseen.

Selvityksessä on huomioitu pesuvesien lämpötilat, pesuvaiheen kesto, käytetyn pesuaineen toimivuus ja taloudelliset kysymykset.

Lämpötila pesukoneiden altaissa on viime vuosina muuttunut alemmaksi, johtuen useimmiten pestävien kappaleiden seuraavan työvaiheen tarkastuksen tarkoista kriteereistä. Lämpötilan merkitys on oleellinen tehtäessä valmiiseen kappaleeseen mittauksia, joiden tarkkuus liikkuu jopa tuhannesosissa.

Teollisuuden pesut eivät useinkaan ole mukana kokonaisuudessaan läpimenoajoissa, vaikka niistä koostuu pitkiäkin aikoja kappaleiden valmistuksessa. Lisäksi käytetyn kemian hävitys muodostaa isohkon kuluerän yrityksen kustannuksissa. Tähän tekijään vaikuttaa paljolti se, miten paikallinen jätevesiviranomainen määrittelee hävitettäväksi käytetyn pesuliuoksen. Näitä tekijöitä sivutaan myös tässä tutkintotyössä ja haetaan tekijöitä, joilla voidaan vaikuttaa näihin kulueriin.

Pääosin pestävät kappaleet oli tehty nuorrotus- ja hiiletysteräksistä, ja ne olivat työstön tai varastoinnin jäljiltä.

Työhön liittyvissä asioissa olen saanut tehdä mittauksia ja testejä Agco Sisu Power Oy:n, Moventas Oy:n, Wihuri Oy Witraktorin ja Katsa Oy:n pesukoneilla. Tutkimuksen alullepanijana toimi Kiiltoclean Oy:n teollisuusosasto. Haluan esittää suuret kiitokset ko. yritysten yhteyshenkilöille tähän tutkimukseen saamastani asiantuntija-avusta ja sen mahdollistamisesta.

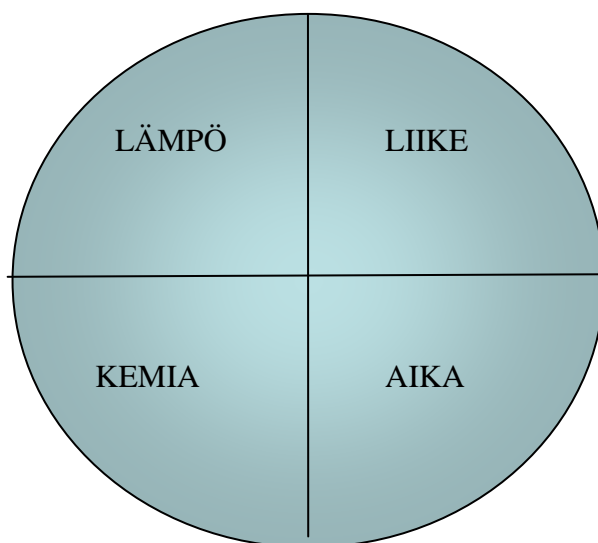
Teollisuuspesun teoriaa

Teollisuuspesujen asemaan on tärkeää kiinnittää nykyistä enemmän huomiota tämän päivän konepajateollisuudessa. Yrityksien tarve panostaa valmiiden tuotteiden ja osien puhtauteen on kasvanut viime vuosien aikana merkittävästi. Pesuille on asetettu tavoitteeksi antaa materiaalien pinnoille lopullinen tai väliaikainen puhtaustaso. Luonnollisesti myös energiansäästö ja ympäristöasiat ovat asettaneet omat vaatimuksensa tähän prosessiin.

Pesukoneiden kehitys on merkittävästi muuttunut viime vuosina. Vanhemmat mallit, jotka useimmiten on varustettu perinteisellä releohjauksella on siirretty vähemmän tarkkoihin työvaiheisiin " välipesukoneiksi". Uudemmat koneet logiikkaohjauksineen mahdollistavat monipuolisemmat mahdollisuudet suorittaa useampia pesuohjelmia tarpeen mukaan.

1.1 Pesuihin vaikuttavat tekijät

Pesuprosessiin vaikuttaa neljä tekijää, jotka ovat lämpötila, aika, liike ja kemia. Nämä osatekijät ovat isossa osassa hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi. Tekijät voidaan kuvata ns. pesuympyrällä (kuva 2)



Kuva 2 Pesuympyrä (KiiltoClean Oy)

Paras mahdollinen lopputulos saavutettaisiin luonnollisesti kohottamalla kyseiset arvot huippuunsa, mutta se ei olisi järkevää taloudellisesti saati yleensäkin mahdollista. Tärkeimmän tekijän hyvän lopputuloksen aikaansaamiseksi muodostavat pesuun liittyvien parametrien oikea suhde, joka useimmiten on haettava tapauskohtaisesti.

Kokonaiskuvan aikaansaamiseksi on hyvä käydä läpi näiden tekijöiden toiminnallinen merkitys ja vaikutus pesutapahtumaan.

2.1.1 Lämpö

Pesulämmön merkitys pesutapahtumassa näyttelee isoa osaa kappaleiden puhdistuvuuden osalta. Lämmönsäätöön vaikuttavia tekijöitä ovat likatyypit, joita halutaan pinnalta poistaa. Esimerkiksi pinnoilta poistettava öljy vaatii yli 55°C lämpötilan notkistuakseen pinnalla ja siirtyäkseen liuenneena pesukemikaalien mukana pois kappaleen pinnalta. Luonnollisesti mitä kiinteämpää/ palaneempaa öljy on vaatii se myös korkeamman pesulämpötilan, enimmillään 90°C. Osaltaan lämpötilan merkitys vaikuttaa myös bakteerien kasvuun altaissa, joka on matalissa lämpötiloissa ja miedoissa pesuliuoksissa otollinen ympäristö kasvuston alustaksi. Yleisohjeena on annettu pesuainetoimittajalta raja-arvona yli 55°C:een lämpötila tämän kiusallisen haitan poistamiseksi ilman biosidien lisäystä.

Oma merkityksensä lämmöllä on myös esimerkiksi laakerisovituksissa, joissa käytetään kappaleita korkeassa lämpötilassa (esim. 80°C) pesukoneessa onnistuneen "krympin" aikaansaamiseksi.

Toinen tärkeä tekijä pestävissä kappaleissa on korroosioriski pestyjen kappaleiden pinnalla. Riittävän korkealla lämpötilalla ja pitkällä pesuajalla saadaan kappaleen pinnasta hyvin nopeasti haihdutettua kosteus pois pesutapahtuman jälkeen. Tämä on mahdollista silloin, kun kappaleen jatkokäsittely tapahtuu jäähtymisen jälkeen. Korroosioriski on poistettavissa myös kemian avulla käyttämällä riittävän korkean pH:n omaavaa kemiaa (pH>12), joka muodostaa kappaleen pinnalle suojaavan kalvon tai vaihtoehtoisesti inhibiittien avulla. Tämän käsittelyn tarkoituksena on antaa hyvin lyhytaikainen suojaus esimerkiksi välivarastoitaessa tuotetta.

2.1.2 Pesutekniikka

Kuvan 1 mukaisesti pesuympeyrän yksi tekijä on liike, jolla tarkoitetaan tekniikkaa millä pesu suoritetaan.

Teollisuudessa suoritetaan monilla eri menetelmillä, joista yleisimpiä ovat upotuspesu, kammiopesu, ultraäänipesu ja korkeapainepesu. Ehkä yleisin käytössä oleva pesumenetelmä on kammiopesu, jota tässä työssä tarkastellaan.

Kammiopesukoneet jaetaan yksi-, kaksi-, ja kolmevaiheisiin koneisiin. Nimitys tulee koneissa käytössä olevista allasmääristä. Pesutapahtuma voi pitää sisällään esim. kolmevaiheisessa koneessa pesun ja kaksi huuhtelua. Altaiden tilavuudet voivat vaihdella noin sadan litran tilavuudesta aina useampaan tuhanteen litraan.

Altaissa on myös käytössä lämmitysvastukset, joiden merkitys pestävien kappaleiden puhdistuvuuteen on suuri.

