

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Imatra
Sähkövoimatekniikan koulutusohjelma

Jussi-Pekka Montonen

Tutkimus sähköenergian kulutuksen pienentämiseksi 4 %:lla Strömfors Electric Oy:n tehtaalla

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

Jussi-Pekka Montonen

Tutkimus sähköenergian pienentämiseksi 4 %:lla Strömfors Electric Oy:n tehtaalla, 80 sivua, 13 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikan yksikkö, sähkövoimatekniikan koulutusohjelma

Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

Opinnäytetyö 2011

Ohjaajat: lehtori Timo Loukiala Saimaan AMK; Kiinteistöpäällikkö Pentti Vainio, Strömfors Electric Oy

Tämän insinööriyön tarkoituksena on selvittää taloudellisesti järkevät keinot Strömfors Electric Oy:n Ruotsinpyhtään tehtaan sähköenergian kulutuksen pienentämiseksi 4 %:lla, joka tarkoittaa noin 16 000 €:n vuosittaista säästöä. Mahdollisten investointien tulisi maksaa itsensä takaisin noin viidessä vuodessa.

Tehtaalla kului sähköenergiaa vuonna 2009 noin 5170 MWh. Lämmitykseen kuluva energia vuonna 2009 oli noin 1370 MWh. Tässä työssä keskitytään niiden keinojen tutkimiseen, joilla voidaan pienentää sähköenergian kulutusta.

Tehtaan nykyisen energian kulutuksen selvittämiseksi ja energian kulutuksen jakautumisen selvittämiseksi erityyppisten kuluttajien kesken käytettiin pääasiassa sähkökeskusten energian kulutustietoja.

Valaistukseen kuluvan energian selvittämiseksi kerättiin tiedot erityyppisistä valaisimista, sekä niiden lukumäärästä. Valaistuksen kohdalla vertaillaan erityyppisiä valonlähteitä toisiinsa, sekä tehdään vertailulaskelmia saavutettavista säästöistä. DiaLux-ohjelmalla tehtyjä mallinnuksia käytettiin valaisintoteutuksien vertailussa.

Muovituotannossa keskitytään raaka-ainekuivureihin, sekä ruiskuvalukoneisiin, joiden energian kulutus muodostuu suurelta osalta sähkömoottoreiden ja ruiskutus sylinterien lämpövastuksien toiminnasta. Ruiskutus sylinterien eristämisen hyötyä tutkittiin koemittauksella. Sähkömoottoreiden hyötysuhteiden selvittämiseksi kerättiin moottorien arvokilpien tietoja, ja näiden tietojen perusteella tehtiin laskemia paremman hyötysuhteen moottorien tuottamasta energian säästöstä.

4 %:n sähköenergian säästöön päästään mittauksien perusteella pelkällä ruiskutus sylinterien eristämällä. Raaka-aineen kuivauksessa voidaan saada jopa enemmän säästöä kuin ruiskutus sylinterien eristämällä, mutta asiaa pitää tutkia tarkemmin. Tehtaan kolmen osaston yleisvalaistuksen muutoksilla päästään teoriassa yhteensä 10 000 €:n vuosittaiseen säästöön. Kahden osaston kohdalla pitää miettiä, onko taloudellinen säästö valaistuksen laadun heikentymisen arvoista.

Avainsanat: sähköenergian kulutuksen pienentäminen, taloudellinen kannattavuus, sähkömoottorit, valaistus, ruiskuvalukoneet, muoviraaka-ainekuivurit

ABSTRACT

Jussi-Pekka Montonen

Research on Reducing Electrical Consumption by 4 % in Strömfors Electric Factory

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Electrical Engineering

Final year project, 2011

Tutors: Timo Loukiala, Senior Lecturer, Saimaa UAS; Pentti Vainio, property manager, Strömfors Electric Ltd.

The purpose of this final thesis was to research economically competent ways to reduce electricity consumption by 4 % in an electrical accessories factory. This means saving of €16,000 in a year. Repayment time of investments should not exceed five years.

In year 2009 total electricity consumption of the factory was 5170 MWh. Consumption of heating energy was 1370 MWh, but this research does not observe ways to reduce consumption of heating energy.

In order to find out how the electric consumption is divided between different types of consumers in factory, electric energy information available about electrical centers was used.

To find out how much electric energy is consumed by lighting, the number and type of lights were defined. Different type of lights and calculations about gained savings with different lighting solutions are compared. DIALux-program was used in making simulations of these lighting solutions.

The study focused on plastic raw material dryers and injection moulding machines when examining means to reduce electricity consumption of plastic production. Benefits of isolating the injection cylinder of moulding machines were researched by test measurement. Gains of electric motors with improved efficiency were studied also to reduce electric consumption of these machines.

I co-operated with Pentti Vainio who was knowledgeable with issues related to my subject.

The goal of reducing factory's total electricity consumption by 4 % is reached by only isolating the injection cylinder of moulding machines. Also the drying process of plastic raw materials showed even better potential to reduce electricity consumption than isolating the cylinders but this subject need more researching. Changes in the lighting solutions in factory's three departments would in theory generate yearly saving of €10,000 but in two departments these changes would mean a little drop in quality of lighting.

Key Words: reducing electrical consumption, economically rational investments, electric motors, lighting, injection moulding machines, plastic dryers

SISÄLTÖ

SUUREET JA MÄÄRITELMÄT	6
1 JOHDANTO	8
2 SÄHKÖENERGIAN KÄYTTÖ TEHTAALLA	11
2.1 Tehtaan lämpöenergia	12
2.2 Tehtaan sähköenergia	13
3 SÄHKÖENERGIAN KULUTUKSEN JAKAUTUMINEN	15
3.1 Muovituotanto	17
3.1.1 Ruiskuvalukone	18
3.1.2 Ruiskuvalukoneen energiankulutus	18
3.1.3 Raaka-ainekuivurit	21
3.2 Valaistus	22
3.2.1 Tietoa valaistuksesta	22
3.3 Paineilman tuottaminen	24
4 INVESTOINNIN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS	27
4.1 Sähköenergian hinta	27
4.2 Investoinnin taloudellisen kannattavuuden laskeminen	27
5 RUISKUVALUKONEEN TEOREETTISET SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOT	28
5.1 Ruiskutus sylinterien lämmitysvastuksien eristäminen	28
5.1.1 Nykyinen ruiskutus sylinteri	28
5.1.2 Koemittaus eristysvaipalla	30
5.1.3 Ruiskuvalukoneen vyöhykkeiden eristämisen tuottama säästö	32
5.2 Sähkömoottoreiden hyötysuhteen parantaminen	33
5.2.1 Sähkömoottorin sähköenergian kulutus	33
5.2.2 Sähkömoottoreiden hyötysuhteiden selvittäminen	34
5.2.3 Uuden energiatehokkaamman sähkömoottorin tuottama säästö	35
6 RAAKA-AINEKUIVAUKSEN TEOREETTISET SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOT	40
6.1 PC-ABS-muoviraaka-aineen kuivauksen sähköenergian pienentäminen	40
6.1.1 Mittaus kuumailmakuivurilla ajanjaksolla 6.4.–19.4.2010	40
6.1.2 Ylläpitolämmityksen teho	41
6.1.3 Ylläpitolämmityksen poistamisen tuoma säästö	41
6.2 PA-6-muoviraaka-aineen kuivauksen sähköenergian pienentäminen	42
6.2.1 Mittaus kuumailmakuivurilla ajanjaksoilla 19.4.–21.4.2010 ja 27.4.– 29.4.2010	42
6.2.2 Alipaine kuivurin kuivaustehokkuus	43
6.2.3 Säästö absoluuttisessa kuivaustehossa alipaine kuivurilla	45
6.2.2 Kuivurin ylläpitolämmityksen poistamisen tuoma säästö	46
7 VALAISTUKSEN TEOREETTISET SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOT	47
7.1 Uuden varastohallin valaisinratkaisu	48
7.1.1 Uusi varastohalli	48
7.1.2 Valaisinratkaisuiden vertailua	48
7.2 Tehtaan yleisvalaistus	51
7.2.1 Nykyisen valaistuksen laatu ja osastoilla tehtävä työ	51
7.2.2 Suosituksia valaistuksen laadulle	52
7.3 Tehtaan yleisvalaistukseen liittyvien valaisimien ja lampputyypin vertailua	55
7.3.1 Led-valonlähteet	57

7.3.2 Suurpainenatriumlamppu.....	58
7.4 Tehtaan yleisvalaistuksen sähköenergian säästöpotentiaali	58
7.5 KP1:n yleisvalaistuksen säästömahdollisuudet	60
7.5.1 Nykyisten valaisimien vähentäminen ja uudelleen sijoittelu	60
7.5.2 Nykyisten lamppujen korvaaminen pienempitehoisilla lampuilla.....	61
7.6 KP2:n yleisvalaistuksen säästömahdollisuudet	63
7.6.1 Nykyisten lamppujen korvaaminen pienempitehoisilla lampuilla ja valaisimien asennuskorkeuden madaltaminen	63
7.6.2 Nykyisten lamppujen korvaaminen pienempitehoisilla lampuilla nykyinen pinta-asennus säilyttäen	65
7.7 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen säästömahdollisuudet	67
8 KEINOT SÄHKÖENERGIAN KULUTUKSEN PIENETÄMISEKSI.....	68
8.1 Ruiskuvalukoneiden ruiskutusylintereiden eristäminen.....	68
8.2 Raaka-ainekuivauksen ja tuotannon koordinointi	68
8.3 Uudistukset yleisvalaistuksessa	70
8.3.1 KP1:n yleisvalaistuksen uudistus.....	70
8.3.2 KP2:n yleisvalaistuksen uudistus.....	71
8.3.2 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen uudistus.....	73
9 MUITA SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOJA.....	74
9.1 Yleisvalaistuksen jakaminen pienempiin valaisinryhmiin	74
9.2 Turhat valaisimet.....	74
10 YHTEENVETO.....	75
LÄHTEET.....	79

LIITTEET

Liite 1 Sähkökeskusten sähköenergian kulutuksia

Liite 2 Tehtaan loistelamput

Liite 3 Tehtaan monimetallilamput

Liite 4 Sähkömoottoreiden tiedot

Liite 5 Yhteenveto uuden varastohallin valaistussuunnitelmasta

Liite 6 Yhteenveto KP1:n valaistussuunnitelmasta (64 kpl 250 W:n monimetalli-valaisinta)

Liite 7 Yhteenveto KP1:n valaistussuunnitelmasta (96 kpl 150 W:n monimetalli-valaisinta)

Liite 8 Yhteenveto KP2:n valaistussuunnitelmasta (60 kpl 150 W:n monimetalli-valaisinta, kaikki laskettu samaan tasoon 4 metriin)

Liite 9 Yhteenveto KP2:n valaistussuunnitelmasta (60 kpl 150 W:n monimetalli-valaisinta, nykyinen pinta-asennus)

Liite 10 Yhteenveto varaston ja lähettämön valaistussuunnitelmasta

Liite 11 Engel 1601-ruiskuvalukoneen seurantatietoja

Liite 12 Sytyttimen tuotetiedot

Liite 13 Monimetalli- ja suurpainenatriumlamppujen magneettisia liitälaitteita

SUUREET JA MÄÄRITELMÄT

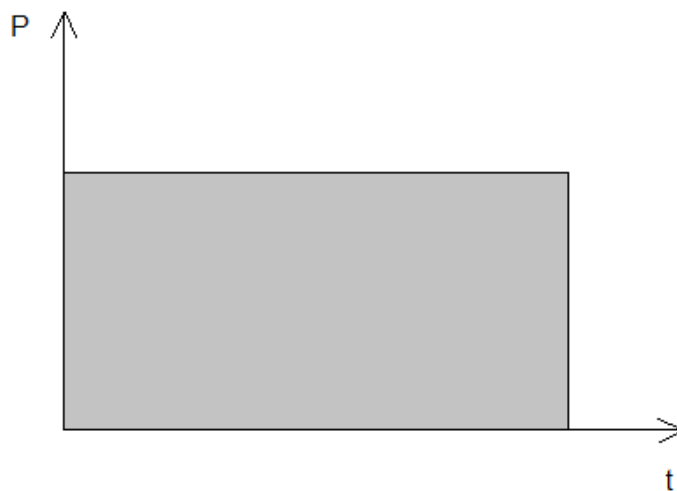
Sähkölaitteen kuluttama sähköenergia tietyllä aikavälillä saadaan integroimalla sähköteho kyseisen aikavälin yli (Wikipedia):

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P \cdot dt$$

Laskelmissa on kuitenkin oletettu sähkön kuluttajien ottama teho vakioksi käyttäen keskimääräistä tehoa. Näin saadaan sähköenergia yksinkertaisesti tehon ja ajan tulona (Wikipedia):

$$E = P \cdot t$$

Sähkölaitteen kuluttama energia määräytyy siis laitteen ottamasta tehosta ja käyttöajasta. Kuvassa harmaan alueen pinta-ala kuvaa sähköenergiaa



Valovirta Φ

Valovirta on säteilytehoa, joka kuvaa valoenergian virtausnopeutta. Se on säteilyteho silmän spektriherkkyyden ja näkyvän valon alueella. Valovirran yksikkö on lumen (lm). (Halonen & Lehtovaara 1992.)

Valaistusvoimakkuus E

Pinnalle saapuvan valovirran tiheys. Valaistusvoimakkuuden yksikkö on lumenta neliömetrille (lm/m^2) eli luksi (lx). Valaistusvoimakkuus saadaan yhtälöstä $E = \Phi/A$. (Halonen & Lehtovaara 1992.)

Valotehokkuus K	Kuvaa valonlähteen tuottaman valovirran suhdetta valonlähteen ottamaan sähkötehoon. Käytännössä se ilmaisee lampun tai valaisimen hyötysuhteen. Valotehokkuuden yksikkö on lm/W. Mitä suurempi on valotehokkuus, sitä suurempi on lampun tai valaisimen hyötysuhde. (Halonen & Lehtovaara 1992.)
Värintoistoindeksi Ra	Värintoistoindeksi kuvaa valonlähteen tuottaman valon kykyä toistaa värejä, eli käytännössä se kuvaa kuinka hyvin ihminen pystyy erottamaan värejä toisistaan. Värintoistoindeksin suurin arvo on 100. Värintoisto indeksin määrittämisessä tutkitaan valonlähteen kykyä toistaa 8:aa CIE:n suosittellemaa testiväriä. (Halonen & Lehtovaara 1992.)
Väriämpötila T	Väriämpötilalla kuvataan valonlähteen tuottaman valon väriä. Se määritellään mustan kappaleen absoluuttisen lämpötilana. Valonlähteissä väriämpötila ilmoittaa käytännössä sen, onko valonlähteen säteilemä valo sävyltään lämmintä vai kylmää. Matalalla väriämpötilan arvolla valo näyttää lämpimältä, ja korkealla arvolla valo näyttää kylmältä. (Halonen & Lehtovaara 1992.)

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on ensisijaisesti selvittää, miten sähkönkulutusta voidaan teollisuuslaitoksessa pienentää, miten se käytännössä toteutetaan ja millaiset säästötoimenpiteet on järkevää toteuttaa. Tavoitteeseen pyrittäessä joudutaan miettimään myös sähkönkulutuksen syitä sekä kulutuksen ajallista ja paikallista jakautumista. Samalla saadaan tietoa mittauksista ja seurantajärjestelmästä. Myös taloudellinen näkökulma täytyy ottaa huomioon, sillä sähkönkulutuksen pienentämisen keinot eivät saa olla taloudellisesti kannattamattomia.

Tavoitteena on tutkia toimia, joilla voidaan toteuttaa vähintään 4 %:n säästö sähkön kulutuksessa tehtaalla. Tähän tutkimukseen sisältyy selvitys kulutuksen nykytasosta ja siitä, miten tietty toimenpide vaikuttaa kulutukseen. Lopussa yksittäisten säästötoimenpiteiden yhteisvaikutusta verrataan lähtökulutustasoon ja pohditaan, päästiinkö tavoitteeseen.

Tulee myös pohtia ovatko säästötoimenpiteet taloudellisesti kannattavia. Säästön ja investoinnin täytyy olla tasapainossa siten, että investoinnin täytyy maksaa itsensä takaisin säästöinä korkeintaan 5 vuodessa.

Tutkimustyö tulee tarpeeseen, sillä sähkönkulutuksen pienentämisellä saadaan taloudellista säästöä aikaan. Ajankohta on myös osuva tällaisella tutkimuksella, sillä energian verotuksen nostaminen koskee myös teollisuutta.

Tässä työssä ei tutkita tehtaan jakeluverkon häviöitä, eikä siten taloudellista säästöä haeta jakeluverkon osalta.

Strömfors Electric oy

Strömfors Electric Oy kuuluu kansainväliseen Schneider Electric -konserniin, joka toimii 130 maassa yhteensä 120 000 työntekijän voimin. Schneider Electric

on johtavia sähkönjakelu-, teollisuusohjaus- sekä automaatiotuotteiden ja -järjestelmien toimittajia maailmassa.

Strömfors Electric Oy:n Ruotsinpyhtään tuotantoyksikkö kehittää, valmistaa ja myy Euroopassa sähkötarvikkeita Schneider Electricin tuotemerkeillä. Näihin kuuluvat Artic, Artic Decor, Senso ja Renova. Suurin vienti kohdistuu Pohjoismaihin ja Venäjälle. Työntekijöitä Ruotsinpyhtäällä on noin 200 henkeä.

Tehtaan voi jakaa kuuteen toiminnalliseen osa-alueeseen:

- tuotekehitys- ja teknologiaosasto
- työkaluosasto
- muovipuristamo-osasto
- kokoonpano-osastot
- varasto- ja lähettämöosasto
- tehdaspalvelu-osasto (laitosmiehet).

Tehtaalla on kolme kokoonpano-osastoa. KP1:llä valmistetaan suurimmaksi osaksi kytkimiä, ja KP2:lla valmistetaan 1-, 2- ja valaisinpistorasioita. Elektrooniikka-osasto on uusin, ja se perustettiin vuonna 2010.

Empower Oy vastaa kiinteistön kunnossapidosta.

Yrityksessä kiinnitetään huomiota erityisesti laatuun, ympäristöasioihin ja energian säästämiseen. Konkreettisimmin asian huomaa työnteossa. Laatu tarkkaillaan koko ajan, jätteet lajitellaan tarkasti ja esimerkiksi valot pyritään sammuttamaan pukuhuoneista, kun niitä ei tarvita. Ruotsinpyhtään tehtaalla on ISO9001 laatu- ja johtamis-sertifikaatti sekä ISO14001 ympäristö-sertifikaatti. Käytössä on myös Six Sigma -kehittämismenetelmä.

Ympäristö- ja laatuasiat ovat itsessään tärkeitä, mutta ne kuuluvat voimakkaasti yhteen energian säästämisen kanssa. Mitä laadukkaammin esimerkiksi tuotantoprosessit hoidetaan, sitä vähemmän kuluu energiaa hylättyjen tuotteiden ja tuotannon jätteiden käsittelyyn.

Lämpöenergian lähteenä käytetään raskasta polttoöljyä. Tehtaan lämpöenergian kulutus oli vielä 5 vuotta sitten melkein 3000 MWh vuodessa, mutta lämpöenergian kulutus on saatu vähennettyä noin 1000 MWh:iin vuodessa. Tässä työssä ei puututa lämpöenergian kulutuksen vähentämiseen, sillä sitä on saatu paljon jo leikattua.