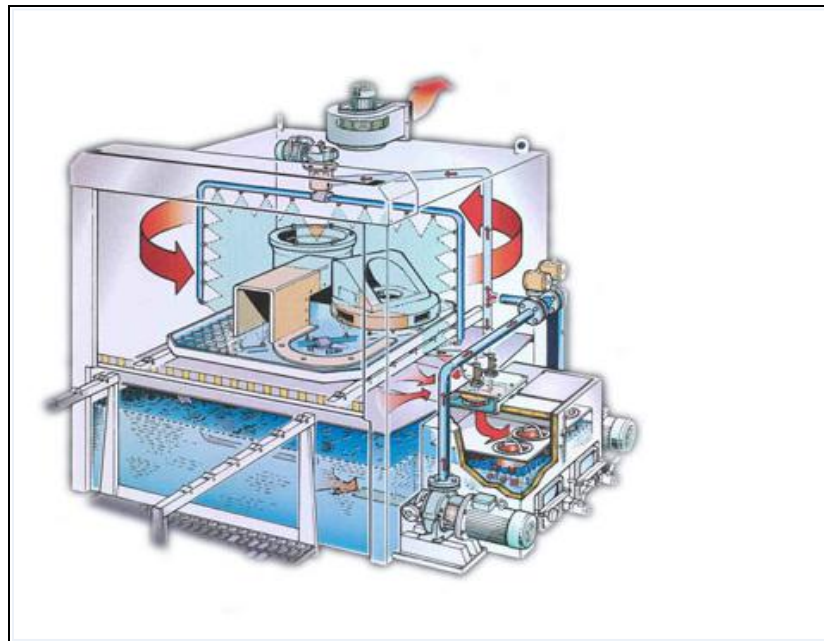
Altaiden liuosten suihkutusta suoritetaan pumpun avulla lineaarisesti pesukammion sivuilla edestakaisin liikkuvilla tai pyörivillä suihkuputkilla konemallista riippuen. Suihkuputkien paine on säädettävissä tarpeen mukaan, mikä osaltaan tehostaa pesun vaikutusta lopputulokseen. Yleisesti hankintaa suoritettaessa tulee kiinnittää huomiota pestävien kappaleiden muotoon, jotta valitaan oikeanlainen suihkutuskoneeseen.

Esimerkiksi hammaspyörien pesuun toimii akselinsa ympäri pyörivät suihkuputket huomattavasti tehokkaammin kuin lineaarisesti pesukammion sivuilla liikkuvat.

Suihkuputkien varsissa on rivi pesusuuttimia, joiden tehtävänä on suunnata suihku oikeaan kohteeseen tarpeen mukaan. Pesusuuttimia on useita eri malleja suihkun suuntaamiseksi oikean muotoisena kohteeseensa.

Yleisin kammiopesuissa käytettävä suutin on viuhkasuutin. Nimensä mukaisesti suihku on litteä ja leveää. Viuhkan kulmasta riippuen saadaan laajalta alalta pesevä suihku tai hyvin pistemäinen pienemmällä kulmalla.

Pesukoneessa olevat putkistojen suutinrivistöt pyritään suuntaamaan kohti kappaletta siten, että saadaan mahdollisimman tasainen pesuaine-emulsion kosketus koko kappaleen pintaan.



Kuva 3 Kaaviokuva kammiopesukoneesta (Aqua Clean)

Pesukoneen toimintaa ohjataan logiikalla, jolla säädetään vaiheistus ja aika pesuohjelmalle. Ohjelmalla vaikutetaan pesupumpun, valutuksen ja poistopuhaltimen ajoitukseen. Moottorit, jotka pumppuja pyörittävät ovat kolmevaiheisia ja niiden koko koneen koosta riippuen vaihtelee 2 kW:sta yli 10 kW:iin. Lämmitysvastukset puolestaan toimivat termostaatin antaman käskyn pohjalta.



Kuva 4 Osienpesukoneen sähkötaulu

Muista teollisuudessa käytettävistä pesumenetelmistä mainittakoon upotuskäsittely, jonka tekniikka perustuu peräkkäisiin pesu- ja huuhtelualtaisiin. Nämä linjat on useimmiten automatisoituja ja kappaleiden siirto tapahtuu kylvystä toiseen kehikkoon kiinnitettynä nostimien avulla.

Tärkeimpänä tehokkaan pesun kriteerinä tällä menetelmällä on tarkka seuranta pH:n ja pesuainepitoisuuden suhteen. Lisäksi oikeanlaisen pesukemian valinnalla on suuri merkitys hyvään lopputulokseen. Kylvyn on pystyttävä sitomaan kappaleista irtoavat epäpuhtaudet itseensä siten, että ne eivät tartu uudestaan kiinni nostovaiheessa. Menetelmän ongelmat on kylpyyn konsentroituvat epäpuhtaudet ja kylvyn lämpötilan vaihtelujen tuomat vaahtoamisongelmat.

Yleisimmin tätä menetelmää käytetään pintakäsittelylinjoilla, joissa altaiden lukumäärä nousee usein yli kymmeneen.

Ultraäänipesu puolestaan sopii kappaleille, jotka ovat monimuotoisia tai sisältävät runsaasti puhdistettavia reikiä. Sen toiminta perustuu ultraäänilähtetimen muodostamiin kaasukupliin altaassa. Kaasukuplat luhistuvat ja lähettävät voimakkaita paineiskuja pestävään kappaleeseen. Tavallisimmin ultraäänellä pestään hienomekaniikan ja moottorien osia.

2.1.3 Pesuaika

Kuten muutkin ympyrän osiot on pesuaika hyvin paljon kiinni siitä mitä pestään ja millä pestään. Yksiselitteistä aikaa ei voida antaa vaan se on haettava kullekin prosessille. Pesujen kestot vaihtelevat yleensä jokusesta kymmenestä sekunnista useisiin minuutteihin. Oma merkityksensä ajankäytöllä on myös, jos koneessa on käytössä yksi tai useampia huuhtelualtaita. Huuhtelun tarkoituksena on poistaa pesuainejäämät ja kappaleen pinnalle jääneet likapartikkelit. Tässä työvaiheessa kappaleiden puhtaustasoon on suuri merkitys huuhtelualtaiden koolla ja tilavuusvirralla. Viimeisenä toimenpiteenä koneellisessa pesussa on höyrynpisto, jolla ohjataan aerosolimuodossa oleva pesuaine ja lämmön muodostama höyry pois pesukammioista. Näiden työvaiheiden oikealla ajastuksella saadaan aikaan hyvä ja puhdas pinta.

Jos koneessa on ohjelmoituna esim. yksi pesuvaihe, kaksi huuhtelua ja yksi höyrynpisto voi ajallisesti kulua kappaleen pesuun minimissään n. 3 min. Maksimiaika puolestaan isoilla kappaleilla on noin 20 minuuttia.

2.1.4 Pesukemia

Kemian valintaan vaikuttaa monia tekijöitä. On tärkeää tietää pestävä materiaali, veden pH ja kappaleesta poistettavat epäpuhtaudet. Lisäksi huomioon otettavia tekijöitä ovat pesun osalta mm. pumpun teho, tilavuusvirta, pesuaineen annostelu, altaiden tilavuudet, suihkutuspaineet, huuhteluiden määrä ja pesukemian seuranta.

Yllämainituista tekijöistä voidaan rakentaa taulukko arvioimalla kyseiset tekijät ja vaihtoehtoinen pesukemia. Tällä tavalla päästään tarkastelemaan valinnassa olevaa tuotetta tai tuoteryhmää ja sen toimivuutta prosessissa. Taulukon avulla voidaan kartoittaa valintaprosessissa oikeanlainen tuote kulloiseenkin pesutarkoitukseen. Taulukon 1 mukaisesti eniten tähtiä saanut tuote olisi Pilotech B3.

Taulukon tiedot koostuvat pääosin käyttökokemuksiin ja antavat hyvän lähtökohdan onnistuneen valinnan tueksi.

Taulukko 1 Pesukemian valinta-analyysi

Tuote	Materiaali valurauta	Käyttöveden pH 7,4	Likatyypit: Työstöemulsio
Pilotech B1	***	**	*
Pilotech B3	**	***	***
M 40	*	*	*

Pestävän materiaalin ominaisuudet rajoittavat kemian soveltuvuutta pinnoille. Esimerkiksi alumiinin osalta voimakkaasti alkaliset aineet aiheuttavat kappaleen pintaan oksidikerroksen (tummentuman), kun vastaavasti teräspinnoille se on mitä parhaiten soveltuvin.

Käytettävän verkostoveden laatu vaikuttaa lopputulokseen siinä olevien suolojen, humuksen yms. tekijöiden muodossa. Valittavan kemikaalin pitää poistaa kyseessä olevia epäkohtia.

Poistettavan lian määrittäminen vaikuttaa osaltaan siihen mistä päästä pH- taulukkoa aine valitaan.