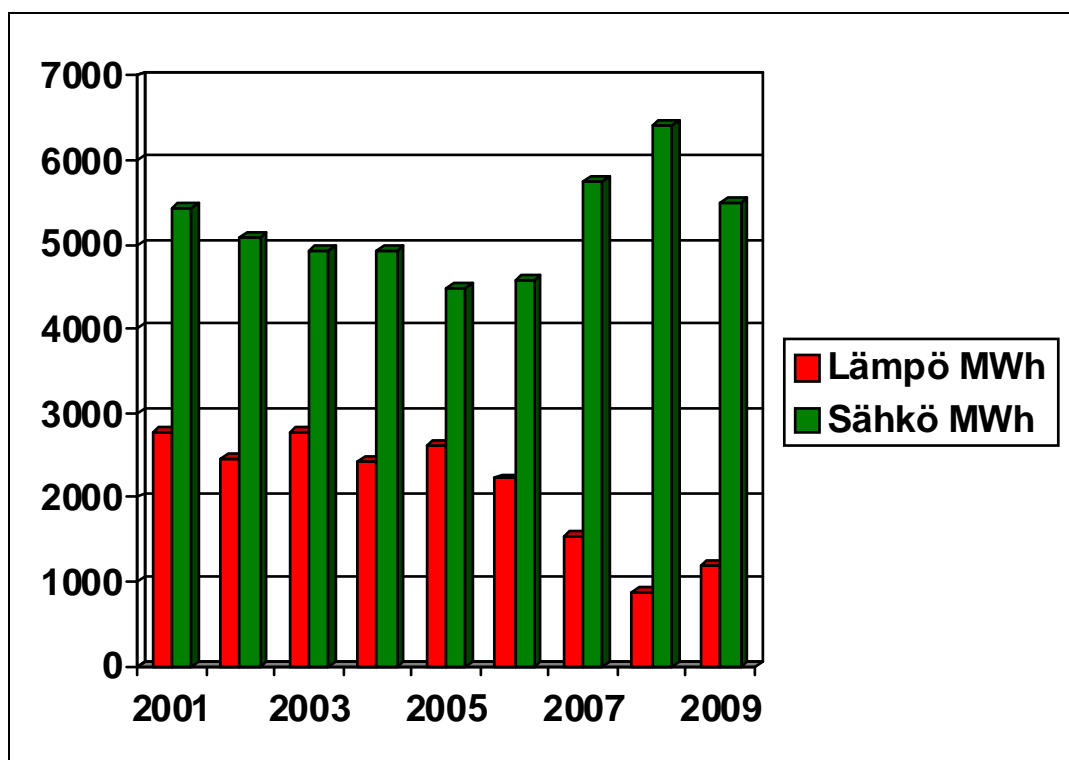
Viimeisten kolmen vuoden aikana sähköenergian kulutus tehtaalla vuosittain on ollut 5000–6000 MWh. Vuonna 2009 sähköenergiaa kului 5170 MWh ja kustannukset olivat 400 000 €:n luokkaa. Tehtaan sähköenergian kulutusta seurataan sähkökeskusten perusteella. Keskuksissa on mittauslaitteistot, jotka tallentavat tietoa seurantajärjestelmään. Myös jotkut yksittäiset koneet kuluvat tähän järjestelmään. Kokonaisenergian kulutuksen seuraamisen kannalta tässä ei ole ongelmaa. Ongelma on sähköenergian kulutuksen jakautumisen selvittäminen. Koska sähkökeskukset on jaettu alueiden perusteella, niissä on sekaisin erilaisia energian kuluttajia. Sähkökeskukseen voi kuulua valaisinryhmiä sekä ruiskukoneita. Tämä piti huomioida kulutuksen jakautumisen selvittämisessä.

Kulutuksen jakautumisen selvittämiseksi valaisimien kuluttama energia piti erottaa sähkökeskusten kokonaiskulutuksista. Laskemalla se onnistui, kunhan vain tiedettiin valaisimien määrä ja niiden ottama teho. Tämän vuoksi kartoitettiin suurin osa tehtaan valaisimista. Valaisimien mahdollisten vaihtojen kannattavuuden selvittämiseksi piti myös tutkia valaisimien liitännälaitteiden ja sytyttimien yhteensopivuutta, sillä esimerkiksi kaikkien valaisimen ”kalusteiden” uusiminen nostaisi kustannuksia.

Myös sähkömoottoreihin liittyviin laskelmiin jouduttiin tekemään selvitys sähkömoottoreiden teknisistä ominaisuuksista. Tämä tapahtui keräämällä tarvittavat tiedot suurimpien sähkömoottorien kilpiarvoista.

2 SÄHKÖENERGIAN KÄYTTÖ TEHTAALLA

Kuvassa 2.1 on kuvaaja tehtaan energian kulutuksesta 2000-luvulla megawattitunteina. Energian kulutus on myös jaettu lämmitysenergiaan ja sähköenergiaan. Sähköenergialla tarkoitetaan kaikkien sähköllä toimivien laitteiden ja koneiden kuluttamaa energiaa. Kuvasta huomataan, että lämmitysenergiaa on pystytty vähentämään noin 1 MWh:n tasolle noin 3 MWh:sta. Mutta silti samaan aikaan sähköenergian kulutus on kasvanut. Vuoden 2007 kohdalla kokonaiskulutus kasvaa noin yhdellä MWh:lla. Tämä johtuu luultavasti muutoksista tuotannossa, eli Ruotsista Ruotsinpyhtään tehtaalle siirrettyjen muovi- ja kokoonpanokoneiden kasvattamasta kulutuksesta.



Kuva 2.1 Tehtaan energian kulutus 2000-luvulla (Energiatehokkuus 2010)

Vuonna 2009 sähköenergiaa kului tarkkaan ottaen yhteensä noin 5170 MWh ja sähköenergian kustannukset olivat noin 400 000 € (Energy actions_august 2010). Työn tarkoitus on leikata 4 % sähköenergian kulutuksesta, mikä toisi vuodessa tällä sähköenergian kulutuksella noin 16 000 €:n taloudellisen säästön.

2.1 Tehtaan lämpöenergia

Energian kulutuksen pienentämisessä lämpöenergian osuuden leikkaaminen alkaa olla vaikeaa. Kuten kuvasta 2.1 nähdään, on lämpöenergian kulutus vähentynyt noin 3 MWh:sta 1 MWh:iin. Ilman kalliita investointeja ei päästä enää juurikaan pienempiin kulutuksiin. Lämpöenergian supistaminen siis toisi mahdollisesti energian säästöä, mutta taloudellista säästöä se ei luultavasti toisi. Insinööri Studio Oy:n tekemässä Energiakatselmusraportissa vuodelta 2001 (Kuvaja & Karhu) todetaan seuraavasti:

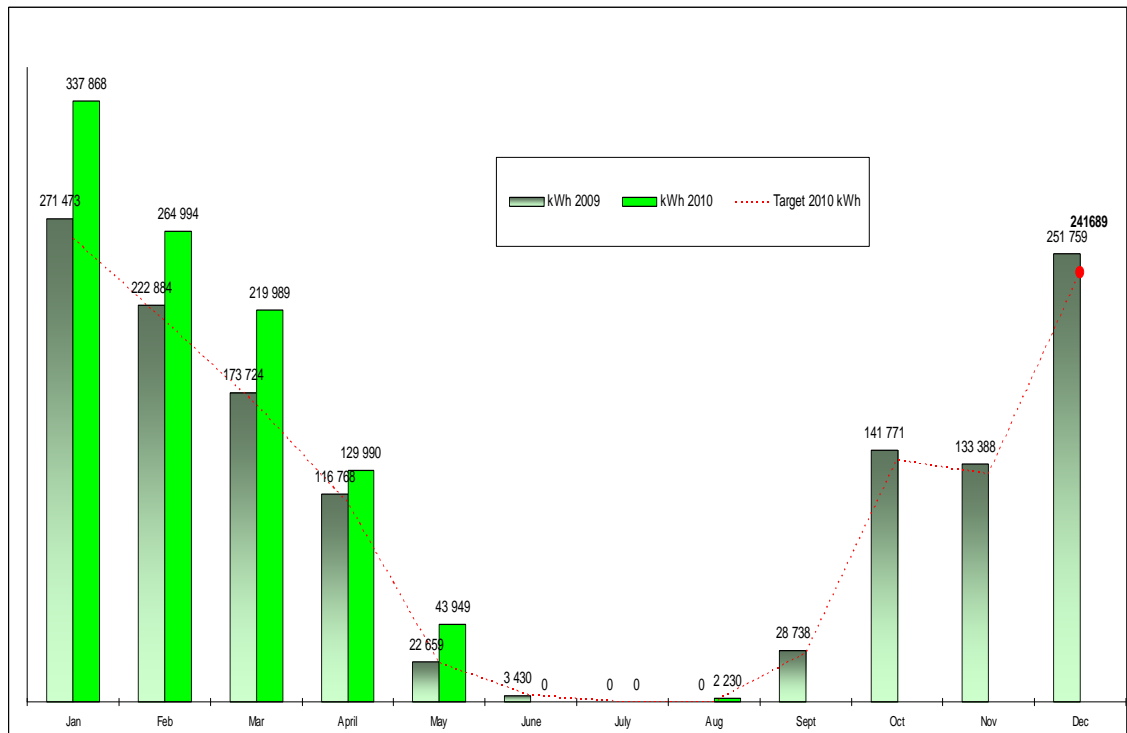
Kiinteistön lämpöenergian nykyinen ominaiskulutus 43,7 kWh/a,r-m³ on tilastollisena arvona pieni. Tilastokeskiarvo energiakatselmuksissa tähän mennessä tutkituissa rakennuksissa on 92,5 kWh/a,r-m³ (keskiarvo muut teollisuuden tuotantorakennukset).

Ehdotamme seuraavien toimenpiteiden suorittamista lämmönkulutuksen pienentämiseksi:

- *lämmitysverkoston perussäätö konttorirakennuksessa*
- *ilmanvaihdon uusiminen metallilevyosastolla*
- *puristamon ajo-oven uusimista ja oviverhohalluksen uusimista*
- *kiinteistön kulutusseurannan parantamista*

Schneider Electricin energiakatselmuksessa vuonna 2008 (Vainio 2010) ehdotetaan lämpöenergian pienentämiseksi vielä mm. seuraavia toimia:

- *käyttöveden esilämmitys paineilmakeksesta talteen otetulla energialla*
- *huonelämpötilojen alennus 21 °C:eesta 20 °C:een*
- *lämpöjohtoverkostojen pumppujen kesäkäyttö.*



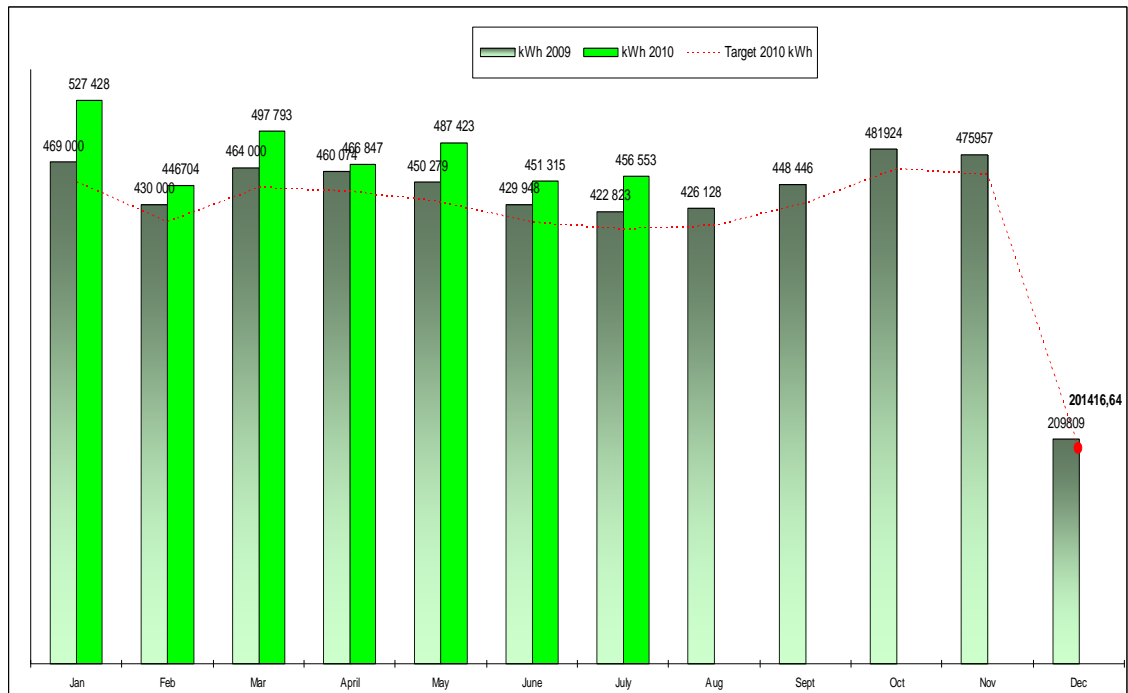
Kuva 2.2 Lämmitysenergia 2009–2010 (Energy actions_august 2010)

Tehtaan lämmitykseen kului vuonna 2009 energiaa noin 1370 MWh. Vuonna 2010 lämmitysenergiaa kului edellistä vuotta reilusti enemmän osaltaan kylmän talven vuoksi. Kuvassa 2.2 näkyvä katkoviiva näyttää tavoitearvon vuodelle 2010.

Kuvasta nähdään selvästi kesän vaikutus lämmitysenergian kulutukseen. Kesän kuukausina lämmitykseen ei ole kulunut energiaa käytännössä yhtään.

2.2 Tehtaan sähköenergia

Sähköenergiaa kului tehtaalla vuonna 2009 noin 5170 MWh. Kuvassa 2.3 on esitelty vuoden 2010 sähköenergian kulutusta heinäkuuhun saakka. Kuvassa näkyy myös vuoden 2009 sähköenergian kulutus sekä tavoitearvo katkoviivalla vuodelle 2010.



Kuva 2.3 Sähköenergia 2009–2010 (Energy actions_august 2010)

Kuten kuvasta 2.3 nähdään, sähköenergian kulutus on kasvanut vuodesta 2009. Syynä voivat olla muutokset tuotannossa, kuten uusi elektroniikkatuotanto-osasto, sekä kokoonpano-osastojen KP1 ja KP2 toimiminen katkeamattomassa kolmivuorossa talven ja kevään 2010 aikana.

Työn tavoitteena on tutkia keinoja, joilla saadaan leikattua sähköenergian kulu-
tusta 4 %. Saavutettua sähköenergian lopullista säästöä on vaikeaa osoittaa toteen, sillä vuosittainen energian kulutus vaihtelee vuosittain monista syistä. Esimerkiksi vuosina 2007, 2008 ja 2009 sähköenergian kulutus on noussut ja laskenut jopa yli 10 %.

Vuoden 2001 Insinööristudion Oy:n Energiakatselmusraportissa (Kuvaja & Karhu 2001) todetaan sähköenergian säästämiseksi seuraavia toimia:

- työkaluosaston valaistussaneeraus
- lähettämön/varaston ja toimiston laskenta ja asiakaspalvelutilojen valaistusohjausmuutokset
- vedenohjauksourujen sulana pidon ohjaukset

Edellä mainitut toimenpiteet ovat niin vähäisiä, etteivät ne pienennä merkittävästi ominaiskulutusta.

Myös Schneider Electricin energiakatselmuksessa vuonna 2008 (Vainio 2010) ehdotetaan sähköenergian pienentämiseksi mm. seuraavia toimia:

- paineilmajärjestelmän vuotokartoitus
- paineilmatuoton optimointi
- tuotantohallien yleisvalaistustehon ja -käytön optimointi
- varastohallien yleisvalaistustehon ja -käytön optimointi
- sähkönkulutuksen mittaus ja seurantajärjestelmä (PMC)
- taajuusmuuttajakäytöt isoimpiin moottoreihin
- ruiskupuristuskoneiden ruiskutus sylinterien eristys
- T12-loisteputkien vaihto T5-loisteputkiin.

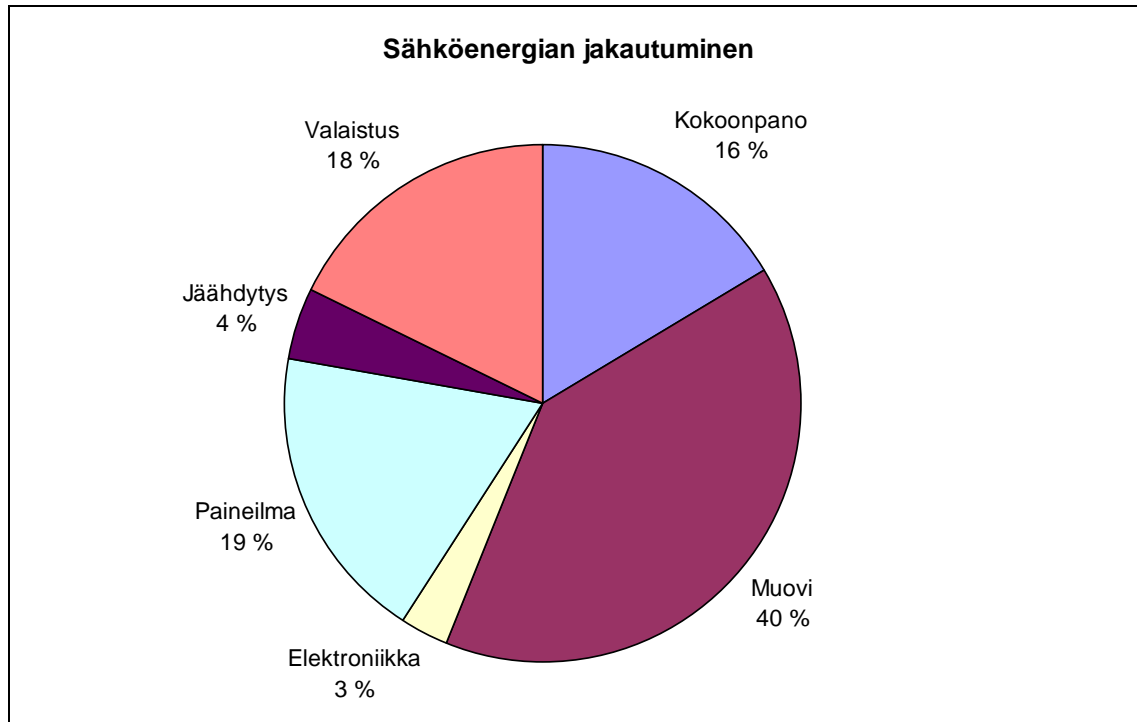
Loistehon kompensointi on toteutettu laitekohtaisena ja keskitettynä kompensointina tehtaan pääkeskuksissa. Loistehomaksuja ei ole syntynyt, eivätkä muuntajat ole ylikuormitettuja, joten lisäkompensointiin ei ole tarvetta. (Kuvaja & Karhu 2001.)

3 SÄHKÖENERGIAN KULUTUKSEN JAKAUTUMINEN

Sähköenergian osuus tarjoaa hyviä mahdollisuuksia energian kulutuksen pienentämiseen. Kuvassa 3.1 nähdään, miten sähkön kulutus on jakautunut vuonna 2010. Sähköenergian kulutus jakaantuu neljään suureen kuluttajaan: muovituotantoon, paineilman tuottoon, valaistukseen ja kokoonpanoon. Kuva 3.1 sähköenergian jakautumisesta on muodostettu sähkökeskusten kulutuksien arvoista (Liite 1).

Sähkökeskusten sähköenergian kulutusta valvotaan mittaus- ja seurantajärjestelmän avulla. Ongelmana on se, että sähkökeskuksissa on sekaisin eri kuluttajia, kuten valaistusta ja ruiskuvalukoneita sekä valaistusta ja kokoonpanon kuluttajia. Nämä piti erottaa laskennallisesti toisistaan, jotta saataisiin selvitettyä sähköenergian kulutuksen jakautuminen. Tehtaan valaistus kartoitettiin valaisin kerrallaan (Liite 2 ja Liite 3) ja niin saatiin erotettua valaisimien osuus keskuksien sähköenergian kulutuksista. Todella tarkka näin saatu sähköenergian jakau-

tumisen mallinnus ei ole, mutta kelpaa suuntaa antavaksi pohjaksi. Sen perusteella nähdään karkeasti, miten kulutus on jakautunut ja mistä kuluttajista olisi hyvä lähteä leikkaamaan kulutusta.



Kuva 3.1 Sähköenergian kulutuksen jakautuminen tehtaalla vuonna 2010

Muoviosasto on ehdottomasti tehtaan suurin sähköenergian kuluttaja, ja siksi se onkin tärkein osa-alue energian kulutuksen pienentämisessä. Se kuluttaa noin 40 % sähköenergiasta. Muoviosastolla on 43 ruiskuvalukonetta, joiden lämpöeristeiden uusimisessa on paljon energian säästöpotentiaalia. Myös muoviraaka-ainekuivurien uusimista kannattaa tutkia.

Paineen tuottamiseksi paineilmajärjestelmään kuluu sähköenergiasta noin 19 %. Paineilma tuotetaan kahdella 90 kW:n sähkömoottorilla ja yhdellä pienemmällä, joka toimii varamoottorina. Suurin osa tuotantolinjoista toimii paineilamalla. Painejärjestelmän vuotokohtia on etsitty ultraäänen avulla ja löydettyjä vuotoja on tukittu.

Tehtaan valaisuun kuluu suunnilleen yhtä paljon sähköenergiaa kuin paineilman tuottamiseen, eli 18 %. Valaistuksessa on paljon potentiaalia säästöön. Valaistuksessa voidaan tutkia, saadaanko järkevää säästöä aikaiseksi valaisimien uusimisella. Säästöä voidaan saada myös jakamalla yleisvalaistusta pienempiin ryhmiin, jotta valaistusta saadaan siellä, missä sitä oikeasti tarvitaan. Myös led-tekniikan tarjoamia mahdollisuuksia voidaan pohtia.

Sähkömoottoreiden kuluttaman sähköenergian osuutta ei ole helppoa selvittää, siksi sähkömoottorit eivät ole oma ryhmänsä sähköenergian jakautumisessa. Sähkömoottoreita on paljon ympäri tehdasta, mutta suurin osa niistä kuuluu ruiskuvalukoneisiin, sekä jonkin verran pienempiä moottoreita kuuluu kokoonpanoon. Jokaiseen ruiskuvalukoneeseen kuuluu sen koosta riippuen nimellistehoaltaan 5-30 kW:n sähkömoottori.

3.1 Muovituotanto

Muoviosasto on tehtaan suurin sähköenergian kuluttaja. Sen osuus on noin 40 % tehtaan vuosittaisesta sähköenergian kulutuksesta. Muoviosastolla valmistetaan tehtaan sisäiseen käyttöön muoviosia, joista valmistetaan kokoonpanolinjoilla ja käsitöinä erilaisia sähkötarvikkeita.

Muovituotannon suurimpia sähköenergian kuluttajia ovat ruiskuvalukoneet. Vanhimmat koneet ovat Aarburgin ja Battenfeldin. Engelin koneet edustavat keski-ikäistä konekanta, ja Demagin koneet ovat uusimpia. Pienimmät koneet ovat puristusvoimaltaan 35 tonnia, ja suurin on 150 tonnia. Suurin osa koneista on puristusvoimaltaan tältä väliltä, eli 70 tonnia.

Jokaisessa koneessa on oma sähkömoottorinsa. Esimerkiksi puristusvoimaltaan 70 t:n (liitteenä olevassa sähkömoottoreiden hyötysuhdeselvityksessä ruiskuvalukoneet on jaoteltu massan perusteella, ja tämän koneen massa on 5300 kg) koneen sähkömoottorin nimellisteho on 15 kW, ja ruiskutus sylinterien lämmitysvastusten yhteen laskettu nimellisteho on 9,2 kW (Paavola 2011). Taa-juusmuuttajien käyttö näissä sähkömoottoreissa on vaikeaa, sillä se olisi käy-

tännössä hankala toteuttaa, ja taajuusmuuttajan kanssa moottori reagoisi liian hitaasti koneen tarpeeseen nähden.

Toinen sähköenergian kuluttaja muovituotantoprosessissa on muoviraaka-aineen kuivaus. Raaka-ainekuivureilla poistetaan muovimateriaalista kosteutta, jotta materiaali olisi sopivaa ruiskuvaluprosessiin. Raaka-ainekuivureita on tehtaalla noin 30 kappaletta.

3.1.1 Ruiskuvalukone

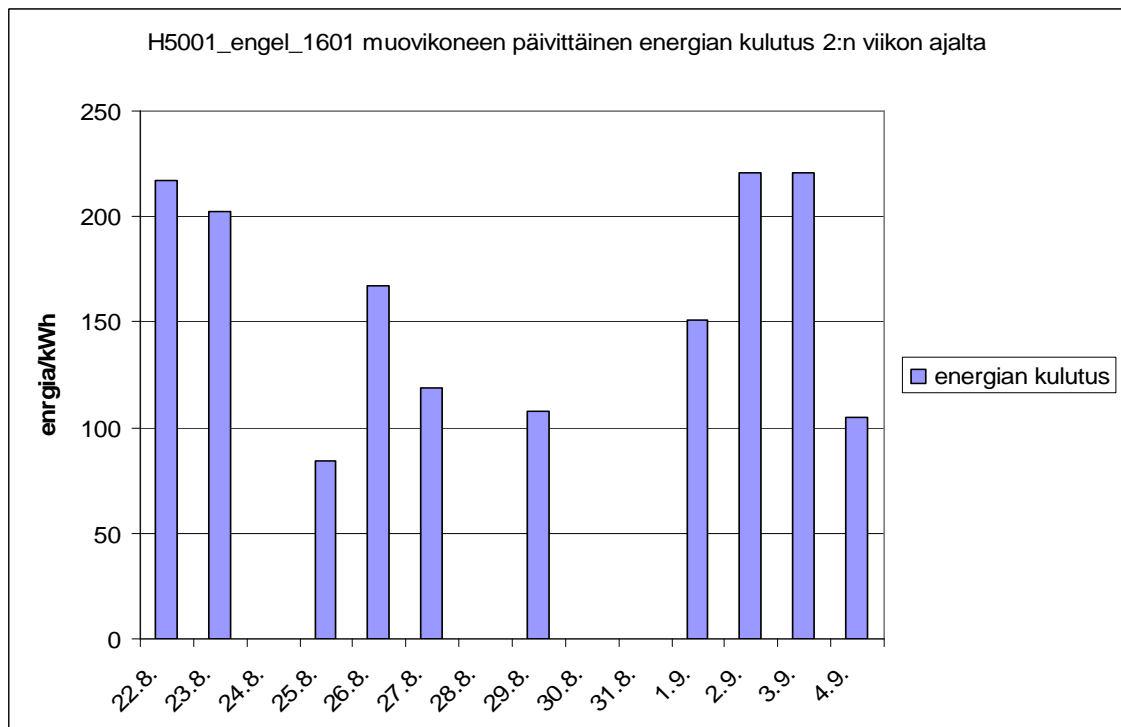
Ruiskuvalukoneella valmistetaan muoviosia ruiskuttamalla viskositeetiltaan ruiskuvalettavassa tilassa oleva muovimassa muottiin. Jäähtyessään massa jähmettyy muotin muotoiseksi. Ruiskuvalukone myös suorittaa muotin avaamiseen ja sulkemiseen tarvittavat liikkeet, pitää muotin puolikkaat kiinni jähmettymisen ajan (sulkuvoima) ja plastisoi eli sulattaa uuden muovimassa-annoksen muotin seuraavaa täyttämistä varten. (Järvelä ym. 1999, 92 - 111.)

Ruiskuvalukoneet jaetaan tavallisesti neljään toiminnalliseen kokonaisuuteen, jotka ovat sulkuyksikkö, ruiskutusyksikkö, käyttöyksikkö ja ohjausyksikkö. Strömforsilla on käytössä vain sähköhydraulisia ruiskuvalukoneita, joissa sähkömoottorit tuottavat tarvittavan voiman ja hydraulikalla välitetään tämä voima. Sähkömoottori kuuluu käyttöyksikköön, joka siis tuottaa ja välittää energian mekaanisiin, suurta voimaa vaativiin liikkeisiin, kuten muotin puolikkaiden yhdessä pitämiseen ruiskutuksen ajan. Ruiskutusyksikössä plastisoidaan eli sulatetaan muoviraaka-aine sopivaksi viskositeetiltaan ja ruiskutetaan lopuksi muottipesään. Sulkuyksikössä muottia avataan valmiin kappaleen ulostyöntöä varten ja suljetaan seuraavaa muovimassan ruiskutusta varten. (Järvelä ym. 1999, 92 - 111.)

3.1.2 Ruiskuvalukoneen energiankulutus

Kuvat 3.2 ja 3.3 näyttävät erään ruiskuvalukoneen seurantatietoja. Seurantatiedot ovat kokonaisuudessaan liitteessä 11. Kyseisessä ruiskuvalukoneessa on nimellistehoaltaan 15 kW:n moottori ja ruiskutus sylinterin lämmitysvastuksien yhteen laskettu nimellisteho on 9,2 kW (Paavola 2011). Kyseisen ruiskuvalukoneen puristusvoima on noin 7 t, ja sen kokonaismassa on 5300 kg. Liitteenä olevassa ruiskuvalukoneiden sähkömoottoreiden hyötysuhdeselvityksessä koneet on jaettu kokonaismassan eikä puristusvoiman perusteella.

Kuvassa 3.2 näkyy ruiskuvalukoneen päivittäinen energian kulutus, ja siitä voidaan päätellä, kuinka paljon muovikonetta on ajettu kahden viikon aikana. Kuvan kaavio on muodostettu seurantajärjestelmän tiedoista. Päivinä, jolloin ruiskuvalukone on ollut ajossa 24 tuntia, on energian kulutus ollut noin 220 kWh. Tarkasteluaika oli yhteensä 336 tuntia, josta koneajoa oli yhteensä 208 tuntia, eli koneajoa oli noin 60 % kokonaisajasta.



Kuva 3.2 Muovikoneen H5001_engel_1601 ($P_{\text{moottori}}=15$ kW ja $P_{\text{nlämmitys}}=9,2$ kW) päivittäinen energian kulutus 2 viikon ajalta

Kuvassa 3.3 on ruiskuvalukoneen ottamia tehoarvoja neljän päivän ajalta. Raportin mukaan ruiskuvalukone on ollut kauan ajossa, ja kuten raportista nähdään, on tehon vuorokautinen keskimääräinen kulutus ollut noin 9 kW. Tehon kulutus vaihtelee jonkin verran ajettavan muovikappaleen mukaan. Tämän kokoisen ruiskuvalukoneen ottama keskiarvoteho on yleensä noin 7-10 kW, mutta moottori toimii 11 kW:n nimellisteholla. Kahden viikon ajalta otettujen energian kulutuksien perusteella tämän ruiskuvalukoneen keskiarvoteho on noin 8 kW.

Hour of Day	Day			
	1.9.2010	2.9.2010	3.9.2010	4.9.2010
0	0,00	10,00	9,00	9,00
1	0,00	9,00	10,00	10,00
2	0,00	9,00	9,00	9,00
3	0,00	10,00	9,00	9,00
4	0,00	9,00	10,00	10,00
5	0,00	9,00	9,00	9,00
6	4,00	9,00	9,00	10,00
7	5,00	10,00	9,00	9,00
8	4,00	9,00	10,00	9,00
9	8,00	9,00	9,00	10,00
10	10,00	10,00	8,00	9,00
11	9,00	9,00	8,00	
12	9,00	9,00	9,00	
13	9,00	9,00	10,00	
14	9,00	10,00	9,00	
15	10,00	9,00	9,00	
16	9,00	9,00	10,00	
17	9,00	9,00	9,00	
18	10,00	10,00	9,00	
19	9,00	9,00	10,00	
20	9,00	9,00	9,00	
21	9,00	9,00	9,00	
22	10,00	8,00	10,00	
23	9,00	9,00	9,00	
Total	151,00	221,00	221,00	103,00

Kuva 3.3 Muovikoneen tyypillisiä energian kulutusarvoja tunneittain (kWh) (H5001_engel_1601, $P_{\text{moottori}}=15$ kW ja $P_{\text{nlämmitys}}=9,2$ kW) (Energy period over period report 2010)

Täytyy ottaa huomioon myös se, että näihin ruiskuvalukoneen ottamiin tehoihin kuuluu ruiskutus sylinterien lämmitysvastuksien ottama teho. Sähkömoottoria ei kuormiteta siis yhtäjaksoisesti, vaan ruiskuvaluprosessin jaksoittaisuuden (Järvelä ym., 1999, 47,48) vuoksi sen kuormitus on melko nopeajaksoista.

3.1.3 Raaka-ainekuivurit

Muoviraaka-aineesta täytyy poistaa kosteus ennen kuin siitä voidaan valmistaa muoviosia ruiskuvalukoneilla. Tämä tehdään raaka-ainekuivureilla, joita on tehtaalla noin 30 kappaletta. Kuivureista puolet on suuri kokoisia. Kuivureita on kolmea tyyppiä:

- kuumailmakuivurit, yölämmitysaika 4-8 h (suurin osa pienikokoisia kuivureita)
- kuivailmakuivurit, yölämmitysaika 2-4 h (suurin osa suurikokoisia kuivureita)
- alipainekuivurit, yölämmitysaika 40–60 min (tehtaalla vain 3 kuivuria).

Kuumailmakuivurit ovat vanhimpia kuivureita, eivätkä ne ole kovin energiatehokkaita. Ne ovat pääasiassa pienikokoisia kuivureita.

Kuivattavat pääraaka-aineet ovat PC-ABS ja PA. PC-ABS-materiaalin kulutus vuonna 2009 oli noin 70 000 kg ja PA-materiaalin kulutus oli noin 60 000 kg. Myös muita muoviraaka-aineita kuivataan, mutta näiden kahden materiaalin kulutus on suurinta.

Kuivureita on paljon (30 kpl), koska jokaisessa kuivurissa kuivataan erilaista materiaalia. Materiaalin tyypin lisäksi myös sen väri vaihtelee. Saman materiaalityypin eri värimuodot vaativat siis jokainen oman kuivurinsa.

3.2 Valaistus

3.2.1 Tietoa valaistuksesta

Tehtaan yleisvalaistus on toteutettu kuvan 3.4 mukaisilla I-Valon valaisimilla, joissa alkuperäinen lamppu on ollut 250 W:n monimetallilamppu (valovirta on 20000 lm, värintoistoindeksi Ra on 90 ja keskimääräinen polttoikä 12000 tuntia, tarkemmin Liite 1). Alkuperäisiä lamppeja on korvattu myöhemmin 250 W:n ke-raamisiin monimetallilamppuihin (valovirta on 24000 lm, värintoistoindeksi 80 ja keskimääräinen polttoikä 24000 tuntia). 250 W:n lamppejen ottama valaisinteho yhteensä on noin 116 kW.

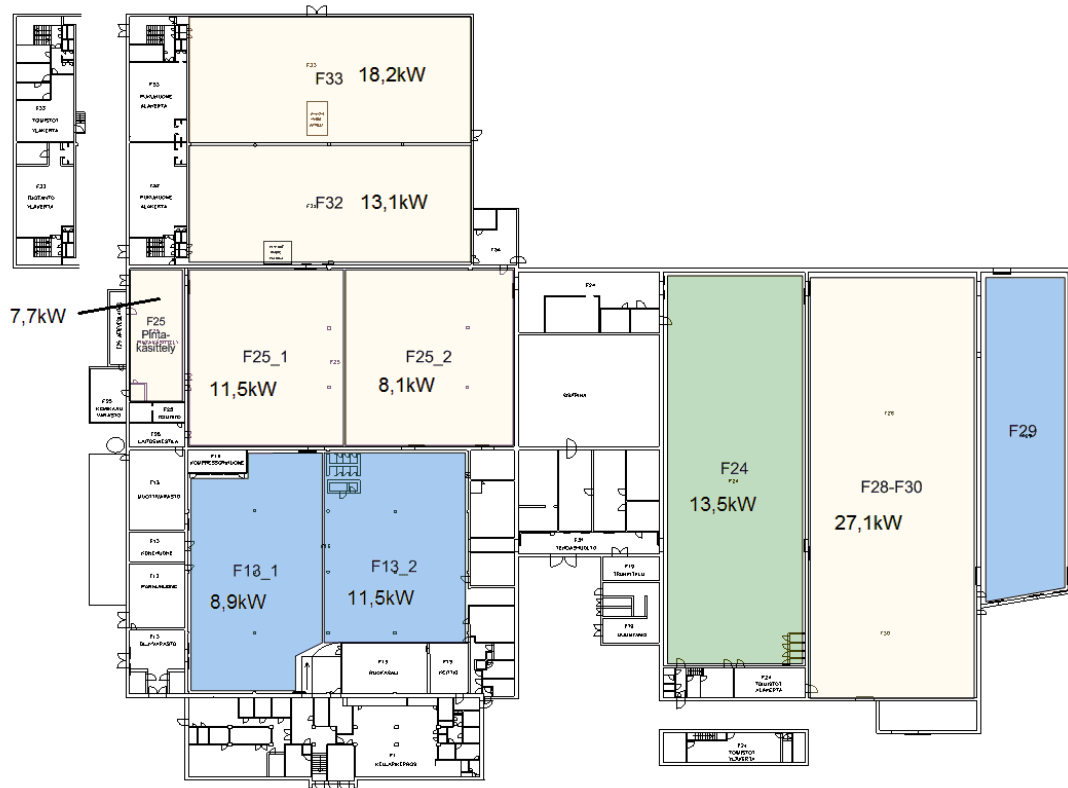
Tehtaan loisteputkivalaisimien yhteenlaskettu teho on noin 94 kW. Loisteputki-valaisimien joukossa on sekaisin T8- ja T5-valaisimia, suurin osa kuitenkin T8-mallia. T8-valaisimien joukossa on 65 W:n ja 58 W:n loisteputkia, sillä vanhat 65 W:n loisteputket vaihdetaan loppuun palaessaan uudempiin 58 W:n putkiin.



Kuva 3.4 Yleisvalaisimen tiedot

Kuvassa 3.5 nähdään valaistuksen ottama kokonaisteho osastoittain. Näistä teholumemista käy ilmi vain se, missä on paljon valotehoa, mutta energian kulutuksen määrää se, kuinka kauan paljon valaistusta käytetään. Valaistuksen

käyttöasteen taas määrää se, kuinka paljon kyseissä tilassa työskennellään, esimerkiksi mikä on vuorojärjestelmä.



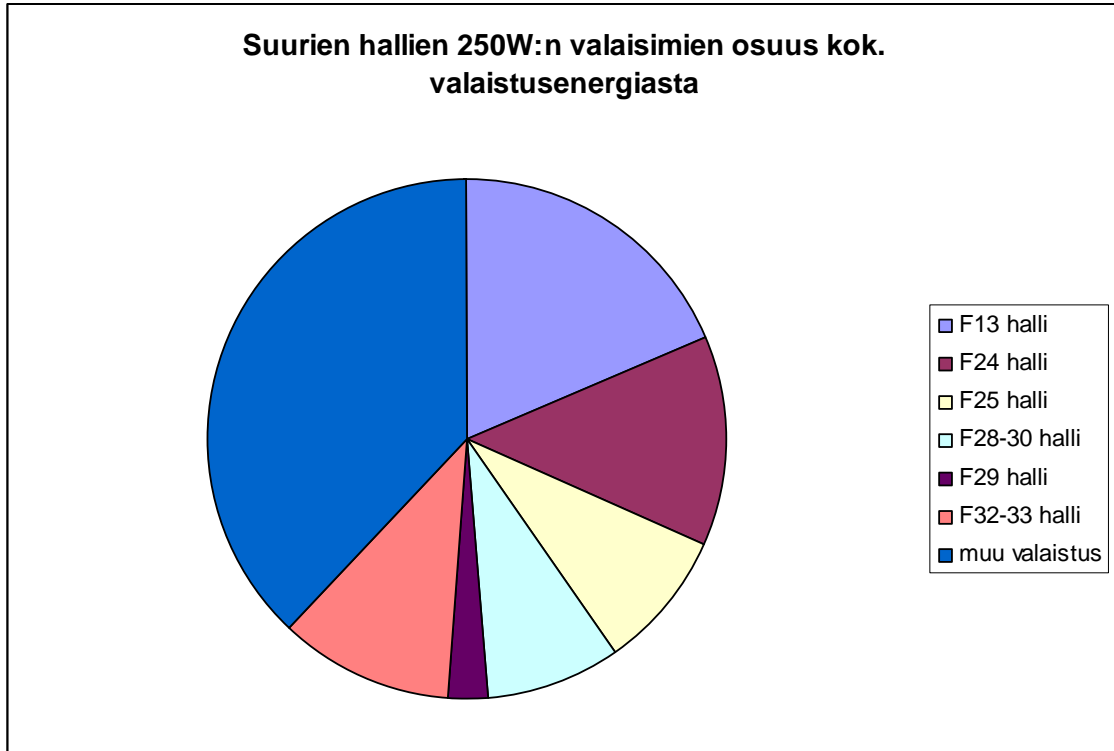
Kuva 3.5 Kiinteän valaistuksen asennustehoja osastoittain (Vainio 2010)

3.2.2 Suurten hallien valaistukseen kuluva sähköenergia

Valaistukseen kuluu vuodessa energiaa noin 930 MWh, josta noin 70 % eli 640 MWh kuluttavat 250 W:n monimetallilamput. 30 % eli 290 MWh valaistuksen kokonaisenergiasta kuluttavat kohdevalaistuksessa ja toimistojen yleisvalaistuksessa käytetyt loisteputkivalaisimet.

Valaistuksen kokonaisenergian kulutuksesta suurin osa menee siis suurien hallien yleisvalaistukseen. F24 eli KP2 ja varastot toimivat kolmivuorossa, ja muoviosasto F13 toimii keskeytymättömässä kolmivuorossa. F33 ja F32 halleissa eli KP1:llä ollaan pääasiassa 2-vuorossa, mutta jotkin kokoonpanolinjoista ovat siirtymässä 3-vuoroon. KP2:lla tehdään usein myös työaikaliukumia, mistä johtuen yöllä valot ovat pois päältä vain noin 6 tuntia. Hallien yleisvalaistuksen tehot ovat suuria ja käyttöajat pitkiä.

Kuvassa 3.6 on esitetty suurten hallien yleisvalaistuksen kuluttaman sähköenergian suhdetta muuhun valaistukseen eli käytännössä loisteputkivalaisimiin.



Kuva 3.6 Suurien hallien yleisvalaistuksen kuluttama sähköenergia

3.3 Paineilman tuottaminen

Tehtaan tuotantolinjat toimivat paineilmalla. Sähköisesti ohjataan venttiileitä, jotka jakavat paineilmaa mekaanisille toimijoille.