Koneesta saatavat parametrit puolestaan vaikuttavat pesukemian vaahtoavuuteen, koosapysymiseen, korroosionmuodostumiseen ja nesteen rauhoittumisaikaan.

Valmistaja antaa kylvyssä käytettävälle aineelle tietyt toimivuusparametrit, joiden sisällä aine toimii parhaiten. Näiden seuranta määrävällein antaa tietoa prosessin toimivuudesta. Normaaleja toimenpiteitä on pH:n seuranta liuskoilla tai mittarilla. Tällä tiedolla pystytään määrittämään mm. altaan liuksen vapaa happo- tai emäspitoisuus, jolla on merkitystä kylvyn vaihtoväliin.

Toinen tärkeä tekijä seurannassa on pesuainepitoisuuden mittaaminen, joka tapahtuu yleisimmin titraamalla. Menetelmässä otetaan näyte kylvystä, johon lisätään hiukan indikaattoriliuosta. Tämän jälkeen vaihtoehtoisesti pH-taulukon vastapuolelta olevaa liuosta lisätään valmistajan ohjeen mukaan, kunnes saavutetaan näytteessä neutraali tilanne (pH 7). Saatu ml- määrä kerrotaan annetulla titrauskertoimella. Saatu tulos on pesukemian pitoisuusprosentti.

Happamat pesuaineet (pH < 7) soveltuvat parhaiten erilaisten epäorgaanisten likojen sekä oksidien poistoon pinnoilta. Yleisesti nämä happamat pesuaineet sisältävät hapoista mm. fosfori-, typpi-, suola- ja orgaanisia happoja. Esimerkkinä näiden happojen käy-

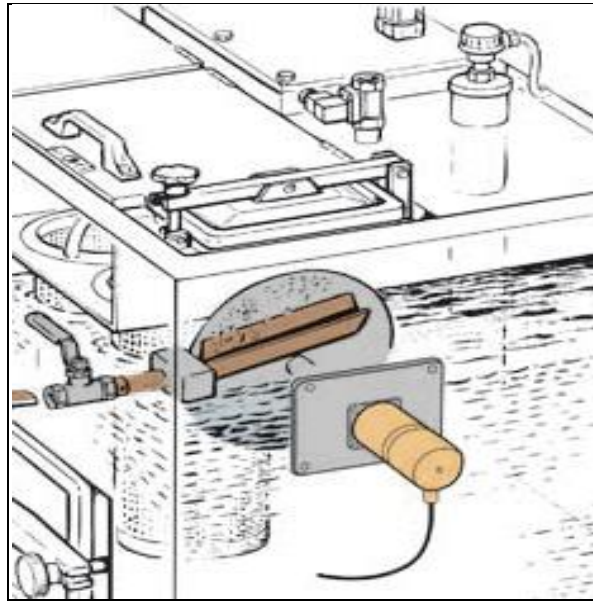
töstä mainittakoon pulverimaalauslinjojen pesuissa käytettävä fosforihappopohjainen pesuaine.

Valtaosa teollisuuden pesukoneissa käytettävistä aineista on emäksisiä pesuaineita eri pH alueilta (>7 - 14). Voimakkaasti emäksiset eli alkaliset pesuaineet (pH>11,5) on tarkoitettu öljyn, hiontavahojen, varasto-pölyn ja -rasvojen poistoon. Alkalipesujen lämpötila raskaampaa likaa poistettaessa liikkuu rajoissa 60-90 °C. Tärkeitä raaka-aineita alkalisissa pesuaineissa ovat pH-säätteet natriumhydroksidi, natriumkarbonaatti, kaliumhydroksidi natriummetasilikaatti.

1.2 Pesukoneen lisälaitteet

Hyvän tuloksen aikaansaamiseksi pelkän pesukylvyn seuranta ei riitä, vaan vaaditaan myös muuta laitteistoa kokonaisuuden toimivuuteen. Lisälaitteiston tarve tulee muodostaa halutun puhtaustason ja pesujärjestelmän mukaan.

Ehkä tärkein poistettava ylimääräinen aine on kappaleiden mukanaan tuoma öljy, joka kerätään pesualtaan pinnalta esimerkiksi öljyskimmerin avulla. Yleisin käytössä oleva keräin on kiekko, joka asetetaan toimimaan silloin, kun altaan virtaus on rauhoittunut ja öljy pääsee vapaasti nousemaan altaan pinnalle. Tämä omalla moottorilla varustettu kiekko pyörii akselinsa ympäri ja on asetettu puoliksi altaan pinnan alapuolelle. Kiekon sivuilla on kaavarit, jotka poistavat kiekon keräämän öljyn poistoputkiston kautta öljyastian. Keräimen toimintaa voivat häiritä kuitenkin veteen emulgoituvat öljyt, jotka eivät luonnollisestikaan nouse veden pintaan toivotulla tavalla. Toinen epävarmuustekijä on, jos pintaan muodostuva öljykalvo ei pysy kasassa esimerkiksi pesukemian vuoksi. Tässä tapauksessa pesuaine itsessään sitoo öljyn altaan koko tilavuuteen, eikä vapauta sitä pinnalle eli tapahtuu emulgoituminen.

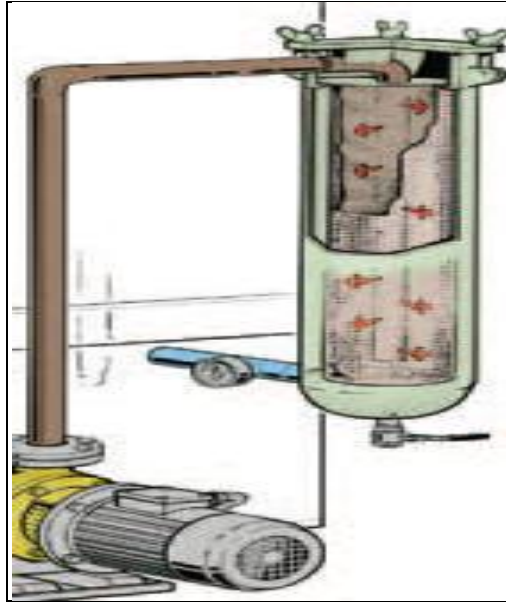


Kuva 5 Öljynkeräin (Aqua Clean Oy)

Yksi ongelmista on kappaleesta irtoavat metallipartikkelit. Ne voivat olla koneistuksen jäljiltä lastuja, hiontapölyä tai vaikkapa suojatulppia. Nämä ei-toivotut partikkelit voivat muodostaa ongelman pesukoneen lautasventtiileissä, jotka ohjaavat pesuvaiheissa tapahtuvan veden kierrätyksen kulkua omiin altaisiinsa.

Karkeammat esineet kerää metalliset suodatinkorit varustettuna suodatinkankailla, jotka on sijoitettu pesukammion alaosaan. Hienommille metalliepäpuhtauksille on käytössä magneettiset keräimet, jotka sitovat esimerkiksi hionnasta tulevat partikkelit.

Lisäksi käytetään loppupesussa hyvin pieniä partikkeleita kerääviä suodatinjärjestelmiä, jotka on kytketty osaksi pesukiertoa. Nämä suodattimet keräävät epäpuhtaudet, jotka ovat kooltaan pienempiä kuin silmä pystyy erottamaan. Esimerkiksi erään tarkastussolun patruunasuodattimet ovat kooltaan 20 µm:n luokkaa ja tällä saavutetaan riittävä puhtaustaso kappaleen pinnalle.



Kuva 6 Filterisuodatin (Aqua Clean Oy)

Oma vaikutuksensa lopputulokseen on pesuaineen annostelulla, joka voidaan suorittaa eri tavoin. Annostelijoiden toimintaperiaate voi olla aikaan sidottu tai nesteen sähköjohtavuuteen perustuva.

Tärkein tekijä kuitenkin on varmasti se, että mikään laitteisto ei toimi ilman riittävää seuranta ja tarvittavaa huoltoa.