Mittaustiedot kompressoreista ja järjestelmästä ovat peräisin paineilmajärjestelmän tutkimuksesta. Tutkimuksen tulokset on kerätty raporttiin Raportti Syy-nistä 3.9–9.9.2009. Noin viikon tarkastelujakson aikana mitattiin kompressoreiden ottamat virrat. Paineet mitattiin heti kompressoreiden jälkeen ja muista kohdista paineverkkoa. Raporttiin kuuluvat mm. havainnot paineilmajärjestelmästä, energiatalous ja parannusehdotuksia.

Painejärjestelmään tuotetaan paine kolmella kompressorilla, jotka ovat:

Kompressori 1	55 kW 9,3 m ³ /min (nimellistuotto)
Kompressori 2	90 kW, keskimääräinen teho 57,8 kW, U=378 V, cosφ=0,86 13 m ³ /min (nimellistuotto), keskituotto 6 m ³ /min Teho-tuottosuhde 57,8kW/(6 m ³ /min)= 9.6 kW/(m ³ /min) 7 bar
Kompressori 3	97 kW, keskimääräinen teho 32,4 kW, U=386 V, cosφ=0,85 13 m ³ /min (nimellistuotto), keskituotto 2,0 m ³ /min Teho-tuottosuhde 32,4kW/(2,0 m ³ /min)= 16 kW/(m ³ /min) 7,2 bar

Arvioitu vuotuinen käyttöaika on noin 8 000 h.

Kompressoreiden jännitteet ja paineilman tuotot ovat mitattuja arvoja. Kompressoreiden tuottaman paineilman määrä vaihteli välillä 5 - 18 m³/min. Paineilman kulutus vaihtelee vuorokauden ajan mukaan. Aamu- ja iltavuorossa se on suurinta, yöllä vähäisempää. Kompressoreiden yhteenlaskettu nimellistuotto oli 35,3 m³/min. Mitattu paineilman keskituotto oli 7,6 m³/min, ja kuormituksen keskiarvo suhteessa yhteenlaskettuun nimellistuottoon oli 23 %. Viikonloppuisin paineilman tuotto oli vain noin 3,5 m³/min. (Heimonen 2009.)

Kompressoreiden yhteenlaskettu keskimääräinen tehon kulutus oli mittauksen aikana noin 90 kW. Kompressoreiden ottama teho vaihteli välillä 46,5 - 180,0 kW. Kompressoreiden ottama huipputeho oli 180 kW, joten kompressoreiden tehoa ei voi ainakaan nykyisellä paineilman kulutuksella laskea, sillä muuten paineilmaa ei pystytä tuottamaan tarpeeksi kulutuksen ollessa suurinta. (Heimonen 2009.)

Kompressorit 1 ja 2 kävi mittauksen aikana arkipäivinä päiväaikaan melko hyvällä käyttöasteella. Mittausjakson aikana kompressorit 3:n kuormitusaste oli niin pieni, että kompressorit pysähtyi ajoittain. Sen tuottaman ilmamäärän keskiarvo, 2 m³/min, on noin 15 % nimellistuotosta. (Heimonen 2009.)

Kompressorien tuottama paineilma on kuumaa ja kosteaa. Siksi käytetään kahden jäähdytyskuivainta, jotka muokkaavat paineilman käytettävään muotoon. Kompressorit 1 ja 2 käyttävät samaa kuivainta, mutta kompressorin 3 on integroitu oma kuivain (Raportti syynistä 2009). Oman kuivaimen vuoksi kompressorin 3:n tehoksi on ilmoitettu 97 kW. 2. ja 3. kompressoreiden sähkömoottoreiden nimellisteho on 90 kW. (Heimonen 2009.)

Paineilmajärjestelmässä on 10 m³:n säiliö. Paineilma matkallaan verkkoon ei kulje säiliön läpi, vaan säiliö toimii varastosäiliönä. Tällöin säiliön kyky jäähdyttää paineilmaa sekä poistaa siitä vettä jää hyödyntämättä. Kompressoreiden kannalta se toimii kuitenkin hyödyksi niin, että se hidastaa paineen laskua ja nousua. (Heimonen 2009.)

Kompressoreja ohjaa Sarlinin kompressorin valvonta- ja ohjausjärjestelmä. Se mahdollistaa paineen taloudellisen verkkopainesäädön, kompressorien vuorottelun ja tärkeiden ominaisuuksien seurannan. Ohjausjärjestelmä toimii periaatteessa oikein. Koneet vuorottelevat niin, että toinen kompressorin on pääkompressorina arkisin ja toinen viikonloppuisin. Kompressorin 1 ei ole ohjausjärjestelmässä, vaikka se olisi esimerkiksi viikonloppuisin kapasiteetiltaan sopivampi kompressorin ilmapulutukseen nähden. Paineilman kulutus viikonloppuisin on noin 3,5 m³/min. (Heimonen 2009.)

Painetaso vaihtelee verkossa ovat suhteellisen suuret silloin kun kaksi kompressorin käy. Paine mittauspisteessä ennen paineen kulutusta oli vaihdellut välillä 6,01–7,12 bar. Keskimääräisesti se oli ollut 6,63 bar. Pienempään painevaihteluun on mahdollista päästä ohjausjärjestelmän optimoinnilla. Ongelmana saattaa olla myös koneiden omat paineasetukset, jotka voivat olla päällekkäin järjestelmän asetuksien kanssa. (Heimonen 2009.)

4 INVESTOINNIN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

4.1 Sähköenergian hinta

Sähköenergian hinta määräytyy kysynnän ja tarjonnan mukaan pohjoismaises-
sa sähköpörssissä, josta sitä voidaan ostaa erilaisilla lopulliseen kokonaishin-
taan vaikuttavilla sopimuksilla (Halonen 2008). Sähköenergian hinta vaikuttaa
suoraan investoinnin kannattavuuteen, mutta tässä tutkimuksessa oletetaan
sähköenergian hinnan pysyvän muuttumattomana. Laskelmissa käytetyn säh-
köenergian hinnan tarkkuudeksi on valittu vuoden 2010 keskimääräinen hinta.

Vuonna 2010 sähköenergiaa on ostettu keskiarvohinnalla 7,756 snt/kWh, johon
sisältyy siirtohintaa ja muita kuluja (Vainio 2011). Tätä sähköenergian hintaa on
käytetty kaikissa säästölaskelmissa.

4.2 Investoinnin taloudellisen kannattavuuden laskeminen

Investoinnin taloudellisen kannattavuuden laskemiseksi on erilaisia menetelmiä
(Halonen 2008, 16–17), kuten yksinkertaisen takaisinmaksuajan menetelmä,
annuiteetti-, nykyarvo- ja sisäisen koron menetelmä. Näissä menetelmissä ote-
taan huomioon rahan arvon muutoksia ja korkoja. Myös säästöä tarkastellaan
hieman erilaisista näkökulmista.

Tässä työssä investoinnin kannattavuutta tutkitaan vain yksinkertaisen ta-
kaisinmaksuajan menetelmällä. Investoinnin takaisinmaksuajaksi on sovittu kor-
keintaan 5 vuotta.

Yksinkertaisen takaisinmaksuajan menetelmässä ei oteta huomioon korkoa tai
rahan arvon muutosta, vaan lasketaan kuinka kauan investoinnista saatavalla
tuotolla kestää ylittää investoinnin arvo.

Takaisinmaksuaika saadaan yksinkertaisesta yhtälöstä:

$$t = \frac{H}{q} \quad (4.1)$$

t= takaisinmaksu aika (a)

H= investoinnin suuruus (€)

q= vuosittainen säästö (€)

5 RUISKUVALUKONEEN TEORETTISET SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOT

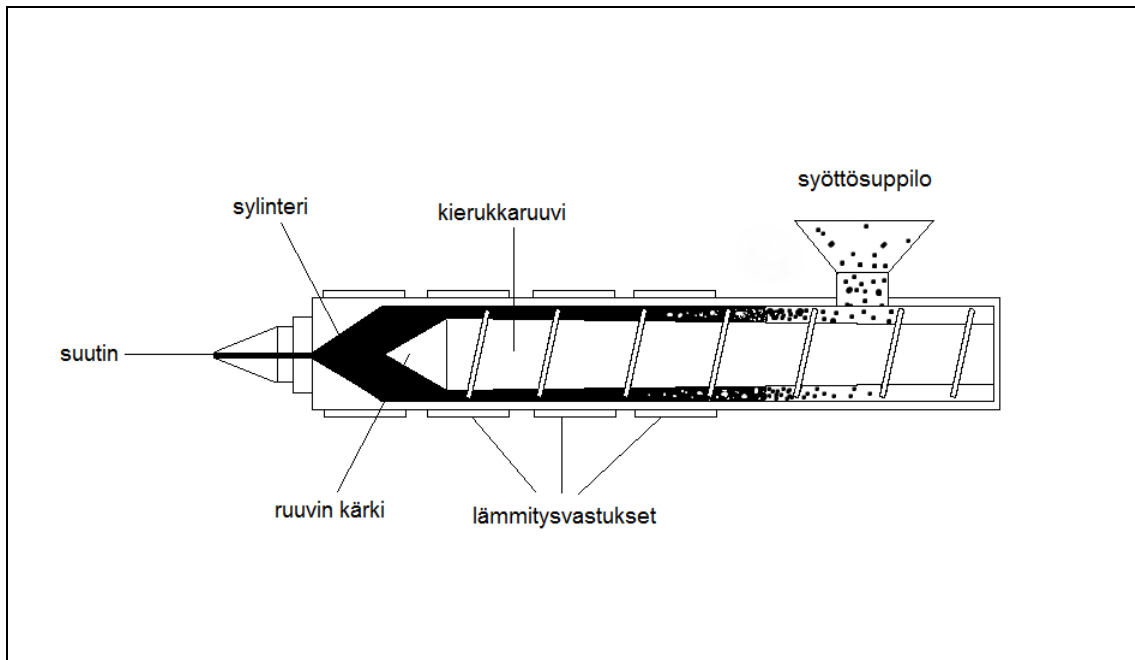
Jokaiseen ruiskuvalukoneeseen kuuluu sen koosta riippuen nimellisteholtaan 5-30 kW:n sähkömoottori, sekä ruiskutussylinterin nimellisteholtaan 1,5-2 kW:n lämmitysvastukset, joita on konetta kohden 3-5.

Ruiskuvalukoneiden sähköenergian kulutuksen pienentämiseksi on ajateltu ruiskutussylinterien lämmitysvastuksien eristämistä. Tutkitaan myös sähkömoottoreiden uusimista moottoreilla, joissa on korkeampi hyötysuhde.

5.1 Ruiskutussylinterien lämmitysvastuksien eristäminen

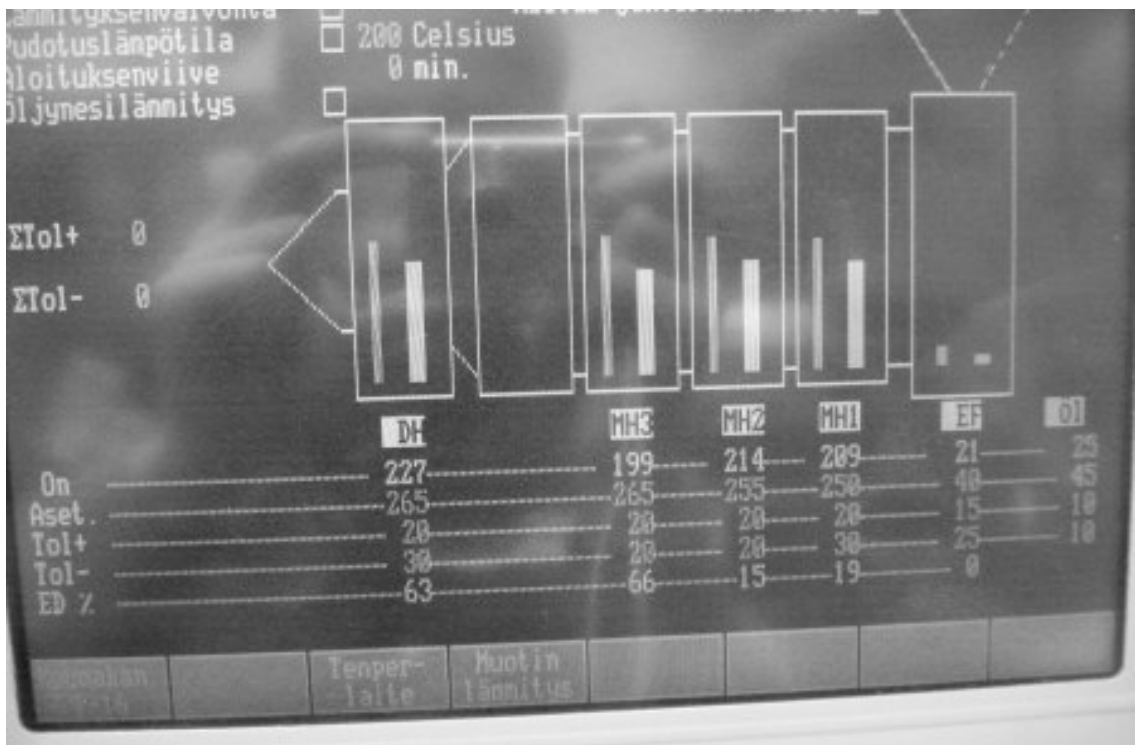
5.1.1 Nykyinen ruiskutussylinteri

Muovimateriaalia sulatetaan ruiskutussylinterissä sylinteriin asennettujen lämmitysvastusten avulla, jotka näkyvät kuvassa 5.1. Tällä hetkellä lämmitysvastuksien lämmittämät vyöhykkeet eivät ole mitenkään eristettyjä. Sylinteri on jaettu lämmitysvyöhykkeisiin, joissa on ruiskutusprosessin oikeanlaisen toimimisen kannalta hieman toisistaan eroavat lämpötilat. Muovin pitää esimerkiksi liikkua oikealla nopeudella, sekä sulaa ja homogenoitua tehokkaasti oikeassa tahdissa (Järvelä ym., 1999).



Kuva 5.1 Ruiskutusyksikkö

Vyöhykkeiden lämpötilat ovat noin 250–270 °C ja lämpötila yleensä nousee 5–10 °C vyöhykkeittäin mitä lähemmäs mennään sylinterin kärkeä. Kuvassa 5.2 on kuva näytöstä, jossa näkyy käynnistyvän ruiskuvalukoneen vyöhykkeiden sen hetkiset ja asetetut lämpötila-arvot.



Kuva 5.2 Ruiskuvalukoneen ruiskutus­sylinterin vyöhykkeiden lämpötiloja

Tällä hetkellä lämmitysvastukset ja vyöhykkeet eivät siis ole lämpöeristettyjä. Lämmitysvastuksien eristämällä saataisiin aikaan sähköenergian säästöä, sillä lämpöä menisi hukkaan vähemmän, joten lämmitysvastukset kuluttaisivat vähemmän. Sen lisäksi lämmitysvyöhykkeiden lämpötilaerot paremmin huomioon ottava eristäminen voi parantaa ruiskutusprosessin toimintaa ja siten laatua.

5.1.2 Koemittaus eristysvaipalla

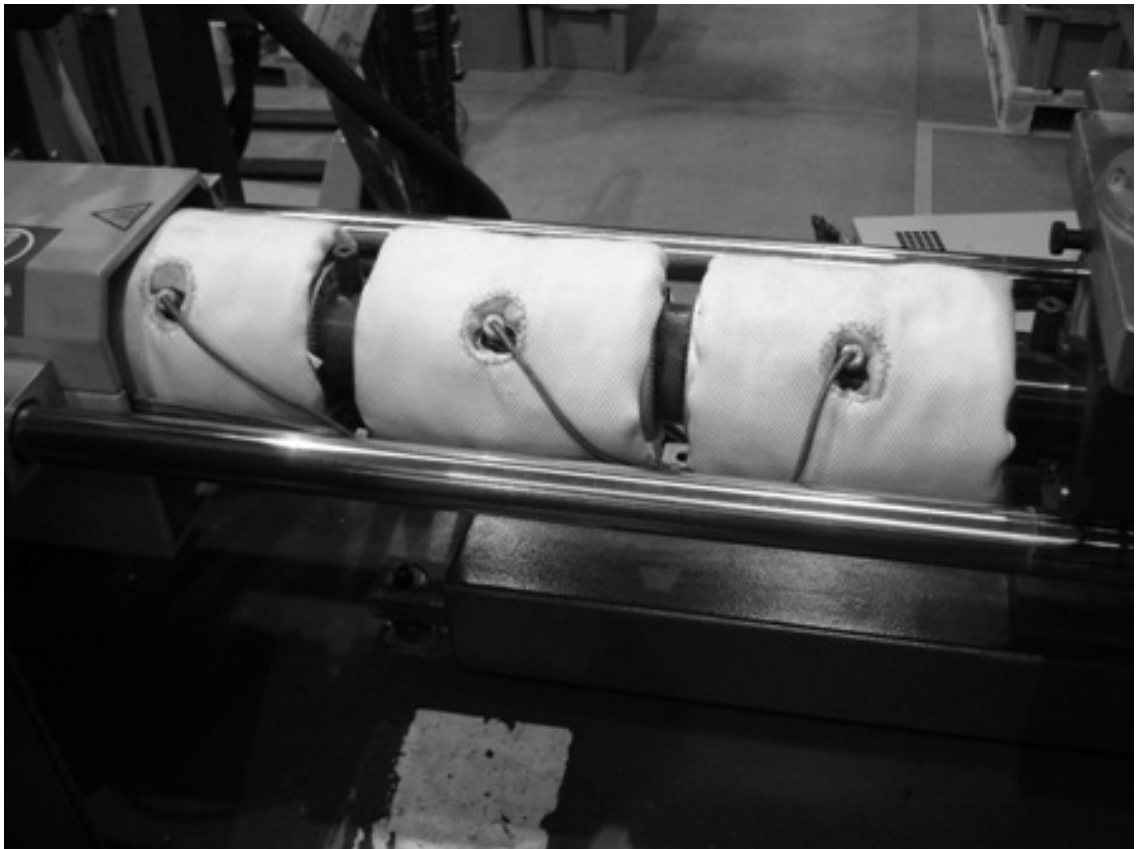
Kuvassa 5.3 näkyy yhtenäinen eristysvaippa, joka asennettuna suoritettiin koemittaus seurantajärjestelmään kuuluvalla ruiskuvalukoneella lopputalvella 2010. Yhtenäisen eristysvaipan alla lämmitysvyöhykkeiden lämpötilaerot pyrkivät tasoittumaan, ja oikeanlaisten lämpötilojen ylläpitäminen voi olla haasteellista. Eristeitä valmistavalta yritykseltä onkin tilattu jo yksittäisille lämmitysvastuksille räätälöityjä lämpöeristeitä. Tämä auttaa säilyttämään tarvittavat lämpötilaerot sylinterin vyöhykkeissä.



Kuva 5.3 Kuva eräästä ruiskutus sylinteristä, jossa on yhtenäinen lämpöeristysvaippa

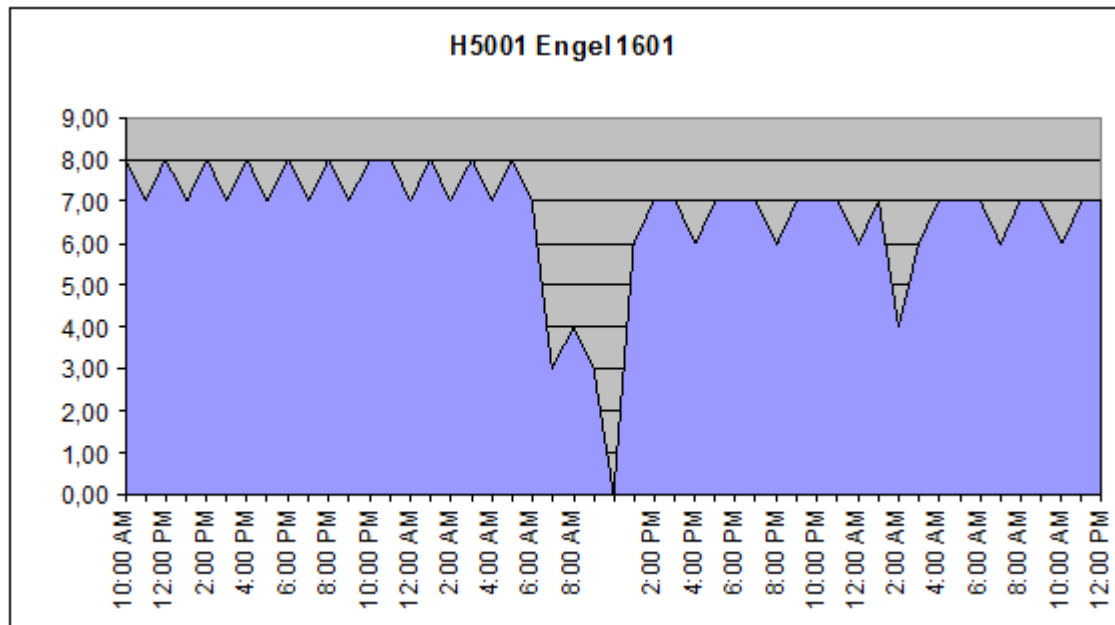
Koemittaus kuvassa 5.3 näkyvällä lämpöeristeellä on suoritettu jo lopputalvella 2010. Tarkoitus on tehdä vielä yksi uusi mittaus yksittäisille vyöhykkeille räätälöidyillä eristeillä sellaisella ruiskuvalukoneella, jossa on asennettuna seurantalaitteisto. Seurantalaitteisto seuraa koko ruiskuvalukoneen energian kulutusta, joten mittauksesta käy ilmi mahdollinen muutos koko koneen energian kulutuksessa. Mittaus suoritetaan siten, että mitataan ruiskuvalukoneen kokonaisenergian kulutus ensin ilman lämpöeristeitä. Uusien eristysvaippojen asennuksen jälkeen mittaus uusitaan. Jotta energian kulutuslukemat olisivat verrattavissa toisiinsa, täytyy kummatkin mittaukset suorittaa saman muovikappaleen ajon aikana, sillä muovikappaleiden ruiskuvalujaksot eroavat toisistaan ja sulattamiseen tarvittava lämpötila vaihtelee muovimateriaalien välillä.