TYÖN KUVAAMINEN

1.3 Työn suunnittelu

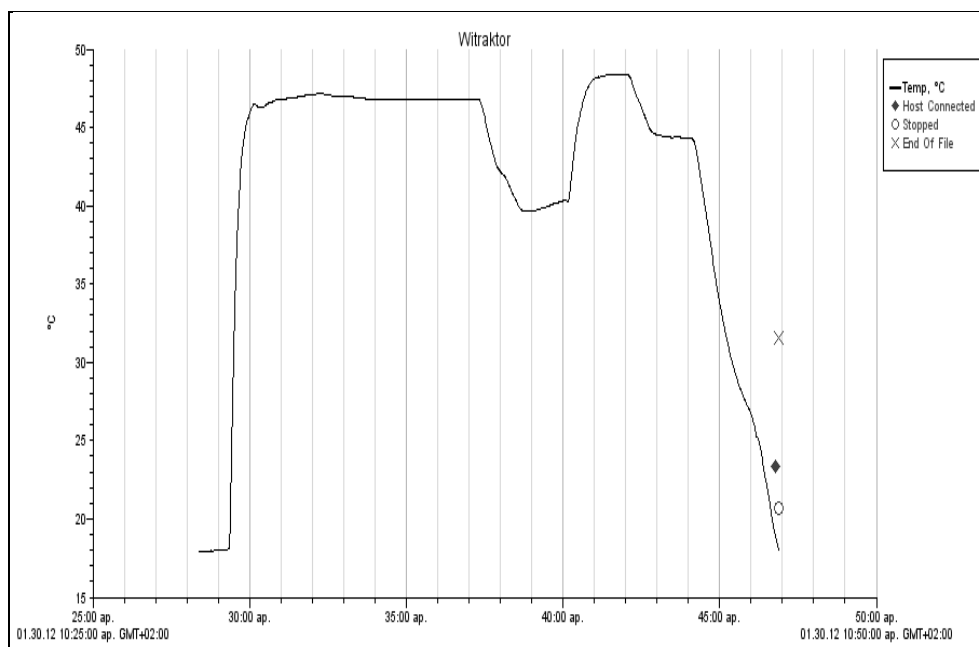
Työn onnistumiselle tärkeää oli löytää kammiopesukone, johon voitiin tehdä tuotannon kärsimättä testipesuja eri lämpötiloilla. Koekappale oli materiaaliltaan teräksinen lieriön muotoinen kappale, jonka paino oli 13,5 kg. Pesutapahtuma sisälsi viisi eri vaihetta, mikä on normaali määrä 2- vaiheisen koneen ohjelmoinnissa.

Pesuvaiheet olivat seuraavat:

1-pesu	480 s
Valutus	118 s
Pesuaineen huuhtelu	120 s
Valutus	120 s
Höyrynpisto	90 s
Yhteensä	928 s

Taulukossa 2 on esitetty pesunesteen lämpötila ajan funktiona. Kuvaajasta pystytään seuraamaan koko pesutapahtuma ja siinä tapahtuvat muutokset. Tärkeä huomio käyrästä on mm. lämpötilan tasaisuus koko prosessin ajan. Pesunesteen lämpötila ei kuitenkaan ole verrannollinen kappaleen lämpötilaan, joka nousee lineaarisesti koko pesun ajan.

Loggerin käyttö tässä tutkimuksessa ei ole välttämätöntä, mutta osana koko mittaustapahtumaa se antaa tärkeää tietoa pesun vaiheista. Esimerkkinä lämpövastuksien kuntoa ja likaisuutta pystytään arvioimaan tämän apuvälineen avulla.

Taulukko 2 Lämpötilaloggerin antama t/°C- käyrä

Pesujen välillä tapahtuvaan nesteeseen valutusajalla takaisin altaaseen ei ole suurtakaan vaikutusta kappaleen pintalämpötilaan ja se jätettiin huomioimatta tässä työssä. Poikkeama kuvaajassa johtuu pesunesteen virtauksen katkeamisesta valutuksen ajaksi ja lämpötilaloggerin nopeasta reagoinnista tähän toimintoon.

Pesujen aikana tapahtuvaa koekappaleen lämpötilaa eri lämpötilojen vaikutuksesta annavaa tietoa löytyy taulukosta 3.

Taulukko 3 Parametrit pesuissa

Testi	Pesulämpötila °C	Kappaleen lämpötila ennen pesua °C	Kappaleen lämpötila jälkeen pesun °C	Pesuaika (s)
1	60	19,6	53,1	928
2	45	18,6	38,2	928

Mittausvälineet

Valmisteltaessa mittaustapahtumaa apuna käytettiin seuraavia mittausvälineitä:

Infrapunalämpömittari: Fluke 561 tarkkuus $\pm 1,0$ % lukemasta.
Infrapunalämpömittarilla mitattiin kappaleen lämpötila ennen pesua ja pesun jälkeen pesukammioista.

PC-pohjainen

lämpötilaloggeri: HOBO U12-015-02 tarkkuus $\pm 0,25^{\circ}\text{C}$ lukemasta.

Lämpötilaloggerilla saatiin pesulämpötilan tiedot pesukammioista prosessin ajalta.

Pihtimittari: Fluke 353 tarkkuus $\pm 1,5$ % lukemasta.

Pihtimittarilla mitattiin koneen tarvitsemaa virrankulutusta pesun aikana.

Mittaustavat

Mittauksia suoritettiin kahdella eri menetelmällä. Ensimmäisenä pyrittiin taselaskennan avulla selvittämään lämpöhäviöitä ja toisena menetelmänä käytettiin suoraa virranmittausta koneen syöttökaapelista.

Taselaskentaa varten mittauksia suoritettiin kaksi kappaletta eri lämpötiloissa taseen muutoksen laskemiseksi. Lämpötilan mittaukset kappaleesta suoritettiin ennen pesua ja jälkeen pesun lämpötilaeron varmistamiseksi.

Toisena vaihtoehtona käytettiin virrankulutusmittausta koneen syöttökaapelista. Tällä menetelmällä pystyttiin todentamaan virrankulutus ja arvioimaan koneen käyttämä energia pesuohjelman aikana.

Molempia vaihtoehtoja hyödyntämällä haettiin varmuutta tuloksiin ja toiminnalle tuloksellista päätöstä.

TULOKSET

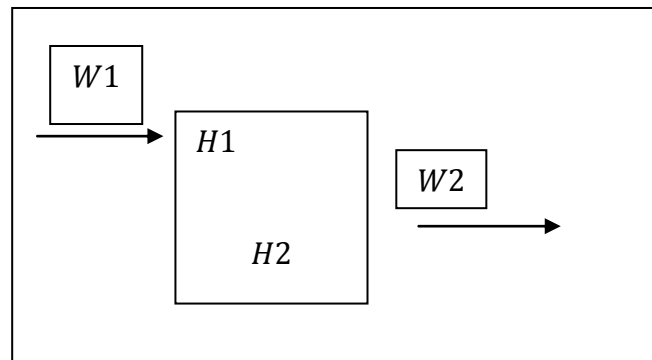
1.4 Energiankulutukset

4.1.1 Energiatase

Laskettaessa energiavirtoja on olennaista selvittää mitattavan systeemin energiatase. Termodynamiikan ensimmäisen pääsäännön mukaan energian häviäminen ei ole mahdollista ilman korvautumista toisella energiamuodolla. Osienpesukoneen osalta tulevia energioita on vastuksien avulla lämmitetty vesi ja keskipakopumpun konvektiolla siirrettävä pesuliuos altaasta pesukammioon, missä puhdistus tapahtuu. Lämpöenergian siirto tässä tapauksessa tapahtuu termodynaamisesti avoimella systeemillä.

Pesukoneen energiavirtoja mietittäessä on varmaan oikea lähestymistapa ajatella mitä energiavirtoja kohdistuu pesukammioon ja mitä sieltä siirtyy pois pesuvaiheissa.

Kuva 7 Energiatase



$W1$ on systeemiin tulevat energiavirrat. Vastuksien ja pumpun tuottama energia.

$W2$ on systeemistä lähtevät energiavirrat. Kappaleen mukana ja höyrynpöistön kautta siirtyvä energia.

$H1$ ja $H2$ kuvaavat kappaleen lämpömäärän muutosta.

Esimerkkilasku suoritettiin Wihuri Oy Witraktorin IM 260 B-22 merkkiselle koneelle, jonka laskennallisesti tärkeitä teknisiä tietoja ovat:

Pumpun teho:	7,5 kW
Pumpun tuotto:	550 l/min ~ 9,2 l/s
Imuputken halkaisija:	76 mm
Poistoputken halkaisija:	60 mm
Painemittarin lukema poistopuolella:	4,5 bar

Pesupumpun tuottama energia on kokoonpuristumatonta ja onkin perusteltua käsitellä sitä asemaenergian, liike-energian ja siirtotyön kaavoilla. Pumpun tarvitsema energia ei liity olennaisesti pesulämpötilaan, mutta sen avulla saadaan selville todellinen tehontarve koneen käydessä.