Kuvassa 5.4 on ruiskutussylinterin eristys toteutettuna vyöhykekohtaisella eristyksellä. Pieni rako eristeiden välissä auttaa säilyttämään vyöhykkeiden lämpötilaerot.



Kuva 5.4 Yksittäisille vyöhykkeille tehdyt eristeet

Kuvassa 5.5 nähdään ruiskutus sylinterin eristämisen vaikutusta ruiskuvalukoneen kokonaissähköenergian kulutuksessa. Tämän ruiskuvalukoneen sähköenergian kulutusta ja tehon tarvetta on esitelty aiemmin kuvissa 3.2 ja 3.3. Alustava mittaus on suoritettu loppupalvella 2010, jonka tulosten perusteella kuva 5.5 on muodostettu.



Kuva 5.5 Ruiskutus sylinterin eristyksen uusimisen vaikutus engelin muovikoneessa ($P_{\text{moottori}}=15 \text{ kW}$ ja $P_{\text{lämmitys}}=9,2 \text{ kW}$) (Energiatehokkuus 2010)

Mittaustuloksen perusteella koko ruiskuvalukoneen ottamasta noin 8 kW:n tarvittavasta tehosta leikkaantuu noin 1 kW pois. Koemittauksen perusteella näyttää siltä, että ruiskuvalukoneen sähköenergian kulutusta saadaan pienennettyä noin 12,5 % lämpövastuksien eristämällä.

5.1.3 Ruiskuvalukoneen vyöhykkeiden eristämisen tuottama säästö

Ruiskuvalukone, jolla koemittaus suoritettiin, on puristusvoimaltaan 70 tonnia, kuten suurin osa 43 muovikoneesta. On myös kooltaan muutama pienempi ja suurempi ruiskuvalukone. Jokaisen ruiskuvalukoneen sähköenergian kulutusta ei voida mitata tarkasti, joten oletetaan laskelmissa, että kaikki ruiskuvalukoneet

ovat keskikokoisia, kuten koemittauksen ruiskuvalukone. Koemittauksessa käytettävän koneen käyttöaste oli noin 60 %, jota pidetään keskimääräisenä käyttöasteena muillakin koneilla. Käyttöasteen ollessa 60 % tulee ruiskuvalukoneen vuotuiseksi käyttöajaksi 216 päivää.

Jokaisessa ruiskuvalukoneessa on 3-4 lämmitettävää vyöhykettä, ja jokaiseen koneeseen tulee yksi eristyssarja, jonka hinta on keskimääräisesti noin 400 € (Vainio 2011).

Ruiskuvalukoneiden eristämisen investoinnin suuruus on

$$H = 43 \cdot 400\text{€} = 17200\text{€}$$

Vuosittainen säästö tällä toimenpiteellä on

$$q = 1\text{kW} \cdot 43 \cdot 24\text{h} \cdot 216 \cdot 0,07756\text{€/kWh} \approx 17300\text{€}$$

Takaisinmaksuaika on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{17200\text{€}}{17300\text{€}} \approx 1 \text{ vuosi}$$

Laskelman perusteella lämmitysvastuksien eristäminen on todella kannattavaa, sillä investointi maksaa itsensä jo vuodessa takaisin. Pelkästään jo tällä toimenpiteellä päästään tavoitteena olevaan 4 %:n säästöön vuosittaisessa sähköenergian kulutuksessa.

5.2 Sähkömoottoreiden hyötysuhteen parantaminen

Toinen keino ruiskuvalukoneiden sähköenergian kulutuksen pienentämiseksi on uusien sähkömoottoreiden hankkiminen. Paremmalla moottorien hyötysuhteella on mahdollista saada säästöä aikaiseksi.

5.2.1 Sähkömoottorin sähköenergian kulutus

Lämpöeristämättömän ja lämpöeristetyin ruiskuvalukoneen vertaileminen on helppoa, koska siinä tarvitsee suorittaa kaksi mittausta samoissa olosuhteissa. Joissain koneissa on seurantalaitteisto, jolla seurataan koko ruiskuvalukoneen energian kulutusta, mutta ei erikseen sähkömoottorin tai lämmitysvastuksien kulutusta. Koska uuden sähkömoottorin asentaminen koemielessä ei ole järkevää, täytyy paremman hyötysuhteen moottorin vaikutus energian kulutukseen laskea. Tämä edellyttää sitä, että tiedämme miten ruiskuvalukoneen energian kulutus jakautuu sähkömoottorin ja lämmitysvastuksien suhteen, sillä koneen kokonaisenergian kulutus tiedetään. Pitää tietää vanhan sähkömoottorin energian kulutus tietyssä ajassa, jotta voidaan laskea paremman hyötysuhteen moottorin tuottama sähköenergian säästö.

5.2.2 Sähkömoottoreiden hyötysuhteiden selvittäminen

Käytössä olevien sähkömoottoreiden hyötysuhteet oli selvitettävä, jotta voitaisiin vertailla laskennallisesti uudempien sähkömoottoreiden vaikutusta sähköenergian kulutukseen. Ongelmana oli, että ruiskuvalukoneiden nykyisten moottorien tietoja ei löytynyt kirjallisista lähteistä. Tai jos olisi löytynyt, olisivat tiedot olleet liian hajallaan. Päätettiin selvittää kaikkien ruiskuvalukoneiden sähkömoottorien kilpiarvot (Liite 4), jotta voitaisiin laskea moottorien hyötysuhteet, jotka saadaan kaavasta:

$$\eta = \frac{P_{\text{anto}}}{P_{\text{otto}}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi} \quad (5.1)$$

η = hyötysuhde

P_{anto} = sähkömoottorin akseliteho

P_{otto} = sähkömoottorin verkosta ottama teho

U = jännite

I = virta

$\cos \varphi$ = tehokerroin

Yhteensä 42 sähkömoottorin kilpiarvot kerättiin, joista 2 sähkömoottoria oli paineilmajärjestelmän 90 kW:n moottoreita ja loput ruiskuvalukoneiden

5,5–30 kW:n sähkömoottoreita. Suurin osa sähkömoottoreista on teholtaan 11–15 kW. Näissä moottoreissa tyypillinen nimellishyötysuhde oli 0,86–0,88. Yli 20 kW:n sähkömoottoreissa nimellishyötysuhde oli noin 0,90 ja kahdessa 90 kW:n moottorissa nimellishyötysuhteet olivat 0,94. Kuvassa 5.6 on erään moottorin kilpiarvot.



Kuva 5.6 Erään ruiskuvalukoneen 11 kW:n sähkömoottorin kilpiarvot

Kilpiarvoista selvisi sähkömoottorin antama teho eli akseliteho, moottorin otta-
ma jännite ja virta, sekä kosini φ (kuvaaa pätötehon ja näennäistehon suhdetta).
Näin saadaan laskettua esimerkiksi Demagin ruiskuvalukoneen 11 kW:n säh-
kömoottorin nimellishyötysuhde

$$\eta = \frac{11 \cdot 10^3 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 21 \text{ A} \cdot 0,87} = 0,869$$

5.2.3 Uuden energiatehokkaamman sähkömoottorin tuottama säästö

Aikaisemmin seurattiin ruiskuvalukoneen energian kulutusta 2 viikon ajan. Karkeasti laskettuna 14:sta päivästä 7 päivää oli koneajoa. Koneajoa todettiin olevan noin 60 % kokonaisajasta. Muovikoneiden kanssa kauan työskennelleen huoltomiehen mukaan sähkömoottorin osuus ruiskuvalukoneen kuluttamasta kokonaisenergiasta on reilusti yli puolet (tarkka osuus selviää sähkömoottorille suoritettavalla mittauksella, arvio 60–70 %), ja lopun energiasta kuluttavat lämmitysvastukset.

Valitaan hyötysuhdeselvityksestä sellainen sähkömoottori laskelmaa varten, jossa on mahdollisimman alhainen hyötysuhde. Otetaan esimerkiksi Demagin ruiskuvalukone, jossa on 11 kW:n sähkömoottori ja sen nimellishyötysuhde 0,869. Tehtaalla niitä on yhteensä 8 kappaletta. Oletetaan, että sähkömoottorin osuus ruiskuvalukoneen kuluttamasta kokonaisenergiasta on 50 %. Koska ruiskuvalukoneen arvioitu käyttöaste on noin 60 %, tarkoittaa tämä vuodessa yhteensä 216 päivää ajoa. 2 viikon seurannan perusteella laskettu keskiarvoteho oli noin 8 kW, joten oletetaan, että sähkömoottorin ottama keskiarvoteho on 4 kW. Sähköenergiaa sähkömoottori kuluttaa siis:

$$4kW \cdot 216 \cdot 24h = 20736kWh$$

Sähkömoottori käy 11 kW:n nimellisteholla ja nimellishyötysuhde on 0,869, joten vuodessa se käy päivinä yhteensä:

$$\frac{11kW}{0,869} \cdot 24h \cdot x = 20736kWh$$

$$x = \frac{20736kWh}{\frac{11kW}{0,869} \cdot 24h} = 68,256 \approx 70$$

Kun tiedetään, että vuodessa sähkömoottori käy noin 70 päivää yhtä mittaa, voidaan laskea vuosittainen kulutus uudella IE2 (entinen eff1-luokka) moottorilla (VEM Motors Finland Oy 2009), jonka hyötysuhde on 0,91 (kuva 5.7).

Uusi sähkömoottori kuluttaa vuodessa energiaa:

$$E = (11kW \div 0,91) \cdot 24h \cdot 68,256 \approx 19800kWh$$

4-napaiset moottorit			
Teho (kW)	EFF3 (%)	EFF2 (%)	EFF1 (%)
1,1	< 76,2	≥ 76,2	≥ 83,8
1,5	< 78,5	≥ 78,5	≥ 85,0
2,2	< 81,0	≥ 81,0	≥ 86,4
3,0	< 82,6	≥ 82,6	≥ 87,4
4,0	< 84,2	≥ 84,2	≥ 88,3
5,5	< 85,7	≥ 85,7	≥ 89,2
7,5	< 87,0	≥ 87,0	≥ 90,1
11,0	< 88,4	≥ 88,4	≥ 91,0
15,0	< 89,4	≥ 89,4	≥ 91,8
18,5	< 90,0	≥ 90,0	≥ 92,2
22,0	< 90,5	≥ 90,5	≥ 92,6
30,0	< 91,4	≥ 91,4	≥ 93,2
37,0	< 92,0	≥ 92,0	≥ 93,6
45,0	< 92,5	≥ 92,5	≥ 93,9
55,0	< 93,0	≥ 93,0	≥ 94,2
75,0	< 93,6	≥ 93,6	≥ 94,7
90,0	< 93,9	≥ 93,9	≥ 95,0

Kuva 5.7 Hyötysuhdeluokkien väliset raja-arvot (Motiva Oy 2004)

Vuosittainen säästö uudella sähkömoottorilla on

$$q = (20736kWh - 19800kWh) \cdot 0,07756\text{€}/kWh \approx 70\text{€}$$

Investointi uuteen sähkömoottoriin on (SLO)

$$H = 1200\text{€}$$

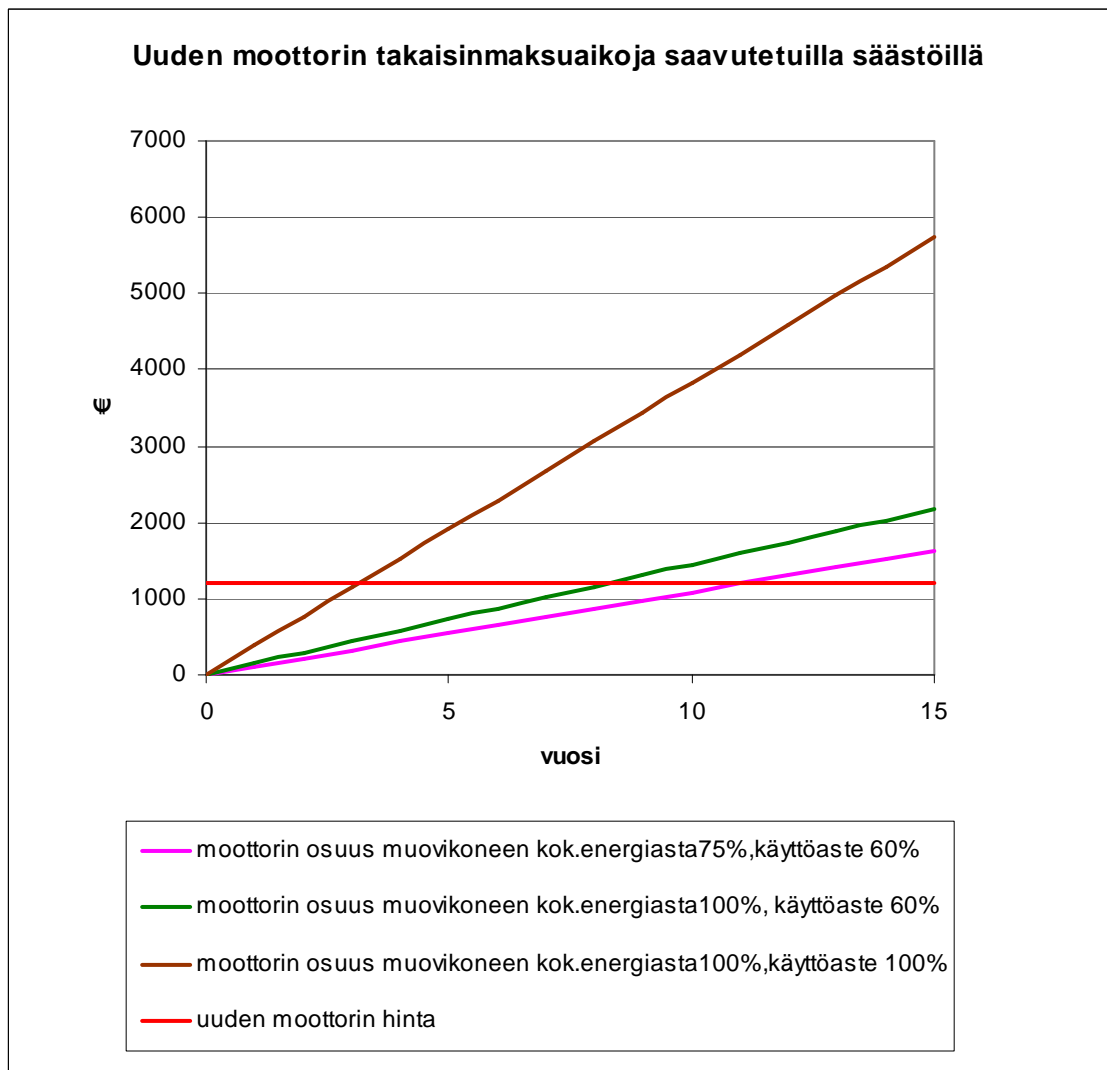
Takaisinmaksuaika on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{1200\text{€}}{70\text{€}} \approx 17 \text{ vuotta}$$

Paremmen hyötysuhteen moottorilla vuodessa energiaa säästyisi vähintään 940 kWh, mikä tarkoittaa vuodessa noin 70 euron säästöä. Tämä laskelma perustuu kaikkein varovaisimpaan arvioon sähkömoottorin energian kulutuksesta ruiskuvalukoneessa, eikä sen perusteella saada juurikaan taloudellista hyötyä sähkömoottorien uusimisella.

Mitä enemmän sähkömoottori kuluttaa energiaa, sitä suuremmat säästöt syntyvät paremmalla hyötysuhteella. Edellinen laskelma perustui siihen, että sähkömoottori kuluttaa koko ruiskuvalukoneen käyttämästä energiasta 50 %. Jos kannattavaa säästöä olisi syntynyt jopa tällä olettamuksella, olisi sähkömoottoreiden uusiminen tuonut varmasti säästöä. Kuten aikaisemmin todettiin, on mitaus tarkin tapa saada selville sähkömoottorin käyttämän energian osuus verrattuna lämmitysvastuksiin.

Kuvassa 5.8 esitetään uuden sähkömoottorin tuottamaa taloudellista säästöä verrattuna vanhaan sähkömoottoriin. Uuden moottorin (luettelohinta SLO, ABB 11 kW, 1500 1/min, 400/690V, IE2(ef1) $\eta_n=0,91$) hinta on noin 1200 €, joka näkyy kuvassa punaisena kuvaajana. Kaksi kuvaajaa näyttää säästön, kun ruiskuvalukoneen käyttöaste on realistinen 60 %, ja sähkömoottorin osuus kokonaisenergian kulutuksesta on 75 % ja 100 %. 75 %:n prosenttien kuvaaja on todennäköisimmin realistinen ja 100 %:n kuvaaja epätodennäköinen. Sitten on vielä kuvaaja, jossa sähkömoottorin osuus kokonaisenergian kulutuksesta on 100 % ja ruiskuvalukoneen käyttöaste on 100 %. Tämä kuvaaja on täysin epärealistinen, mutta se osoittaa viimeistään, että säästöä sähkömoottoreiden uusimisella ei saada aikaan.



Kuva 5.8 Vuosittaiset säästöt 11 kW:n sähkömoottorilla, jonka nimellishyötysuhde on 0,91

Realistisesta kuvaajasta nähdään, että uuden sähkömoottorin takaisinmaksuaika venyy liian pitkäksi. 5 vuotta oli tavoitteena, mutta kuvaajasta nähdään, että takaisinmaksuaika on noin 12 vuotta. Epärealistisimmasta kuvaajasta nähdään, että jos sähkömoottori kävisi 24 tuntia päivässä vuoden ajan 11 kW:n teholla, niin uusi sähkömoottori kannattaisi hankkia.

6 RAAKA-AINEKUIVAUKSEN TEOREETTISET SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOT

6.1 PC-ABS-muoviraaka-aineen kuivauksen sähköenergian pienentäminen

6.1.1 Mittaus kuumailmakuivurilla ajanjaksolla 6.4.–19.4.2010

Taulukossa 6.1 on esitetty mittaustuloksia kuumailmakuivurilla ajanjaksolta 6.4.–19.4., ja niistä on laskettu yhden kg:n kuivattamiseen käytetty sähköenergia ja kuivausnopeudet. Tällä kuivurilla kuivataan PC-ABS- muoviraaka-ainetta, jonka vuosikulutus on yhteensä 72000 kg.

Taulukko 6.1 Energian mittaustuloksia kuumailmakuivurilla, jolla kuivataan PC-ABS -raaka-ainetta, jonka vuosikulutus on noin 72 000 kg

56819049	vuosikulutus 72 t / 2009			Lasketut arvot mittauspisteiden välillä	
	PC-ABS				
Päiväys	Klo	Kontin paino/ kg	Energialukema / kWh	Energia kWh / kuivattu kg	kuivausnopeus kg/h
6.4.	13:15	1095	423,2		
8.4.	8:30	854	660,7	0,99	5,5
9.4.	13:10	728	831,4	1,35	4,4
12.4.	15:45	700	1262,3	15,39	0,4
19.4.	13:35	540	1860,1	3,74	1,0
yhteensä		555	1436,9	2,59	

Mittausajanjaksolla sähköenergiaa kului noin 1400 kWh. Suurin osa tästä energiasta meni turhaan ylläpitolämmitykseen, sillä nyt kuivaustehokkuus oli noin 2,6 kWh/kg ja myöhemmät mittaukset osoittavat (Taulukko 6.2), että kuivaustehokkuudessa päästään vanhalla kuivurilla 0,21 kWh/kg:aan. Tähän kuivaustehokkuuteen päästiin tosin PA6 -muoviraaka-aineella, mutta ero kuivaukseen tarvittavassa energiassa kilogrammaa kohti ei ole merkittävä, kuten kuvasta 6.2 nähdään.

Valmistaja ilmoittaa (Maguire 2010) uudella alipainekuivurilla pelkän kuivauksen olevan 80 % tehokkaampaa (ylläpitolämmitystä ei ole otettu huomioon). Taulukon 6.2 mittaustuloksista laskettujen kuivaustehokkuuksien mukaan tämä näyttäisi pitävän paikkansa. Uuden alipainekuivurin kuivaustehokkuus on 80 % parempi kuin nykyisen, eli 0,045 kWh/kg (kuva 6.2), joten nykyisen kuivurin tehokkuus on noin 0,23 kWh/kg.

6.1.2 Ylläpitolämmityksen teho

Taulukossa 6.1 ajanjaksolla 9.4.–12.4. on kuivattu PC-ABS-muoviraaka-ainetta vain noin 30 kg. Määrä on todella pieni, joten tällä aikavälillä sähköenergiaa on kulunut suurimmaksi osaksi ylläpitolämmitykseen. Keskimääräinen ylläpitolämmityksen laskettu sähköteho ajanjaksolla 9.4.–12.4. on 5,7 kW.

Raaka-aineella PA-6 taulukossa 6.2 on mittausajanjaksolla 27.4.–29.4. sähköenergiaa kulunut pelkästään kuivaukseen, jolloin kuivaustehoksi saadaan 3,4 kW.

Edellä mainittuja kuivauksen tehoa ja ylläpitolämmityksen tehoa ei voi kuitenkaan verrata aivan suoraan toisiinsa, vaikka kuivurit olivat samanlaisia. Kuivatava materiaali ei ollut mittauksissa sama. Vertailu on suuntaa antava, mutta voidaan sanoa varmuudella, että ylläpitolämmitys kuluttaa vähintään yhtä paljon sähköenergiaa kuin kuivaus.

6.1.3 Ylläpitolämmityksen poistamisen tuoma säästö

Ylläpitolämmitys näyttää siis kuluttavan jopa enemmän sähköenergiaa kuin itse muovimateriaalin kuivaus.

Lasketaan vuosittainen säästö, joka saadaan karsimalla turha ylläpitolämmitys kokonaan pois:

$$q = [(72000\text{kg} \cdot 2,6\text{kWh/kg}) - (72000\text{kg} \cdot 0,23\text{kWh/kg})] \cdot 0,07756\text{€/kWh} \approx 13200\text{€}$$

Investointeja ei tarvita.

Jos taulukon 6.1 mittaustulokset antavan realistisen kuvan muoviraaka-aineen kuivausprosessista, niin sen perusteella huomataan sähköenergiaa hukattavan valtavasti turhaan ylläpitolämmitykseen. Paremmalla muovituotannon kordinoinnilla tällä muoviraaka-aineella voidaan päästä jo huomattavan suuriin säästöihin. 4 %:n säästö tehtaan kokonaissähköenergian kulutuksessa tarkoittaa taloudellisesti 16 000 €:n säästöä.

6.2 PA-6-muoviraaka-aineen kuivauksen sähköenergian pienentäminen

6.2.1 Mittaus kuumailmakuivurilla ajanjaksoilla 19.4.–21.4.2010 ja 27.4.–29.4.2010

Taulukossa 6.2 on esitetty mittaustuloksia eräällä kuumailmakuivurilla, ja niistä on laskettu yhden kg:n kuivattamiseen käytetty sähköenergia ja kuivausnopeudet. Tällä kuivurilla kuivataan PA6- muoviraaka-ainetta, jonka vuosikulutus on yhteensä 60000 kg. Ensimmäisellä mittausajanjaksolla 19.4.–21.4. materiaalia kuivattiin yhteensä 478 kg, ja sen kuivattamiseksi kului sähköenergiaa yhteensä 190,76 kWh. Yhden kg:n kuivattamiseen tarvittiin sähköenergiaa siis noin 0,4 kWh.

Toisella mittausajanjaksolla 27.4.–29.4. taulukossa 6.2 materiaalia kuivattiin noin kaksi kertaa enemmän (862 kg) samassa ajassa. Raaka-aineen kuivattamiseksi kului sähköenergiaa yhteensä 183,7 kWh, joten yhden kg:n kuivattamiseen tarvittiin sähköenergiaa noin 0,21 kWh. Tämä kuivaustehokkuudeksi saatu arvo on realistinen vanhan kuivurin kuivaustehokkuus, jossa ei ole otettu huomioon ylläpitolämmitystä.

Toisella kerralla raaka-aineen kuivaus näyttää olleen paljon tehokkaampaa, mutta kummallakin mittauskerralla itse kuivaus on ollut yhtä tehokasta. Ero mit-

tausten välillä syntyy siitä, että ensimmäisellä mittauskerralla kuivatun muoviraaka-aineen kulutus on vähäistä, joten sähköenergiaa menee paljon kuivurin valmiustilan päällä pitämiseen. Tämä tarkoittaa, että muovimateriaalia pidetään lämmitettynä. Ylöslämmitysaika kuivurin käynnistyksessä on noin 4 tuntia, joten kuivuri on käytännössä aina päällä.

Taulukko 6.2 Energian mittaustuloksia kuumailmakuivurilla, jolla kuivataan PA-6-raaka-ainetta, jonka vuosikulutus on noin 60000 kg

55853538	vuosikulutus 60 t / 2009 materiaali:PA6			Lasketut arvot mittauspisteiden välillä		
	Päiväys	Klo	Kontin paino / kg	Energialukema / kWh	Energia kWh / kuivattu kg	kuivausnopeus kg/h
	19.4.	13:40	603	1860,1		
	20.4.	8:05	432	1932,5	0,42	9,5
	21.4.	9:00	176	2029,6	0,38	10,2
	21.4.	14:30	125	2050,9	0,42	9,3
	yhteensä		478	190,76	0,399	
	27.4.	8:00	1066	2559,4		
	28.4.	8:00	666	2641,9	0,21	16,7
	29.4.	7:30	327	2717,7	0,22	14,4
	29.4.	15:20	204	2743,1	0,21	15,7
	yhteensä		862	183,7	0,213	

Taulukosta voidaan päätellä, että ylläpitolämmitykseen kuluu suurin piirtein saman verran sähköenergiaa kuin itse kuivaukseen. Mittausajanjakso on lähes sama ja sähköenergiaa on kulunut jakson aikana lähes saman verran, mutta jälkimmäisellä mittauskerralla muoviraaka-ainetta on kuivattu lähes kaksi kertaa enemmän.

6.2.2 Alipainekuivurin kuivaustehokkuus

Kuvasta 6.1 saadaan alipainekuivurin maksimikuivauskapasiteetiksi 50 kg/h. Kuivausaika, joka kuluu 862 kg:n kuivattamiseen on $862 \text{ kg} / 50 \text{ kg/h} = 17,24 \text{ h}$.

Technical Data	
Model	LPD-100
Throughput (Based on 20min cycle time)	50kg/h 112lb/h
Canister Volume	27litres 1cu ft
Max Temperature	180°C 356°F
Power Supply	415vac
Installed Power	7.9Kw
Pump kW	1.86kw
Compressed Air Usage	0.8m ³ /h 0.5cfm
Compressed Air Supply	7bar 90psi
Shipping Weight & Size	400Kg 880lbs 100x90x220cm 40x35x85inches

Kuva 6.1 Uuden alipaineuivurin tekniset tiedot (Maguire LPD-100.pdf)

Materials Drying Times				
Material	Final moisture %	Cycle Time	Drying Temp^oC	kW/Kg
ABS	0.10	20-25	80-85	0.038
ABS/PC	0.02	25-30	100	0.045
LCP	0.02	20-50	150	0.097
PA	0.20-0.10	20-30	80-85	0.040
PBT	0.02	20-25	120	0.046
PC	0.02	20-25	120	0.046
PC/PBT	0.02	20-25	125	0.050
PEEK	0.20-0.10	25-30	150	0.075
PEI	0.02	30-40	150	0.078
PES	0.05-0.02	25-30	150	0.065
PET IMM	0.01	30-35	150	0.065
PMMA	0.02-0.04	30	85	0.046
POM	0.20-0.10	25	80-110	0.050
PPO	0.02	25	100-120	0.065
PPS	0.02	25	150	0.069
PUR	0.02	25	125-140	0.055
PSU	0.02	25-30	150	0.069
SAN	0.20-0.10	20-40	80	0.053

Kg/kW data assumes a max throughput and delivered ppm values.

Kuva 6.2 Kuivaustietoja eri materiaaleille (Maguire LPD-100.pdf)

Tehtaalla suoritettuna mittauksen aikana kuivattiin PA6-muovimateriaalia. Uuden alipaine kuivurin valmistaja ilmoittaa tälle materiaalille kuvassa 6.2 tehon tarpeeksi 0,04 kW/kg. Maksimikuivausnopeus on 50 kg/h, joten toimiessaan tätä kuivausvauhtia sen sähköteho

$$0,04kW / kg \cdot 50kg = 2kW$$

Tämä teho on myös lähellä valmistajan ilmoittamaa tehontarvetta (Maguire 2004).

Uudella alipaine kuivurilla kuluu sähköenergiaa 862 kg:n kuivaamiseen

$$2kW \cdot 17,24h \approx 34,5kWh$$

Ja käytetty sähköenergia yhtä kuivattua kilogrammaa kohden on

$$34,5kWh \div 862kg = 0,04kWh / kg$$

Melko hyvällä tarkkuudella voidaan olettaa vanhan kuivurin absoluuttiseksi kuivaustehoksi 0,21 kWh/kg. Tämä pitänee paikkansa, sillä uusissa alipaine kuivureissa kuivaustehoksi saadaan laskemalla 0,04 kWh/kg. Valmistaja lupaa parhaimmillaan 80 %:n energian säästöä kuivausprosessiin, joka näyttää pitävän paikkansa, sillä

$$\left(1 - \frac{0,04kWh / kg}{0,21kWh / kg}\right) \cdot 100\% = 80,95 \approx 80\%$$

6.2.3 Säästö absoluuttisessa kuivaustehossa alipaine kuivurilla

PA6-muoviraaka-ainetta kuivataan vuodessa 60 000 kg ja sähköenergian hinta on 0,07756 €/kWh. Oletetaan, että koko vuosi olisi pelkkää kuivausta, eikä oteta mukaan siis lämmityksen ylläpitoa.

Lasketaan vuosittainen säästö uudella alipaine kuivurilla verrattuna vanhaan:

$$q = [(60000kg \cdot 0,21kWh / kg) - (60000kg \cdot 0,04kWh / kg)] \cdot 0,07756\text{€} / kWh \approx 790\text{€}$$

Investointi uuteen kuivuriin (Vainio 2010)

$$H = 10000\text{€}$$

Takaisinmaksuaika absoluuttiseen kuivaustehoon perustuen on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{10000\text{€}}{790\text{€}} \approx 13\text{vuotta}$$

Vaikka uusi alipaine kuivuri on jopa 80 % tehokkaampi, saataisiin vuodessa taloudellista säästöä aikaan vain noin 790 €. Summa ei ole merkittävä, ja pelkästään kuivaustehoon perustuvassa säästölaskelmassa viiden vuoden takaisinmaksuaika ei täyty.

6.2.2 Kuivurin ylläpitolämmityksen poistamisen tuoma säästö

Taulukon 6.2 ensimmäinen mittaus antaa todellisemman kuvan kuivauksesta: noin puolet ajasta on turhaa seisontalämmitystä. Toisella mittauksella kuivaus tapahtui ilman kuivurin turhaa seisontalämmitystä, ja sillä tahdilla 60 tonnia materiaalia olisi kuivattu noin viidessä kuukaudessa. Karkeasti laskettuna turhaa seisontalämmitystä voi olla yhteensä noin 6 kuukautta vuodesta. Ylöslämmitysaika uudella alipaine kuivurilla on 45 min, joka on pienempi kuin muotinvaihto aika. Kuivurin päällekytkentä voitaisiin ohjeistaa muotinvaihdon yhteyteen ja pois kytkentä ajon loppuun, jos muut koneet eivät käytä samaa raaka-ainetta.

Jos turha seisontalämmitys saataisiin leikattua pois, olisi vuosittainen säästö uudella alipaine kuivurilla PA6-materiaalin kuivauksessa

$$q = [(60000\text{kg} \cdot 0,4\text{kWh/kg}) - (60000\text{kg} \cdot 0,04\text{kWh/kg})] \cdot 0,07756\text{€/kWh} \approx 1675\text{€}$$

Investointi uuteen kuivuriin

$$H = 10000\text{€}$$

Takaisinmaksuaika uudella kuivurilla verrattuna vanhaan kuivuriin (ylläpitolämmitys huomioon ottaen) on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{10000\text{€}}{1675\text{€}} \approx 6 \text{ vuotta}$$

Uuden alipaine kuivurin hinnan ollessa noin 10 000 € ei näin saatava taloudellinen säästö riitä tavoitteena olevaan viiden vuoden takaisinmaksuaikaan. Tämä vuotuinen säästösumma on teoreettinen, ja käytännön säästö olisi pienempi, joten uuden kuivurin hankinta ei tule kannattamaan. Uuden kuivurikapasiteetin hankintaa voi perustella paremmalla ja tasaisemmalla raaka-aineen kuivauksella. Liian pitkä kuivausaika aiheuttaa muovin ominaisuuksien haurastumista. Pitkään käyttämättömänä ollut, kuumana pidetty raaka-aine voi olla laadultaan huonompaa (Vainio 2010).

Ensimmäisessä mittauksessa taulukossa 6.1 ajanjaksolla 6.4.–19.4. materiaalia kuivattiin saman verran kuin taulukon 6.2 mittauksessa 19.4.–21.4., mutta energiaa kului noin 7 kertaa enemmän. Nykyinen kuivuri voitaisiin sammuttaa aina, kun raaka-aineelle ei ole kulutusta, mutta sen yölämmitysaika on 4 tuntia. Käytännössä se on melkein aina päällä.

Voidaan laskea myös vuodessa syntyvä säästö, joka saataisiin paremmalla muovituotannon koordinoinnilla ilman investointeja uusiin laitteisiin. Oletetaan, että saadaan turha seisontalämmitys kokonaan poistettua PA6-materiaalin kuivausprosessista. Vuosittainen säästö ilman seisontalämmitystä vanhalla kuivurilla on

$$q = [(60000\text{kg} \cdot 0,4\text{kWh/kg}) - (60000\text{kg} \cdot 0,2\text{kWh/kg})] \cdot 0,07756\text{€/kWh} \approx 930\text{€}$$

Investointeja ei tarvita, joten takaisinmaksuajan laskelmaa ei tarvita.

7 VALAISTUKSEN TEORETTISET SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOT

Purkauslamppuivalaisimien korvaamista led-valaisimilla on mietitty. Koko tehtaassa yleisvalaistuksen uusiminen ei ole vielä järkevää led-valaisimien kalliin

hinnan ja teolliseen työskentelyyn vaadittavan suuremman valotehon puutteen vuoksi. Teollisuuden yleisvalaistukseen toki saisi led-valaisimia, jos haluaisi, mutta niiden hinnat ovat vielä liian korkealla.

7.1 Uuden varastohallin valaisinratkaisu

7.1.1 Uusi varastohalli

Uutta varastohallia ei ole otettu huomioon aikaisemmissa sähköenergian kulutuksen tarkastelussa, sillä sitä ei vielä ole rakennettu. Uusi varasto on 5 m korkea ja 315 m²:n kokoinen, hieman harvemmin käytettävä halli. Otin pohdintaan tämän tulevan hallin valaisinratkaisut.

Uuteen rakennettavaan varastohalliin on pyydetty tarjouslaskelma led-valaisimista, joilla saavutettaisiin noin 32 %:n teoreettinen säästö sähköenergiassa verrattuna 250 W:n monimetallivalaisimiin. Vähäisessä varastokäytössä led-valaisimet voivat olla hyvä ratkaisu, sillä varastossa valaistuksen ei tarvitse olla niin voimakasta. Varastoissa tarvittava valaistusvoimakkuus on 50-200lx (SFS EN12464-1). Hyötyä saadaan myös siitä, että led-valaisimet syttyvät heti. Jos valaisimen syttymisaika on pitkä, valaistus jää herkästi pitkäksi aikaa päälle ja valaistus kuluttaa turhaan energiaa. Tällä tavalla led-valaisimet säästävät myös käyttöajassa.

5 m korkean ja 315 m²:n kokoisen varastohallin valaisemiseen kuluu kuitenkin niin vähän energiaa, että täytyy miettiä kannattaako led-tekniikka tämänkään tilan valaisemiseen.

7.1.2 Valaisinratkaisuiden vertailua

Tarjoussuunnitelmassa tilan valaistus toteutettiin led-valaisimilla. Valaisimia on yhteensä 12 kappaletta, ja ne ottavat yhteen lasketun tehon 468 W. DIALux-ohjelmalla tehtiin suurin piirtein samaan valomäärään LED-toteutuksen kanssa yltävä valaistuslaskelma käyttäen 100 W:n suurpainenatriumlampuilla varustet-

tuja valaisimia (Liite 5). Niitä tarvitaan 6, ja ne ottavat yhteensä tehon 690 W. Valotehokkuudessa valaisimet ovat melko lähellä toisiaan.

Valotehokkuus kuvaa valaisimen tai lampun tuottaman valovirran suhdetta valaisimen tai lampun ottamaan tehoon (Luoma-Aho 2010). Sen avulla voidaan vertailla esimerkiksi valaisimien energiatehokkuutta.

Led-valaisimen valotehokkuus

$$\frac{3000lm}{39W} \approx 80lm/W$$

Suurpainenatriumvalaisimen valotehokkuus

$$\frac{10700lm}{115W} \approx 93lm/W$$

Jos tilan valaistus toteutetaan 6:lla 100 W:n suurpainenatriumvalaisimella ja oletetaan, että nämä valaisimet ovat päällä 16 tuntia joka arkipäivä vuoden ajan, niin energiakustannukset yhdessä vuodessa olisivat noin 206 €.

$$(0,69kW \cdot 16h \cdot 20 \cdot 12) \cdot 0,07756€/kWh \approx 206€$$

Led-valaisimet syttyvät heti, joten oletetaan, että niitä käytetään vain 2 tuntia joka arkipäivä vuoden ajan. Koska niitä pidetään päällä huomattavasti vähemmän aikaa kuin suurpainenatriumvalaisimia, niin energiakustannukset vuodessa ovat vain 17 €.

$$(0,468kW \cdot 2h \cdot 20 \cdot 12) \cdot 0,07756/kWh \approx 17€$$

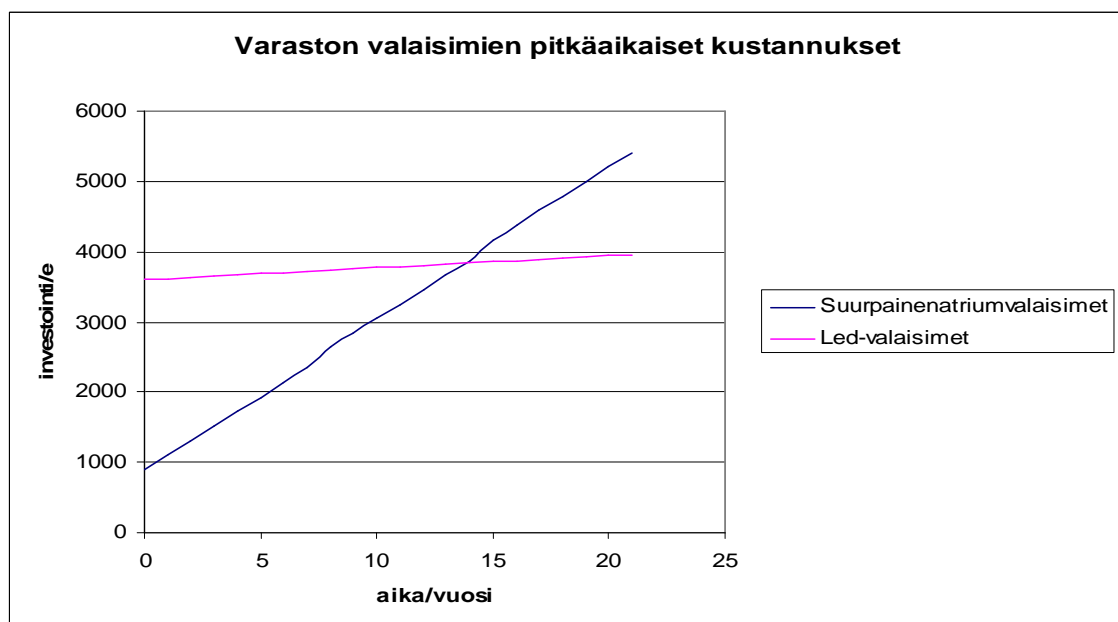
Yhden led-valaisimen hinta on noin 300 € (tarjouslaskelma), ja jos niitä tarvitaan 12 kappaletta, tulee investoinnin suuruudeksi 3600 €. Yhden suurpainenatriumvalaisimen hinta on korkeintaan 150 € (Vainio 2010), joten 6 kappaleen investointi tulisi maksamaan 900 €. Led-valaisimilla toteutettuna valaistus olisi vähintään 2700 € kalliimpi kuin suurpainenatriumlampuilla.