Asemaenergian kaava $E = mgz$

Liike-energian kaava $E = 1/2 mc^2$

Siirtotyön kaava $E = pV$

Jossa m on massa, g on maan vetovoiman kiihtyvyys, z on virtaavan nesteen korkeusero, c on virtaavan nesteen nopeus, p on paine ja V on tilavuusvirta.

Pumpun tuottaman energian laskemiseksi tarvitsi ensin selvittää tilavuusvirta (q_v), aineen tiheys (ρ), massavirta (q_m), korkeusero pumpulta painemittarille (Z_1), (Z_2) putkien alat (A_1), (A_2) ja virtauksien nopeudet (c_1), (c_2). Tarkemmat laskelmat löytyvät liitteestä 1.

Tilavuusvirta saadaan muuttamalla litrat kuutiometreiksi, jolloin $q_v = 9,2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}$

Massavirran q_m laskemiseen tarvitaan tiheys ja kaava on $q_m = q_v * \rho$

Tiheyden arvona tässä laskelmassa on käytetty veden tiheyttä $998 \frac{kg}{m^3}$ ja tulokseksi saatiin $9,2 \frac{kg}{s}$.

Korkeusero saadaan mittaamalla pumpun korkeuden erotus painemittarille, joka oli $0,7 m$.

Mittaamalla putkien halkaisijat ja laskemalla niiden alat A_1, A_2 päästään käsiksi virtausnopeuksiin c_1 ja c_2 . Virtausnopeudet ratkaistaan kaavalla

$$c_1 = \frac{q_v}{A}$$

Ja tulokseksi saatiin putkien virtausnopeudet ennen pumppua ja jälkeen pumpun. Tulokset olivat seuraavat: $c_1 = 2,0 \frac{m}{s}$ ja $c_2 = 3,3 \frac{m}{s}$.

Teho saadaan laskettua kaavalla, jossa hyödynnetään asemaenergian, liike-energian ja siirtotyön kaavoja:

$$P = q_m * g * (Z_2 - Z_1) + \frac{1}{2} * q_m * (c_2^2 - c_1^2) + q_v * (p_2 - p_1) * 10^5 \frac{N}{m^2}$$

Kiertopumpun tehontarpeeksi saatiin $3,3 \text{ kW}$, joka kertoo välttämättömän tehontarpeen kuormituksen voittamiseksi.

Lämpömääräksi muutettuna pesuaika huomioiden arvoksi saadaan

$$3300W * 600s = 1980 \text{ kJ} .$$

Hyötysuhteen laskeminen suoritettiin kaavalla $\frac{P_2}{P_1}$, josta saatiin tulokseksi $0,44$.

Tulos on hyötysuhteeksi heikonlainen, mutta tässä tapauksessa on huomioitava, että todellinen teho on korkeampi kuin kuormitukseen vaikuttava teho. Oman lukunsa tuo myös putkistojen epäpuhtaudet, joiden merkitys liuoksen virtaukseen on olennainen.

Toisena tekijänä taseen laskemiseksi täytyy muodostaa kappaleeseen kohdistuva sisäenergian muutoksen laskeminen. Taulukosta 3 löytyvät tiedot mittaustuloksista, joita laskennassa käytettiin. Laskelmat löytyvät liitteestä 1.

Siirtyvä lämpöenergia lasketaan kaavalla:

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

Ja teho puolestaan kaavalla:

$$P = \frac{Q}{t}$$

Jossa m on massa, c_p on teräksen ominaislämpökapasiteetti, t on aika ja ΔT on kappaleen lämpötilaero mittausten välillä.

Mittauskerran 1 lämpöenergian tulokseksi saatiin $213,9 * 10^3 \text{ J} \sim 214 \text{ kJ}$.

Mittauskerran 2 tulokseksi saatiin $125,2 * 10^3 \text{ J} \sim 125 \text{ kJ}$.

Tuloksesta nähdään selvästi pesujen lämpötilaerojen aiheuttama muutos kappaleeseen, joka mittausten välillä oli $15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tehot mittauskerroilla olivat ensimmäisellä $356,5 \text{ W}$ ja toisella $205,3 \text{ W}$.

Kolmas tekijä pesukoneen energiaa laskettaessa on höyrynpistoimurin tehon laskeminen, josta tiedettiin tehoksi $0,55 \text{ kW}$ ja toiminta-ajaksi 90 s .

Höyrynpistossa energiaa siirtyy koneesta pois $49,5 \text{ kJ} \sim 50 \text{ kJ}$.

Neljäs tekijä, joka täytyy ottaa huomioon tehoja laskettaessa on lämmitysvastukset. Vastuksien tehtävänä on lämmittää pesukoneen vesimassat ja pitää ne halutussa lämpötilassa. Laskennallisesti on tässä esimerkissä laskettu vastusten ja altaiden tilavuudet yhteen.

Kokonaistilavuus koostuu pesualtaasta 2100 l ja huuhtelualtaasta 1500 l .

Lämmitysvastuksia on testissä olevassa koneessa käytössä kolme kappaletta ja teholtaan ne olivat 18 kW . Pesualtaassa oli käytössä kaksi vastusta ja huuhtelupuolen altaassa yksi kappale.

Lämpömäärän ja altaiden lämmitysajan selvittämiseksi käytettiin kaavaa

$$Q = m * c_p * \Delta T$$

Laskelmat löytyvät liitteestä 1. Tulokseksi tästä laskutoimituksesta saatiin $753 * 10^6 \text{ J}$.

Lämmitysajan laskennassa käytettiin kaavaa:

$$t = \frac{753 * 10^6 \text{ J}}{(3 * 18000 \text{ W})} = 13\,939 \text{ s}$$

Altaiden lämmitykseen tarvittava teho saadaan laskemalla lämmitysvastuksien tehot yhteen

$$P = 3 * 18 \text{ kW}$$

ja tulokseksi saadaan $\sim 54 \text{ kW}$.

Lämpömäärään lasketaan vielä energianmyynnin keskihinta $12,8 \text{ snt/kWh}$ ja tulokseksi saadaan altaiden kertalämmityskustannus.

$$\frac{753 * 10^6 \text{ J} * 12,8 \frac{\text{c}}{\text{kWh}}}{1000 * 3600 \text{ s}} = 26,8 \text{ €}$$

Pesukerran lämpömäärän arvioimiseksi selkeitä kulutusta lisääviä arvoja ovat tällä menetelmällä laskettaessa ovat:

pumpun työ

$$1980 * 10^3 \text{ J}$$

kappaleen lämpömäärä

$$214 * 10^3 \text{ J} / 125 * 10^3 \text{ J}$$

poistoimurin työ

$$50 * 10^3 J$$

Yhteensä

$$2244 * 10^3 J / 2155 * 10^3 J$$

Tehoksi tällä laskentatavalla saataisiin n. 1387 W. Tulos ei ole kuitenkaan riittävän hyvä tehtävän mukaiselle energialaskennalle, johtuen pitkälti puuttuvasta mittaustekniikasta ja mahdollisuudesta pitkien testien tekemiseen.

4.1.2 Suorat kulutusmittaukset

Mittaukset pumpulta suoritettiin kolmivaihekytkennän jokaisesta vaiheesta mittaamalla virrat pihtimittarin avulla (taulukko 4). Tällä menetelmällä pystytään todentamaan todellinen sähkönkulutus ehkä helpoimmin pesukerralta. Lisäksi tietoon saatiin lämmitysvastuksen virrankulutus, joka oli 49,5 A. Vastuksien toiminta rajoittui koko ohjelman aikana kolmeen 10 s jaksoon ja on toiminnaltaan täysin riippuvainen termostaatin ohjaamasta lämmitystarpeesta.

Taulukko 4 Vaiheiden virrankulutus

Mittaus	Virta/A	Virta/A	Virta/A	ka.
	L1	L2	L3	
1	12,8	12,7	12,3	12,6
2	13,0	12,8	12,4	12,7

Tehoa laskettaessa käytettiin pesupumpun virranmittauksessa vaiheiden keskiarvoa, joka valittiin lukuarvoksi.

Vaihtosähköllä tehoa laskettaessa on käytössä kaava

$$P = U * I * \cos\varphi$$

Kaavassa U (380 V) on jännite, I (12,6 A) on virta ja $\cos \varphi$ (36,87 °) on jännitteen ja virran välinen vaihe- ero. Tarkat laskelmat löytyvät liitteestä 2.