Led-valaisimien polttoikä on niin pitkä ja käyttö uudessa varastossa niin vähäistä, että oletetaan niiden kestävän niin kauan, ettei niiden uusimisesta tarvitse välittää. Suurpainenatriumlamppujen keskimääräinen polttoikä on 28 500–32 000 h, joten oletetussa käytössä ne kestäisivät 7 vuotta, ennen kuin ne pitäisi vaihtaa uusiin.

$$\frac{30000h}{16h \cdot 20 \cdot 12} = 7,7 \text{ vuotta}$$

Suurimman osan suurpainenatriumvalaisimen hinnasta muodostavat valaisinosat ja kalusteet. Yhden 100 W:n suurpainenatriumlampun hinta on noin 15 € (Finnparttia 2010). Kaikkien suurpainenatriumlamppujen uusiminen kerralla maksaisi noin 90 € noin 7 vuoden välein. Vasta noin 14 vuoden kuluttua investointi led-valaisimiin verrattuna suurpainenatriumvalaisimiin alkaisi maksaa itseään takaisin. Näinä 14 vuoden aikana kaikki suurpainenatriumlamput joudutaan uusimaan ainakin kerran.

Kuvan 7.1 kuvaajassa esitellään varaston valaistusratkaisuiden kustannus arvioita pitkällä aikavälillä.



Kuva 7.1 Varaston valaistuksen toteutuksen pitkäaikaisten kustannuksien kuvaajat suurpainenatrium- ja led-valaisimilla

Kuvaajassa on otettu huomioon suurpainenatriumvalaisimilla lamppujen uusimisen tarve sekä vuosittaiset 206 euron energiakustannukset. Led-valaisimet kestävät oletetulla käytöllä valmistajien ilmoittamien tietojen mukaan 125 vuotta, joten niillä on otettu huomioon vain 17 euron vuosittaiset energiakustannukset.

7.2 Tehtaan yleisvalaistus

7.2.1 Nykyisen valaistuksen laatu ja osastoilla tehtävä työ

Tehtaan yleisvalaistus käsittää suuret kokoonpano-osastot KP1 ja KP2, elektroniikkatuotteiden kokoonpano-osaston, muovipuristamo-osaston sekä varaston ja lähettämön.

Kaikissa kokoonpano-osastoissa kootaan tuotteita manuaalisesti, pienillä kokoonpanokoneilla tai suurilla kokoonpanolinjoilla. On myös pienempiä esikokoonpanokoneita. Valmiit tuotteet myös pakataan kokoonpano-osastoilla. Näillä osastoilla tarvitaan tietyissä pisteissä hyvää valaistusvoimakkuutta ja värintoistoa. Erityisesti suurten kokoonpanolinjojen pakkauspisteillä valaistusvoimakkuuden ja värintoiston pitää olla hyvä, sillä pakattaessa lopputuotteiden laatu tarkastetaan pintapuolisesti. Myös pisteillä, joissa linjalle syötetään manuaalisesti osia, tarvitaan hyvää valaistusta. Huonot osat täytyy tunnistaa ja poistaa prosessista mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Kokoonpano-osastot ja varastokin ovat tiloja, joissa työskennellään jatkuvasti, joten valaistusvoimakkuuden pitää olla vähintään 200 lx. Joissakin kohdissa, kuten edellä mainittiin, valaistusvoimakkuuden ja värintoiston täytyy olla riittävää. Näissä kohdissa tämä voitaisiin taata hyvällä kohdevalaistuksella.

Kokoonpano-osasto KP1:llä mitattu valaistusvoimakkuus on noin 700 lx, kun taas KP2:lla valaistusvoimakkuus on 400–500 lx. KP2:n valaistusvoimakkuus on riittävällä tasolla, mutta KP1:llä valaistusvoimakkuus on jopa turhan korkea.

Muovipuristamossa on tällä hetkellä suurin piirtein yhtä tehokas valaistus kuin kokoonpano-osastoilla. Työ on suurimmaksi osaksi ruiskuvalukoneiden ajoa, eli työ ei sisällä kokoonpanotyötä eikä usein toistuvia työsuorituksia, joten muovipuristamossa valaistukselta ei vaadita sellaista tarkkuutta kuin kokoonpano-osastoilla. Muoviosien laatua pitää tosin valvoa konekohtaisesti, mutta tarvittavan valaistuksen voisi ehkä taata kohdevalaistuksella.

Varastossa ja lähettämössä valaistusvoimakkuuden taso on alhaisempi kuin kokoonpano-osastoilla, mikä on oikein. Varastossa ja lähettämössä kuitenkin työskennellään sen verran, että tila katsotaan sellaiseksi, jossa työskennellään jatkuvasti.

7.2.2 Suosituksia valaistuksen laadulle

Eurooppalaisen standardointijärjestön CEN:n toimesta on nyt käytössä uusi koko Eurooppaa koskeva sisätyöpaikkojen valaistusstandardi EN 12464-1 (2008) (Suomen Valoteknillinen Seura 2008).

Valaistussuosituksissa valon määrä esitetään tila- ja tehtäväkohtaisina valaistusvoimakkuusarvoina. Valaistusvoimakkuuden suositusarvona on E_m , joka kuvaa valaistusvoimakkuuden huoltoarvoa. Tätä suositusarvoa E_m valaistusvoimakkuus ei saa alittaa asennuksen koko eliniän aikana (Suomen Valoteknillinen Seura 2008, 9).

Tässä työssä tehdyissä DIALux-suunnitelmissa edellä mainittu valaistusvoimakkuuden huoltoarvo on otettu huomioon siten, että valaistus on laskettu huoltokertoimella 0,8. Valaistussuunnitelmissa käytetyillä lampuilla valotehon ilmoitettu valotehon alenema on 20 % polttoajan aikana. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että valaistussuunnitelmien valaistusvoimakkuuksien arvot kuvaavat tilanetta, jossa lamppujen valotehon alenemasta johtuva valon tuotto on alhaisimmillaan.

Valaistusvoimakkuutta ei tarvitse määritellä koko tilaan vaan pelkästään työalueelle. Näin valo voidaan keskittää työalueelle ja jättää pienempää näkö tarkkuut-

ta vaativat alueet vähemmälle valomäärälle. Näin työalueen määrittäminen nostaa valaistuksen energiatehokkuutta (Suomen Valoteknillinen Seura 2008).

Tässä työssä on keskitytty vain suurten hallien yleisvalaistukseen ja täytyy muistaa, että tuotantolinjoilla ja muilla työpisteillä on lisäksi loisteputkivalaistusta. Tällä loisteputkivalaistuksella voidaan tarvittaessa lisätä työalueiden valaistusvoimakkuutta.

Taulukossa 7.1 on esitetty Suomen standardisoimisliiton standardin SFS-EN 12464-1:n suosituksia teollisen kokoonpanotyön valaistusvoimakkuuksista.

Taulukko 7.1 Suosituksia teollisen kokoonpanotyön valaistusvoimakkuuksista (Suomen Valoteknillinen Seura 2008)

Viite nro	Tila, tehtävä tai toiminta	E_m lx	UGR _L	R _a	Huomautukset
2.13.11	Kokoonpano:				
	- karkea	200	25	80	Korkeat tilat, ks 4.6.2.
	- tavallinen	300	25	80	
	- hieno	500	22	80	
	- tarkkuustyö	750	19	80	

Taulukossa 7.2 on ABB:n TTT:n käsikirjassa vuonna 2000 julkaistu Suomen Valoteknillisen Seuran julkaisussa 9/1986 (Oulun seudun ammattikorkeakoulu) esitettyjä valaistusvoimakkuuden suosituksia erilaisiin tehtäviin ja tiloihin.

Taulukko 7.2 Valaistussuosituksia (Oamk, ABB TTT:n käsikirja 2000)

Suosittelava valaistusvoimakkuus (lx)	Tila tai työskentelyolosuhde	Esimerkkejä
20...30...50 50...75...100	Ulkotyöaluiden yleisvalaistus Kulkuväylät, lyhytaikainen oleskelu	
100...150...200	Tilat, joita ei käytetä jatkuvasti työskentelyssä	Eteiset, aulat, käytävät, varastot,
200...300...500	Yksinkertaisten näkötehtävien tilat	Paperikonesalit, maalaamot, karkea kone- ja penkkityö
300...500...750	Kohtuullista tarkkuutta vaativien näkötehtävien tilat	Toimistot, luokkahuoneet, laboratoriot,
500...750...1000	Tarkkuutta vaativat näkötehtävät	itsepalvelumyymälät Pankkien asiakaspalvelu, avotoimistot, melko tarkka kone- ja penkkityö mm automaattikoneet, valvomot
750...1000...1500	Suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät	Tarkkuutta vaativa toimistotyö, värintarkastus
1000...1500...2000	Erittäin suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät	Värintarkastus, värinmäärittely, tarkka kone- ja penkkityö, tarkka piirustustyö
1000... 2000...3000	Pitkäaikaiset erittäin vaativat näkötehtävät	Mikroelektroniiikka, käsinkaiverrus, mikroskopointi,

Suurin osa tehtaalla tehtävästä työstä kuuluu taulukossa 7.1 mainittuun tavalliseen kokoonpanotyöhön (suositus 300 lx), mutta on myös työalueita, joissa työn luonne on hienoa kokoonpanotyötä (suositus 500 lx). Taulukossa 7.2 on annettu suositus myös automaattikoneilla tehtävän työn valaistusvoimakkuudeksi (500-1000 lx).

SFS EN12464-1-standardin mukaan sisätiloissa, joissa työskennellään jatkuvasti, valaistusvoimakkuuden on oltava vähintään 200 lx (Työterveyslaitos 2010).

Tehtaan varastossa ja lähettämössä on paljon liikennettä, joten se katsotaan tilaksi, jossa työskennellään jatkuvasti. Näin ollen valaistusvoimakkuuden on oltava vähintään 200 lx.

7.3 Tehtaan yleisvalaistukseen liittyvien valaisimien ja lampputyypin vertailua

Laskelmissa käytetyt monimetalli- ja suurpainenatriumvalaisimien valovirrat ja tehot ovat peräisin DIALux-ohjelmaan saatavasta I-valon laajennuksesta.

I-Valo on valmistanut tehtaan valaisimet. Led-valaisimien arvot ovat peräisin I-valon tekemästä DIALux-laskelmasta. Näin vertailukin on luultavasti tarkempaa kuin jos esimerkiksi led-valaisimien tiedot olisivat jonkun toisen valmistajan lähteistä. I-Valon valaisimissa käytetään Osram-merkkisiä lamppeja, joten vertailussa mukana olevan GE:n StreetWise-mallinen 150 W:n lampun kohdalla oletetaan, että GE:n lampulla valaisin ottaa saman tehon kuin Osramin valaisin.

Valotehokkuus kuvaa valaisimen tai lampun tuottaman valovirran suhdetta valaisimen tai lampun ottamaan tehoon. Sen avulla voidaan vertailla esimerkiksi valaisimien energiatehokkuutta.

Alkuperäisillä 250 W:n monimetallilampuilla valaisimien teoreettinen valotehokkuus on noin:

$$\frac{20000lm}{270W} \approx 74lm/W$$

150 W:n keraamisella monimetallilampulla valaisimen vastaava valotehokkuus on:

$$\frac{14500lm}{170W} \approx 85lm/W$$

Uudella GE:n StreetWise-mallisella 150 W:n keraamisella monimetallilampulla varustetun valaisimen vastaava valotehokkuus on:

$$\frac{16200lm}{170W} \approx 95lm/W$$

105 W:n led-valaisimen valotehokkuus on:

$$\frac{14250lm}{105W} \approx 136lm/W$$

150 W:n suurpainenatriumlampulla varustetun valaisimen valotehokkuus on:

$$\frac{17500lm}{176W} \approx 99,4lm/W$$

Suurpainenatriumlampuilla, ja siten myös valaisimella, on purkauslamppuista paras valotehokkuus, ja led-valaisimelle luvataan kaikkein suurinta valotehokkuutta. Vertailussa nähdään myös monimetallilamppujen kehittyminen. Valaisimien, joissa oli alunperin 250 W:n monimetallilampun, valotehokkuus oli noin 74 lm/W. Keraamisilla monimetallilampuilla valotehokkuus on noin 85 lm/W ja uusilla keraamisilla monimetallilampuilla se on jo 95 lm/W. GE:n uusi keraaminen monimetallilamppu olisi hyvä vaihtoehto korvaamaan nykyiset lamput, jos vain valaistusvoimakkuus ei putoa liikaa.

Taulukoissa 7.3 ja 7.4 on esitetty erityyppisten purkauslamppujen valotehoon liittyviä ominaisuuksia. Yleensä mitä suurempi on lampun teho, sitä suurempi on lampun valotehokkuus.

Taulukko 7.3 Erilaisia monimetallilamppuja (CMH250/TT/UVC/U/830 on käytössä tällä hetkellä)

monimetallilamppu	teho/W	valovirta/lm	lm/W	keskim. polttoikä/h	kanta
CMH150/TT/UVC/830	150	14000	93	12000-20000	E40
CMH150/TT/UVC/730 (StreetWise)	150	16200	108	16000	E40
HQI-T 250/D	250	20000	80	12000	E40
CMH250/TT/UVC/U/830	250	24000	96	24000	E40

Taulukko 7.4 Erilaisia suurpainenatriumlamppuja (GE tuoteluettelo 2010)

suurpainenatrium	teho/W	valovirta/lm	lm/W	keskim. polttoikä/h	kanta
LU150/100/40	150	15 000	100	28500	E40
LU150/100/XO/T/40	150	17 500	117	32000	E40
LU250/T/40	250	27 500	110	28500	E40
LU250/XO/T/40	250	33 000	132	32000	E40

Taulukossa 7.5 esitellään tehtaan yleisvalaistukseen teholtaan sopivien valonlähteiden ominaisuuksia.

Taulukko 7.5 Eri valonlähteiden ominaisuuksia

valonlähde	lm	W	lumen /W	syttymisaika /min	väriämpötila /K	värintoisto-indeksi	käyttöikä /h
keraaminen monimetalli	16300	150	108	2-4	3000	70<Ra<80	16000
suurpainenatrium	17500	150	117	6-10	2100	25	32000
led-valonlähde	14250	105	136	0	4000–6000	75<Ra<100	50000–70000

Käytössä olevien monimetallilamppujen syttymisaika on noin 2-4 minuuttia ja niiden värintoisto-ominaisuudet ovat hyvät.

7.3.1 Led-valonlähteet

Led-tekniikka on vielä voimakkaasti kehittymässä, joten markkinoilla on paljon yrittäjiä. Ala ja sen valvonta eivät ole vielä oikein vakiintuneet, joten markkinoilla annetaan usein liian suuria lupauksia led-valaisimien valotehosta ja ominaisuuksista. Korkean hinnan ja valotehoon liittyvien epämääräisyyksien takia koko tehtaan yleisvalaistuksen uusimista led-tekniikalla täytyy vielä odottaa. Ei kannata myöskään luottaa täysin aiemmin laskettuun valotehoon 136 lm/W. (Sippola 2010.)

Näin järeän luokan led-valaisimen hinta olisi jopa 1000 euroa, kun perinteinen purkausvalaisin maksaa noin 150 euroa. Led-valaisimen polttoikä ihanteellisissa olosuhteissa on noin 50 000–70 000 tuntia, kun taas monimetallilampun polttoikä on noin 9 000–12 000 tuntia. Led-valaisin näyttäisi olevan noin viisi kertaa pitkäikäisempi. Väriämpötila ja värintoistokyky ovat sillä samaa luokkaa monimetallivalaisimen kanssa, ja se syttyy heti täyteen valoonsa.

7.3.2 Suurpainenatriumlamppu

Suurpainenatriumlampulla saadaan paremman valotehokkuuden ansiosta uskottavaa säästöä verrattuna monimetallilamppuun. Yleisesti ottaen suurpainenatriumlampun valotehokkuus on parempi kuin monimetallilampulla.

Suurpainenatriumlamppu saavuttaa täyden valotehonsa vasta 6-10 minuutin kuluttua sytytyksestä. Siitä lähtevällä valolla on myös hieman alhainen, 2100 K:n värielämpötila, joka tarkoittaa kellertävää valoa, eikä sen värintoistokyky ole hyvä. Värintoistokykyä kuvataan värintoistoindeksillä. Monimetallilampulla se on 65–100, kun taas suurpainenatriumlampulla se on tyypillisesti noin 25. Värikorjatuilla suurpainenatriumlampuilla värintoistoindeksi on jopa 65, mutta toisaalta valotehokkuus laskee merkittävästi, jopa alle parhaiden monimetallilamppujen tason. Tavallisen suurpainenatriumlampun valossa värisävyjä voi olla vaikea erottaa toisistaan, mikä voi muodostua ongelmaksi tuotannon tehtävien kannalta. Keskimääräinen polttoikä on 28 500–32 000 tuntia. Polttoiänkin perusteella voidaan saada säästöä pidemmän lampun vaihtovälin ansiosta.

Tehtaan joidenkin osastojen, kuten varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen uusiminen suurpainenatriumlampuilla voi olla toteutettavissa. Vaikka näin yleisvalaistuksen värintoistokyky kärsisi, sitä voitaisiin kompensoida paremmalla työpistevalaistuksella.

7.4 Tehtaan yleisvalaistuksen sähköenergian säästöpotentiaali

Yleisvalaistuksessa käytettävien lamppujen korvaaminen pienempitehoisilla lampuilla tuottaisi tuntuvat säästöt tehtaan sähköenergian kulutuksessa. Joissain tehtaan halleissa korvaaminen onnistuu helpommin, sillä yleisvalaistuksen valaistusvoimakkuuden nykyinen taso on jopa turhan korkea. Yleisesti lamppujen korvaaminen aiheuttaisi kuitenkin valaistusvoimakkuuden laskemista.

Täytyy kuitenkin huomioida se, että yleisvalaistukseen kuuluvat vain monimetalli-syväsiteilijävalaisimet. Automaatiokokoonpanolinjoilla ja muilla työpisteillä on lisäksi kohdevalaistusta, joka on toteutettu loisteputkivalaisimilla. Ja kuten luvussa 7.2.2 todettiin, ei valaistusvoimakkuutta tarvitse määrittää koko tilaan vaan pelkästään työalueelle. Jos pelkällä yleisvalaistuksella saavutetaan 400-500 lx:n valaistusvoimakkuus kokoonpano-osastoilla, niin työalueiden loisteputkivalaisimilla päästään vielä reilusti suurempiin valaistusvoimakkuuksiin.

Taulukko 7.6 Yleisvalaistuksen uusi sähköenergian kulutus vuodessa pienempi-tehoisilla lampuilla

	lukumäärä	teho/W	teho yht./kW	h/vko	vkoa/vuosi	kulutus/MWh	%/kok.
F13 halli	80	150	12	168	52	104,8	15,5
F13 tornih	3	150	0,45	168	52	3,9	0,6
F24 halli	55	150	8,25	168	52	72,1	10,6
F24 käytävä	4	150	0,6	168	52	5,2	0,8
F25 halli	77	150	11,55	80	52	48,0	7,1
F25 jätevesilaitos	4	100	0,4	40	52	0,8	0,1
F25 kem var	5	100	0,5	40	52	1,0	0,2
F25 pintak	14	150	2,1	40	52	4,4	0,6
F28, F30 halli	75	150	11,25	80	52	46,8	6,9
F29 halli	22	150	3,3	80	52	13,7	2,0
F30 ulkov	3	150	0,45	80	52	1,9	0,3
F32 halli	48	150	7,2	80	52	30,0	4,4
F33 halli	48	150	7,2	80	52	30,0	4,4
M50	33	150	4,95	80	52	20,6	3,0
yhteensä						383,3	56,6

150 W:n lamput kuluttavat noin 40 % vähemmän sähköenergiaa kuin 250 W:n lamput, joten tehtaan yleisvalaistuksen energiankulutus pienenee noin 40 %. 250 W:n lamppujen yleisvalaistuksella energiankulutus on 637,5 MWh vuodessa.

Taulukossa 7.7 on kuvattu uuden yleisvalaistuksen vaikutusta tehtaan kokonaisenergian kulutukseen. Laskelma osoittaa säästöpotentiaalín yleisvalaistuksessa.