Pesupumpun tehoksi saatiin	~ 3830	W.
Lämmitysvastusten teho oli	~ 18810	W.
Imurin teho puolestaan oli	~ 550	W.

Nämä arvot kerrottuna todellisella käyttöajalla antavat kWh- kulutuksen pesukerralta. Tähän lisätään vielä energianmyynnin keskihinta ja kuvitteellinen euromääräinen hinta on selvillä.

Lämmitysvastuksille kulutus antoi seuraavan tuloksen:

$$\frac{18810 \text{ W} \cdot 30 \text{ s}}{1000 \cdot 3600 \text{ s}} = 0,16 \text{ kWh}$$

Pesupumpulle

$$\frac{3830 \text{ W} \cdot 600 \text{ s}}{1000 \cdot 3600 \text{ s}} = 0,64 \text{ kWh}$$

Höyrynpöistölle

$$\frac{550 \text{ W} \cdot 90 \text{ s}}{1000 \cdot 3600 \text{ s}} = 0,01 \text{ kWh}.$$

Pesukerran hinnaksi koostui $\sim 10 \text{ snt} / \text{pesukerta}$.

Vaikka lukuarvo vaikuttaa sängen pieneltä voidaan kuvitella kokonaisuutta, jossa pesuja tehdään 20 kertaa päivässä ja koneita on kymmenen kappaletta suorittamassa samankaltaista puhdistustehtävää. Tähän vielä lisätään 20 työpäivää niin tulos on jo kokonaisuutena sähkölaskuun lisää 400 euron arvosta kuukaudessa.

1.5 Työkappaleiden läpimenoajat

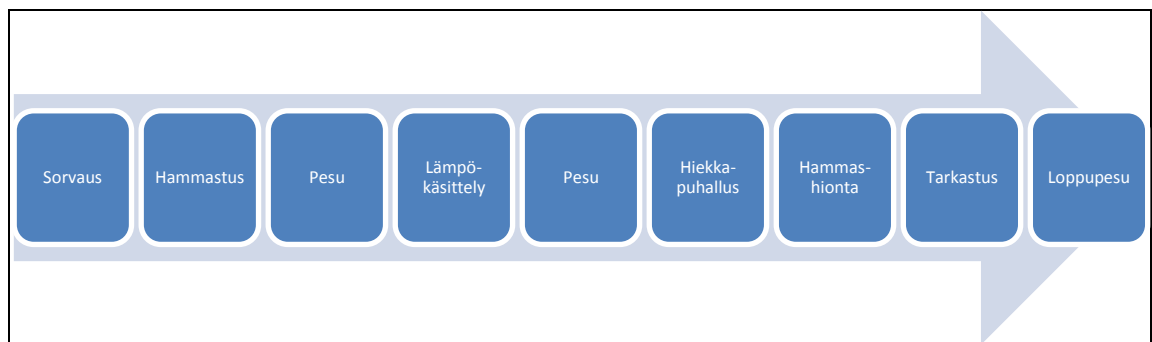
Johdanto-osuudessa alustavasti käsitelty pesuaikojen vaikutus läpimenoaikaan on useimmiten laskettu apuaikoihin, joka ei ole usein kovin tarkka. Ajateltaessa valmiin kulkeutumista tuotantolinjalla se voi matkansa varrella lähettämöön kulkea useamman kerran pesuissa. Jos ajatellaan pesun kestävän n. 5 minuuttia ja tämän päälle vielä kappaleen siirrot seuraavaan vaiheeseen, voi tähän kokonaisuudessaan laskea kuluvan ainakin 10 minuuttia.

Minimissään tämä pesujen osalta kestää puoli tuntia ja on hyvin tärkeä tieto läpimenoaika laskettaessa. Jos pesuohjelmaa ei ole tarkasti määritelty voi aika olla mitä tahansa yhdestä minuutista puoleen tuntiin pesuvaiheen suorittajasta riippuen.

Pääsääntönä voitaneen pitää sitä, että tämä aputoiminto suoritetaan vain silloin, kun se on kappaleen käsiteltävyyden tai puhtaan pinnan takia välttämätöntä.

Esimerkkinä tästä erään hammaspyörän valmistusprosessi työvaiheineen (Kuva 6).

Kuva 8 Pesuvaiheet hammaspyörälle



1.6 Jätevesien käsittely

Lain mukaisesti ympäristönsuojeluasetus (A 169/2000) määrittää minkälaiseen teolliseen toimintaan vaaditaan yritykseltä ympäristölupa. Luvan myöntää kunta, alueellinen ympäristökeskus tai ympäristölupavirasto toiminnan laajuudesta riippuen. Mikä on sitten ongelmajätettä? Vastauksen löytää ympäristöministeriön jäteluettelosta (1129/01) ja pääosin voidaan todeta koneellisessa osienpesussa käytettävän veden täyttävän nämä kriteerit. Jätteiden osalta jätteen tuottajan velvollisuus on pitää kirjaa mm. jätteen laadusta, - lajista ja alkuperästä. Tämä koskee myös niitä ongelmajätteitä, jotka on jo toimitettu eteenpäin asianmukaiseen hävitykseen. Tarkempi selvitys löytyy jätelain 51§:stä.

Käytännössä toiminnot vaihtelevat suuresti paikkakuntien välillä. Joissakin tapauksissa jätevedet käsitellään tuotantolaitoksen omassa jätevedenkäsittelyssä ja toimitetaan tämän jälkeen yleiseen viemäriverkostoon. Jos omaa käsittelylaitosta ei ole määrittelee ympäristöviranomainen jätteen laadun ja sen viemärointikelpoisuuden sekä enimmäismäärän.

Niissä tilanteissa, jossa lupaa viemärointiin ei ole muodostuu melkoisen suuri kuluerä yritykselle käytetystä pesuvedestä.

Jos ajatellaan kuvan 6 mukaista tuotantolinjaa pesujen osalta niin voidaan laskea suurin piirtein jäteveden hinta ko. prosessissa.

Altaiden tilavuudet koneissa ovat 1000 litran kokoisia ja loppupesun osalta altaaseen vaihdetaan vedet kuukauden välein ja muihin pesuihin n. kahden kuukauden välein tai tarpeen mukaan. Yhteensä kyseisen linjan vedenhävitys litroina puolen vuoden jaksolla on 12 000 litraa.

Jäteveden hävittämiseen erikoistuneen yrityksen veloitus liikkuu noin 380 euron tuntumassa kuutiolta, joka vaihtelee yrityksiä tekemien sopimusten ja niiden tuottaman jäteveden mukaan. Tässä esimerkissä käytetään 30 c/kg hintaa ja kokonaishävityskustannukseksi muodostuu 3600 euroa.

Kappaleiden kertamäärä kyseisessä pesussa kiloina on n. 100 kg ja kahdessa vuorossa pesutapahtumia on suurin piirtein kaksikymmentä. Näin laskemalla puolen vuoden jätevesikustannus kiloina tuotettua valmista kappaletta kohti on noin 1,5 c/kg.

Isoissa konepajoissa pesukoneiden määrä on luonnollisesti suurempi kuin esimerkissä ja kustannukset sen myötä korkeammat.

1.7 Kokonaiskustannukset pesukoneen käytölle

Yhtenä osa-alueena tässä tutkimuksessa oli kustannusten tarkkailu pesuprosessissa ja siitä muodostuvien kulujen määrittäminen. Esimerkkinä kulujen muodostumisesta tarkkaillaan suoranaisia pesukoneeseen liittyviä kuluja kylvyn vaihdon väliseltä ajanjaksolta, joka oli yksi kuukausi. Tarkkailtavan koneen lävitse kulki jakson aikana yhteensä 96 000 kg:aa pestäviä kappaleita, joiden puhtausaste tuli olla erityisen hyvä ja näin ollen kylvyn vaihtovälin suhteellisen tiivis.

Kuluja pesuun muodosti:

Jäteveden hävitys 780 €

Kustannukset muodostuvat 2600 litran käytetyn pesuveden hävityksestä hintaan 30 c/kg.

Pesuaineen osuus täytössä 217 €

2,5 %:n seos pesuainetta allastilavuuteen 1300 l hintaan 2,7 €/l ja lisäksi kaksi 5 litran täydennystä altaaseen.

Huuhtelualtaaseen lisättävä korroosionestoinhibiitti 1 %:n seoksella 1300 litraan hintaan 6 €/l ja lisäksi kaksi litran täydennystä jakson aikana.

Energian kulutus 44 €

Kulutukset muodostuvat jakson aikana tehdyistä 320:stä pesusta, josta kerta pesun hinnaksi laskettiin 10 centtiä.

Lisäksi täytyi huomioida altaan lämmityskustannus täytön yhteydessä kaavalla:

$$\text{Kulutus euroina} = \frac{m * C_p * \Delta T * 12,8 \frac{c}{kWh}}{1000 * 3600}$$

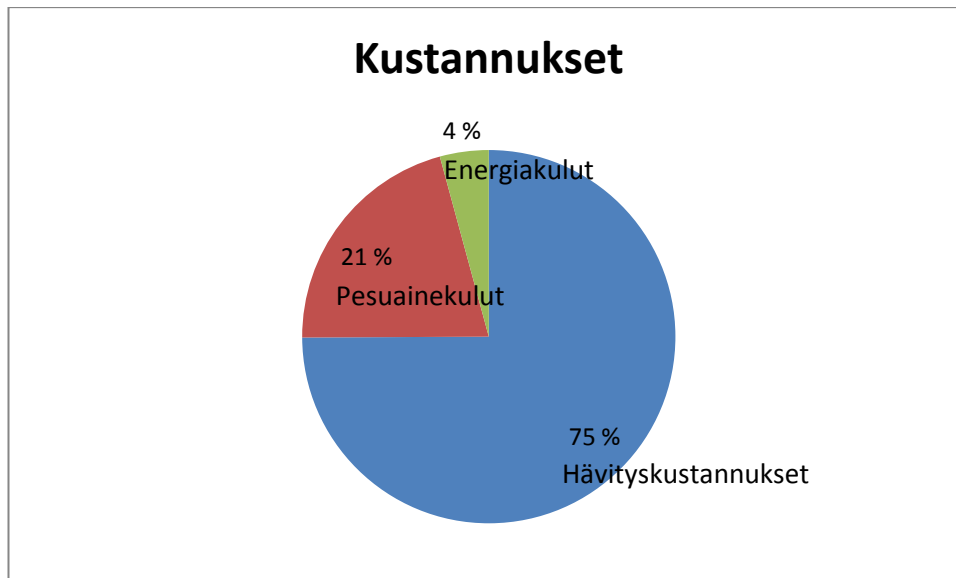
Kuluja yhteensä 1041 €/kk

Lisäkuluja muodostuu läpimenoajan ajalta, mutta niitä tietoja ei ollut saatavissa tähän tutkimukseen.

Kokonaiskuluksi tuotetuille kappaleille muodostuu tällä laskentatavalla noin 1 c/kg.

Kuvassa 8 näkyy kulujen rakenne, joka osoittaa suurimman kuluerän muodostuvan käytetyn pesuliuoksen hävityksestä.

Kuva 9



TULOSTEN TARKASTELU

Sopivan testikohteen löytäminen muodostui ongelmaksi, koska tuotannossa oleviin koneisiin ei ollut mahdollista tehdä siinä määrin lämpötilamuutoksia ja pestä massaltaan erilaisia kappaleita mitä kokeilut olisivat edellyttäneet. Wihuri Oy:n korjaamalla olevaan kammiopesukoneeseen näitä muutoksia pienimuotoisesti voitiin tehdä ja vertailuja tehdä. Kammiopesuja tehtiin myös tuotannon koneille ja niistä saatuja tietoja löytyy liitteestä 4.

Tehtävän mukaisesti koneelliseen pesuun kuluvan energian kulutusta pyrittiin kartoittamaan eri menetelmillä. Tuloksissa haettiin erilaisia vaihtoehtoja tutkia pesuihin liittyviä energian muotoja. Lopullista yhtä vaihtoehtoa ei löydetty näillä menetelmillä ja tutkimus edetessään osoitti sen kuuluvan alustaviin tutkimuksiin.

Taselaskennan ja suorien mittausten yhteistuloksena kuitenkin pystytään suuntimaan mihin asioihin kannattaa kiinnittää huomiota kulutusta arvioitaessa.

Taselaskennan osalta tulokset antoivat viitteitä siitä, että lämpöenergian kulutus on varsin pientä lasketuista kohteista. Kiertopumpun ja höyrynpöistoimurin toiminnallinen aika pesukierron aikana on niin pieni, ettei se vaikuta suuresti lopulliseen sähkönkulutukseen. Samoin on kappaleen mukana lähtevän lämmön laita mittaushetkellä.

Pestävän kappaleen lämmönsiirtymisen kasvamiseen suurimmat tekijät ovat pesulämpö ja massa. Mitä suurempi pesulämpötila, sitä suurempi lämpötilaerosta johtuva energian siirto tapahtuu. (liite 4).

Suurimman kertaallisen kuluerän muodostaa pesualtaiden lämmitykset täytön yhteydessä ja lämmön pitäminen oikealla tasolla. Oman merkityksensä altaiden hyvään lämmönsitomiskykyyn antaa suuri vesimassa ja altaan ympärillä oleva lämpöeriste.

Taseen muodostamiselle vaikeutta tuo veden kierrättäminen pesukammioista takaisin altaaseen koko pesun ajan. Kammiossa kiertävä vesisuihku siirtää lämpöä myös teräseinisiin, jotka osaltaan sitovat lämpöä pesun aikana.

Tarkempia tutkimuksia tehtäessä olisi tarpeellista varustaa virtausmittarit kammion valutusaukkoon ja pumpun tulo ja lähtöpuolelle. Kammion seinämien lämpötilamittauksia pitäisiin myös aiheellisina tarkennetuissa tutkimuksissa.

Suorien sähkönmittausten osalta pesujen tarkastelun suorittaminen on huomattavasti helpompi tapa arvioida kulutusta. Menetelmä vaatii kuitenkin tarvittavan pihtimittarin ja oikeudet suorittaa kyseisiä sähkötoita.

Tehtyjen mittausten pohjalta käyttökelpoisin energiansäästöläskelmä lämpötilaa laske-
malla saatiin kappaleen lämpömäärän muutoksesta ja altaan täytön kertakustannuksesta.
Näillä tekijöillä pystytään antamaan suunta pesuveden lämpötilan alentamisen merki-
tyksestä säästötoimenpiteenä (liite 3).

Jatkotoimenpiteenä olisi helpoin tapa toteuttaa mittaukset kWh - mittarin avulla. Kyt-
kentä tulisi tehdä syöttökaapeliin ja tarkastelujakso tulisi olla pitempi kuin tässä tutki-
muksessa. Erityisesti lämmitysvastuksien seuranta kannattaisi tehdä vaikkapa viikon
jaksolta, josta voitaisiin tehdä suuntaa-antava kokonaiskulutuksen arviointi.

Läpimenoaikoihin voidaan vaikuttaa määrittämällä kappaleille tietty pesuaika, joka on
suunniteltu esimerkiksi pyörän koon tai muodon mukaan. Näin varmistetaan tietty puh-
taustaso jokaiselle kappaleelle. Pesuohjelmiaan voidaan useimpiin koneisiin ohjelmoi-
da etukäteen useampia erilaisia halutuilla aika-arvoilla ja lämpötiloilla.

Kouluttamalla tekijät valitsemaan oikeanlaiset ohjelmat pestäville kappaleille saavute-
taan lähes oikeanlainen ajallinen kuin taloudellinen hyöty tästä työvaiheesta. Toki on
muistettava tekijän silmämääräinen tarkastus pestyn kappaleen pinnalta, joka kertoo
vasta onko valmiste riittävän puhdas jatkotoimenpiteitä varten.

Jäteveden käsittely muodostuu melkoisen korkeaksi kustannukseksi, mikäli sen joutuu
hävittämään ei viemäroitävänä aineena. Kaikki yritykset, joissa mittauksia tehtiin hävit-
tävät käytetyn pesukemian ulkopuolisen yrityksen toimesta määrävälein. Toiminnan
lainvoimainen seuranta on hyvin tarkkaa ja vaatii myös yrityksen henkilöstöltä toimin-
tatapojen tietämystä jätevesien käsittelyssä.

Jätevesien määrän vähentämisessä on yrityksillä käytössä toiminnaltaan erilaisia haih-
duttimia, joskin tätä tekniikkaa käytetään hyvin pienessä määrin. Yhtenä vaihtoehtona
jätteen määrän vähentämiselle käytetään pesuvesien öljyn ja muiden partikkelien suo-
dattamista tiheän suodatinjärjestelmän lävitse. Tällä menetelmällä lisätään pesukylvyn
käyttöikää ja vaihtoväliä pidemmäksi.

Välivarastoimalla ongelmajätteeksi kuuluvat jätevedet saavutetaan suuremmat keräys-
erät ja kustannuksien säästöä rahtien osalta.

LÄHTEET

Pentti Inkinen, Jukka Tuohi 1999. Momentti 1. 4.-5 painos. Kustannusosakeyhtiö Ota-va.

Matti Krannila 1980, Termodynamiikka. 2. painos. Oy Sonator Ab.

Mäkelä M, Soininen L, Tuomola S, Öistämö J 2008. Tekniikan kaavasto. 6. painos. Tammentekniikka.

Internet. Ekokemin ohje 3/06

www.finlex.fi

LIITTEET

Liite 1. Laskentakaavat energiataselaskuille

Liite 2. Laskentakaavat virrankulutusmittauksille

Liite 3. Laskuri kulutukselle

Liite 4. Taulukoita pesukoneilta

Liite 1. Laskentakaavat energiataselaskuille

Massavirta : $q_m = 9,2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} * 998 \frac{kg}{m^3} = 9,2 \frac{kg}{s}$

Putkien alat : $A1 = \frac{\pi * (0,076 m)^2}{4} = 4,5 * 10^{-3} m^2$

$$A2 = \frac{\pi * (0,060 m)^2}{4} = 2,8 * 10^{-3} m^2$$

Virtausnopeudet: $c_1 = \frac{9,2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{4,5 * 10^{-3} m^2} = 2,0 \frac{m}{s}$

$$c_2 = \frac{9,2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{2,8 * 10^{-3} m^2} = 3,3 \frac{m}{s}$$

Keskipakopumpun teho:

$$P = 9,2 \frac{kg}{s} * 9,81 \frac{m}{s^2} * (0,7m - 0m) + \frac{1}{2} * 9,2 \frac{kg}{s} * ((3,3 \frac{m}{s})^2 - 2,0 \frac{m}{s})^2 + 9,2 * 10^{-3} \frac{m^3}{s} * (4,0bar - 0,5bar) * 10^5 \frac{N}{m^2} = 3,3 kW$$

Kappaleeseen sitoutunut energia:

$$Q_1 = 13,5 kg * 473 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} * (53,1 - 19,6)^\circ C = 213,9 * 10^3 J$$

$$Q_2 = 13,5 kg * 473 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} * (38,2 - 18,9)^\circ C = 123,2 * 10^3 J$$

$$P_1 = \frac{213,9 * 10^3 J}{718 s} = 297,9 W$$

$$P_2 = \frac{123,2 * 10^3 J}{718 s} = 171,6 W$$

Lämmitysvastuksien energiankulutus

$$Q = \left(3,6 m^3 * 998 \frac{kg}{m^3} \right) * 4190 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} * (60 - 10)^\circ C \approx 753 * 10^6 J$$

Liite 2. Laskentakaavat virrankulutusmittauksille

Pesupumpun teho

$$P = 380 \text{ V} * 12,6 \text{ A} * \cos 36,87^\circ \approx 3830 \text{ W}$$

Lämmitysvastuksen teho

$$P = 380 \text{ V} * 49,5 \text{ A} \approx 18\,810 \text{ W}$$

Pesupumpun sähkönkulutus

$$\frac{3830 \text{ W} * 600 \text{ s}}{1000 * 3600 \text{ s}} = 0,64 \text{ kWh}$$

Lämmitysvastuksien sähkönkulutus:

$$\frac{18810 \text{ W} * 30 \text{ s}}{1000 * 3600 \text{ s}} = 0,16 \text{ kWh}$$

Höyrynpöistön sähkönkulutus:

$$\frac{550 \text{ W} * 90 \text{ s}}{1000 * 3600 \text{ s}} = 0,01 \text{ kWh}$$

Kokonaiskulutus/ pesukerta:

$$(0,64 + 0,16 + 0,01) \text{ kWh} * 12,8 \text{ c/kWh} \approx 10 \text{ cent/ pesukerta}$$

Liite 3. Laskuri kulutukselle

OSIENPESUKONEEN ENERGIANKULUTUS

Lisää keltaisiin osiin tarvittavat arvot.

Pumpun virrankulutus. (Sijoita lukuarvo)	12,7	A
380		
380		
380	304	
Likimääräinen pumpun teho:	3860,8	W
Pumpun toiminta-aika/pesu (Sijoita lukuarvo):	600	s
3600000	2316480	
Kulutus kWh	0,64	kWh
Lämmitysvastusten teho. (Sijoita lukuarvo)	49,5	A
380		
Likimääräinen pumpun teho:	18810	W
Vastusten käyntiaika/ pesu (Sijoita lukuarvo)	30	s
564300		
Kulutus kWh	0,16	kWh
Poistoimurin teho. (Sijoita lukuarvo)	550	W
Imurin käyntiaika. Sijoita lukuarvo)	90	s
Kulutus kWh	0,01	kWh
Altaan täytön kustannukset		
Altaan tilavuus. (Sijoita lukuarvo)	3,6	m3
Haluttu pesulämpötila (Sijoita lukuarvo)	60	astetta
55	55	
5	5	
4190	4190	
998	998	

Lämmitysvastuksien teho. (Sijoita lukuarvo) 54000 W

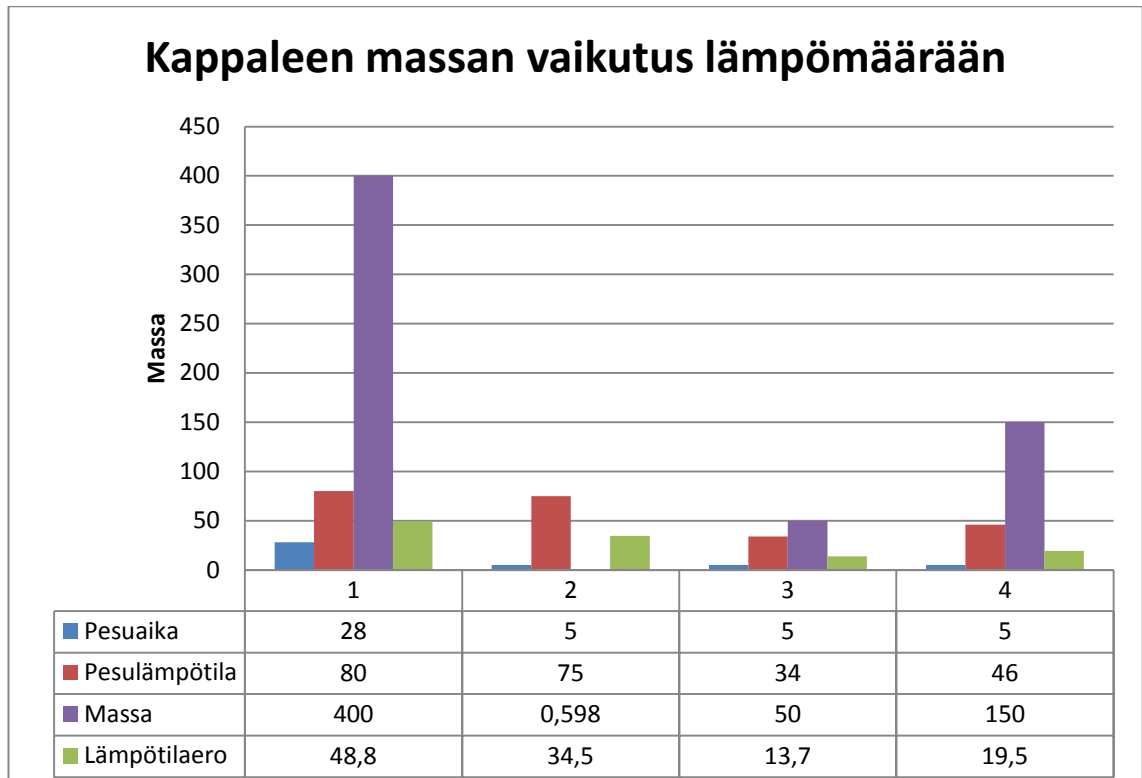
Lämmitysaika vesimassalle. 15332,61 s

827960760

3600000

Kulutus kWh 229,99 kWh

Liite 4. Taulukoita pesukoneilta



Massa/kg	Lämpötila 2 / °C	Lämpötila 1 / °C	Lämpötilaero/ ΔT	Pesuaika/min	Pesulämpötila/°C
400	70,4	21,6	48,8	28	80
0,598	58	23,5	34,5	5	75
50	37,1	23,4	13,7	5	34
150	45,5	26	19,5	5	46