Taulukko 7.7 Yleisvalaistuksen uusimisen vaikutukset vuosittaiseen sähköenergian kulutukseen

valaistus	loisteputket /MWh	teollisuusvalaisimet /MWh	yht./ MWh	osuus tehtaan kok. sähköenergian kulutuksesta/%	säästö kok. sähköenergian kulutuksessa/%
vanha	294,2	637,5	931,7	18,0	
uusi	294,2	383,3	677,5	13,1	4,9

Yleisvalaistuksessa käytettävien 250 W:n monimetallilamppujen korvaaminen 150 W:n lamppuilla tuottaisi siis noin 5 %:n säästön tehtaan vuosittaiseen sähköenergian kulutukseen. Taloudellista säästöä syntyisi vuodessa noin 20 000 €.

Kokoonpano-osastoille ei voida toteuttaa valaistusta suurpainenatriumlampuilla, sillä ongelmaksi muodostuu suurpainenatriumlamppujen tuottama noin 2000 K:n keltainen väri ja huonot värintoisto-ominaisuudet. Varastossa ja lähettämössä tämän ei pitäisi haitata, mutta tuotannossa se on ongelma. Ratkaisuna voi olla se, että varastoon ja lähettämöön asennetaan suurpainenatriumlamput, mutta tuotannon tiloihin asennetaan 150 W:n monimetallilamput. Näin saataisiin tuotannon yleisvalaistuksessa säilytettyä hyvät värintoisto-ominaisuudet.

7.5 KP1:n yleisvalaistuksen säästömahdollisuudet

7.5.1 Nykyisten valaisimien vähentäminen ja uudelleen sijoittelu

KP1:llä on yhteensä 96 kappaletta 250 W:n monimetallivalaisinta. Valaistusvoimakkuudeksi on mitattu noin 700 lx (Vainio 2010), joka on jopa turhan voimakas arvo yleisvalaistusvoimakkuudeksi. Yksinkertaisin keino valaistusvoimakkuuden vähentämiseksi on vähentää valaisimien lukumäärää. Jos valaisimien lukumäärää vähennetään kolmasosalla, valaisimien lukumäärä on enää 64. Jos oletetaan, että valaistusvoimakkuus pienenee saman verran eli kolmasosalla, on uusi valaistusvoimakkuus noin 460 lx. Tämä arvio on karkea, mutta antaa suuntaa

mahdollisesta säästöstä. DIALux-mallinnuksen mukaan tällä toteutuksella keskimääräinen valaistusvoimakkuus on noin 490 lx (Liite 6).

Valaisimien lukumäärän vähentäminen on järkevää sen vuoksi, että valaistusvoimakkuuden pienentämiseksi ei tarvitse tehdä investointeja valaisimien kalusteisiin. Valaistusvoimakkuuden tasaisuuden säilyttämiseksi kustannuksia aiheutuisi kuitenkin valaisimien uudelleen sijoittelusta.

Vuosittainen säästö valaisimien lukumäärän vähentämisellä on

$$q = \left[\frac{(48 \cdot 0,27kW \cdot 80h \cdot 52 + 48 \cdot 0,27kW \cdot 120h \cdot 52) - (32 \cdot 0,27kW \cdot 80h \cdot 52 + 32 \cdot 0,27kW \cdot 120h \cdot 52)}{1000} \right] \cdot 0,07756€/kWh \approx 3480€$$

Arvioitu kustannus valaisimien uudelleen sijoittelutyölle on 50 €/valaisin ja ylimääräisten valaisimien purkamiselle 50 €/valaisin (Vainio 2011), joten uudistuksen investoinnin suuruus on

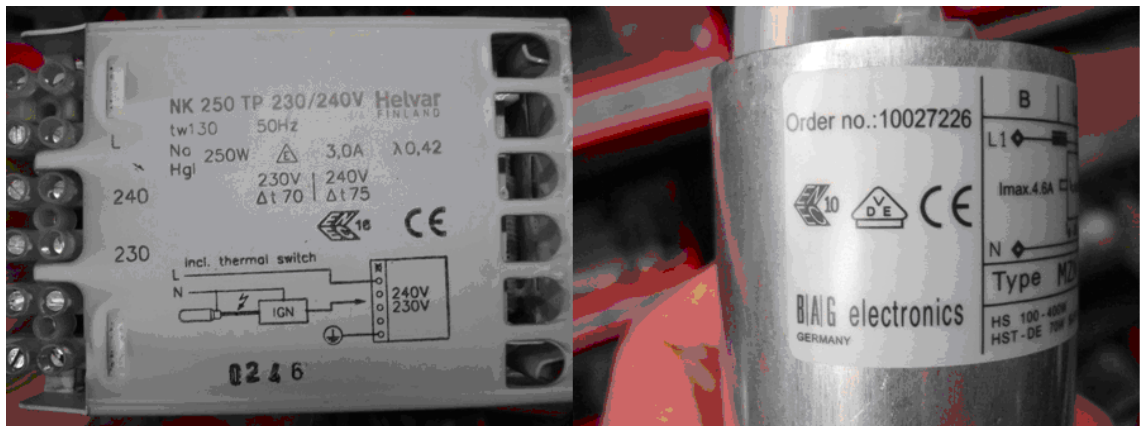
$$H = 64 \cdot 50€ + 32 \cdot 50 \approx 4800€$$

Takaisinmaksuaika valaisimien vähentämisellä on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{4800€}{3480€} \approx 1,4 \text{ vuotta}$$

7.5.2 Nykyisten lamppujen korvaaminen pienempitehoisilla lampuilla

250 W:n monimetallilamput voidaan myös 150 W:n (CMH150/TT/UVC/730/E40 SW) monimetallilampuilla. Tässä ratkaisussa joudutaan vaihtamaan itse lampun lisäksi myös valaisimessa käytettävä liitäntälaite. Sytytintä ei tarvitse vaihtaa, sillä nykyisissä valaisimissa käytettävät sytytinkomponentit ovat yhteensopivia teholtaan pienemmän, 150 W:n lampun kanssa. Valaisimien komponenttien yhteensopivuuden selvittämiseksi 150 W:n lampun kanssa tutkittiin valaisimien nykyisiä komponentteja. Kuvassa 7.2 on valaisimissa käytettävä magneettinen liitäntälaite ja sytytin.



Kuva 7.2 Nykyisissä valaisimissa käytettävä magneettinen liitäntälaitte (vas.) ja sytytin

Valmistajien tuoteluetteloista (Liitteet 12, 13 ja 14) selvisi, että magneettinen liitäntälaitte pitää vaihtaa lampun tehon muuttuessa pienemmäksi tai suuremmaksi, mutta saman tehoisille monimetalli- ja suurpainenatriumlampuille käy sama liitäntälaitte. Sytytin on yhteensopiva monen tyyppisten ja tehoisten lampujen kanssa, kuten nykyisten lampujen tilalle suunniteltujen 150 W:n monimetallilampujen kanssa.

Ohjelmalla laskettiin, että korvaamalla nykyiset lamput 150 W:n monimetallilampuilla, päästään valovoimakkuudessa noin 540 lx:iin (Liite 7). Valon jakautuminen on yhtä tasaista kuin käytettäessä 250 W:n valaisimia.

Tällä toimenpiteellä vuosittainen säästö on

$$q = \left[\frac{(48 \cdot 0,27kW \cdot 80h \cdot 52 + 48 \cdot 0,27kW \cdot 120h \cdot 52) - (48 \cdot 0,17kW \cdot 80h \cdot 52 + 48 \cdot 0,17kW \cdot 120h \cdot 52)}{0,07756\text{€/kWh}} \right] \approx 3870\text{€}$$

Tässä toteutuksessa joudutaan vaihtamaan valaisimeen uusi liitäntälaitte (NK 150 TP). Nykyisissä valaisimissa käytössä olevat sytyttimet ovat yhteensopivia teholtaan pienemmän, 150 W:n lampun kanssa.

Uuden liitäntälaitteen hinta on 16,50 € (tarjous 2011). Lampun hinta on 27,00 € (tarjous 2011). Arvioitu kustannus kalusteiden vaihtotyölle on 50 €/valaisin (Vainio 2011). Uudistuksen investoinnin suuruus on siten

$$H = 96 \cdot (16,50\text{€} + 27\text{€}) + 96 \cdot 50\text{€} \approx 8976\text{€}$$

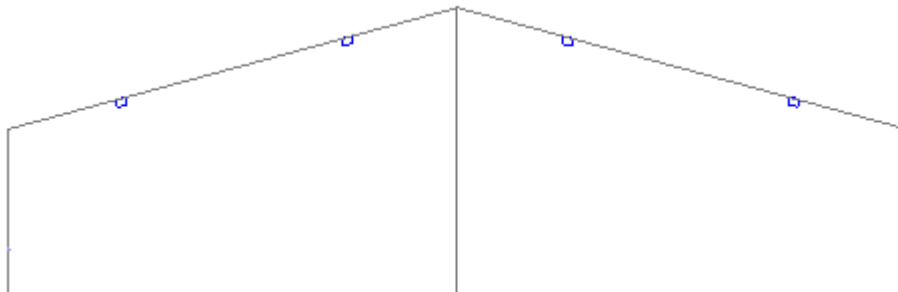
Takaisinmaksuaika nykyisten lamppujen korvaamisella on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{8976\text{€}}{3870\text{€}} \approx 2,3 \text{ vuotta}$$

7.6 KP2:n yleisvalaistuksen säästämahdollisuudet

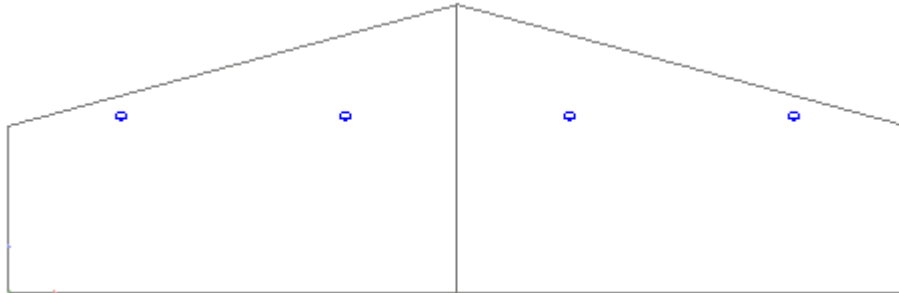
7.6.1 Nykyisten lamppujen korvaaminen pienempitehoisilla lampuilla ja valaisimien asennuskorkeuden madaltaminen

KP2:n hallin katto on harjamallinen, ja valaisimet ovat pinta-asennettuna kattoon kuvan 7.3 mukaisesti. Lähellä katon harjaa olevien valaisimien tuottama valoteho menee teoriassa hukkaan, sillä ne ovat turhan korkealla. Valaistusvoimakkuus on kääntäen verrannollinen etäisyyden neliöön, joten valaistusvoimakkuus pinnalla on sitä pienempi, mitä kauempana pinta on valolähteestä (Halonen & Lehtovaara 1992, 31). Teoriassa mitä lähempänä valonlähde on valaistavasta pinnasta, sitä suurempi on pinnan valaistusvoimakkuus. Käytännössä valaisimen tyyppi (laajasäteilijä, syväsäteilijä) vaikuttaa valonjakoon siten, että keskimääräinen valaistusvoimakkuus kokonaistilan pinnalla ei välttämättä ole suurempi.



Kuva 7.3 KP2:n valaisimien nykyinen ryhmittely ja asennuskorkeus edestä kuvattuna

Tässä KP2:n yleisvalaistuksen muutosehdotuksessa valaisimien asennuskorkeus on 4 m ja kaikki valaisimet ovat samalla tasolla, kuten nähdään kuvasta 7.4. Nykytilanteessa valaisimet on pinta-asennettu harjakattoon.



Kuva 7.4 KP2:n valaisimien mahdollinen ryhmittely ja asennuskorkeus edestä kuvattuna. Valaisimet on asennettu samalle tasolle 4 m:n korkeuteen.

KP2:n hallin yleisvalaistus on mahdollista toteuttaa 150 W:n monimetallivalaisimilla (CMH150/TT/UVC/730/E40 SW), jolloin kokonaisvalaistusvoimakkuus on noin 470 lx (kuva 7.5). Tässä suunnitelmassa valaisimien kokonaismäärä hallissa on 60.

KP2 / Valaistustekniset tulokset					
Kokonaisvalovirta:	972000 lm				
Kokonaisteho:	10200.0 W				
Huoltokerroin:	0.80				
Reuna-alue:	0.250 m				
Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m ²]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	402	71	472	/	/
Lattia	377	75	452	20	29
Seinä 1	80	77	157	50	25
Seinä 2	80	78	158	50	25
Seinä 3	141	78	218	50	35
Seinä 4	90	81	171	50	27
Seinä 5	90	81	171	50	27
Seinä 6	141	78	218	50	35
Yhdenmukaisuus käyttötasolla					
E_{\min} / E_{\max} : 0.539 (1:2)					
E_{\min} / E_{\max} : 0.431 (1:2)					
Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 7.85 W/m ² = 1.66 W/m ² /100 lx (Pohjapinta-ala: 1300.00 m ²)					

Kuva 7.5 KP2:n valaistustekniset tulokset 150 W:n monimetallilampulla 4 m:n asennuskorkeudella

Vuosittainen säästö tällä toteutuksella on

$$q = [(59 \cdot 0,27 \text{ kW} \cdot 168 \text{ h} \cdot 52) - (60 \cdot 0,170 \text{ kW} \cdot 168 \text{ h} \cdot 52)] \cdot 0,07756 \text{ €/ kWh} \approx 3880 \text{ €}$$

Tässä toteutuksessa joudutaan vaihtamaan valaisimen liitäntälaitte. Nykyisissä valaisimissa käytössä olevat sytyttimet ovat yhteensopivia teholtaan pienemmän, 150 W:n lampun kanssa. Investoinnin suuruutta kasvattavat myös valaisimien uudelleensijoittelutyö (valaisimien asennuskorkeuden madallus ja asennus samaan tasoon, kuva 7.4) sekä valaisinripustuskiskojen ja kiinnikkeiden hankinta ja asennuskustannukset.

Uuden liitäntälaitteen (NK 150 TP) hinta on 16,5 € (tarjous 2011). Lampun hinta on 27,00 € (tarjous 2011). Arvioitu kustannus kalusteiden vaihtotyölle on 50 €/valaisin, arvioitu kustannus valaisimien uudelleen sijoittelutyölle 50 €/valaisin. Investointi valaisinripustuskiskoihin ja kiinnikkeisiin on yhteensä noin 1800 € (Hyxal, Finnparttia Oy, 29) sekä ripustuksien asennustyöhön noin 1300 € (arvio).

$$H = 60 \cdot (16,5 \text{ €} + 27 \text{ €}) + 60 \cdot 50 \text{ €} + 60 \cdot 50 \text{ €} + 1800 \text{ €} + 1300 \text{ €} \approx 11710 \text{ €}$$

Takaisinmaksuaika nykyisten lamppujen korvaamisella ja asennuskorkeuden laskemisella on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{11710 \text{ €}}{3880 \text{ €}} \approx 3 \text{ vuotta}$$

7.6.2 Nykyisten lamppujen korvaaminen pienempitehoisilla lampuilla nykyinen pinta-asennus säilyttäen

Korvattaessa 250 W:n lamput 150 W:n lampuilla (CMH150/TT/UVC/730/E40 SW) valaisimien asennuskorkeuden laskemisella ei saavuteta hyötyä verrattuna nykyiseen pinta-asennukseen (kuva 7.3). DIALux-ohjelmalla tehdyn mallinnuksen mukaan 150 W:n monimetallilampuilla asennuskorkeuden laskeminen jopa

pientää hieman valaistusvoimakkuutta verrattuna pinta-asennukseen (kuva 7.6).

KP2 / Valaistustekniset tulokset					
Kokonaisvalovirta:		972000 lm			
Kokonaisteho:		10200.0 W			
Huoltokerroin:		0.80			
Reuna-alue:		0.250 m			
Pinta	Keskimääräinen valaistusvoimakkuus [lx]			Heijastussuhde [%]	Keskimääräinen luminanssi [cd/m ²]
	suoraan	epäsuoraan	kokonaan		
Käyttötaso	412	68	481	/	/
Lattia	385	73	458	20	29
Seinä 1	125	74	199	50	32
Seinä 2	125	75	200	50	32
Seinä 3	96	78	174	50	28
Seinä 4	135	78	213	50	34
Seinä 5	135	78	213	50	34
Seinä 6	96	78	174	50	28
Yhdenmukaisuus käyttötasolla					
E _{min} / E _m : 0.457 (1:2)					
E _{min} / E _{max} : 0.369 (1:3)					
Ominainen verkkoon kytketty kuorma: 7.85 W/m ² = 1.63 W/m ² /100 lx (Pohjapinta-ala: 1300.00 m ²)					

Kuva 7.6 KP2:n valaistustekniset tulokset 150 W:n monimetallilampulla nykyisellä pinta-asennuksella

Kuvan 7.6 mukaan keskimääräinen valaistusvoimakkuus on tällä toteutuksella 480 lx. Säilytettäessä pinta-asennus välttyään myös investoinneilta valaisimien uudelleen sijoitteluun eli asennukseen valaisinripustuskiskoille sekä ripustuskojen ja niiden asennuksen kustannuksilta.

$$H = 60 \cdot (16,5\text{€} + 27\text{€}) + 60 \cdot 50\text{€} \approx 5610\text{€}$$

Takaisinmaksuaika nykyisten lamppujen korvaamisella ja nykyisen pinta-asennuksen säilyttämisellä on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{5610\text{€}}{3880\text{€}} \approx 1,5 \text{ vuotta}$$

7.7 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen säästömahdollisuudet

Varastossa ja lähettämössä on yhteensä 97 kappaletta 250 W:n monimetallivalaisimia. Valaisimet on sijoitettu harvempaan kuin tuotannon tiloissa, joten valaisimien vähentäminen ei onnistu. Sen sijaan voidaan kyseenalaistaa varaston nykyinen yleisvalaistus, jossa käytetään valolähteenä monimetallilamppuja. Varastossa värinointokyvyn ei tarvitse olla yhtä hyvä kuin tuotannossa, joten nykyisten monimetallivalaisimien tilalle voidaan harkita 150 W:n suurpainenatriumvalaisimia, joilla on hyvä valotehokkuus ja lamppujen hinta on edullinen.

Valaistusvoimakkuus tällä toteutuksella on noin 300 lx. Liitteessä 10 on varaston ja lähettämön valaistussuunnitelman yhteenveto.

Vuosittainen säästö tällä yleisvalaistuksen toteutuksella varastossa ja lähettämössä on

$$q = \left[\begin{array}{l} (75 \cdot 0,27kW \cdot 120h \cdot 52 + 22 \cdot 0,27kW \cdot 80h \cdot 52) \\ - (75 \cdot 0,17kW \cdot 120h \cdot 52 + 22 \cdot 0,17kW \cdot 80h \cdot 52) \end{array} \right] \cdot 0,07756\text{€/kWh} \approx 4340\text{€}$$

Kustannuksia aiheutuisi uusista liitäntälaitteista, suurpainenatriumlampuista sekä näiden asennustyöstä. Liitäntälaitteen (NK 150 TP) hinta on 16,5 € (Tarjous 2011). Suurpainenatriumlampun hinta on noin 25 € (Finnpartia Oy) ja kalusteiden asennustyö maksaa 50 €/valaisin.

$$H = 97 \cdot (16,5\text{€} + 25\text{€}) + 97 \cdot 50\text{€} \approx 8880\text{€}$$

Takaisinmaksuaika nykyisten lamppujen korvaamisella varastossa ja lähettämössä on

$$t = \frac{H}{q} = \frac{8880\text{€}}{4340\text{€}} \approx 2 \text{ vuotta}$$

8 KEINOT SÄHKÖENERGIAN KULUTUKSEN PIENETÄMISEKSI

8.1 Ruiskuvalukoneiden ruiskutus sylinterien eristäminen

Ruiskutus sylinterien lämmitysvastuksien eristäminen osoittautui tehokkaimmaksi keinoksi sähköenergian kulutuksen pienentämisessä tehtaalla. Nykyään eristämättömät lämmitysvastuksien lämmittämät vyöhykkeet siis eristetään, jolloin lämpöenergiaa kuluu vähemmän.

Säästöä ei saada lämmitystehon pienenemisestä vaan lämmitysvastuksen käyttäjän perusteella. Lämmitysvastus kytkeytyy päälle, kun ruiskutus sylinterin vyöhykkeen lämpötila laskee määritetyn lämpötilan alapuolelle. Kun lämpötila sylinterin vyöhykkeessä nousee lämmitysvastuksen vaikutuksesta riittävälle tasolle, lämmitysvastus kytkeytyy pois päältä. Eristämisen vaikutuksesta lämpötila vyöhykkeessä pysyy optimaalisena kauemmin, mikä vähentää lämmitysvastuksen käyttöaika.

Lämmitysvastuksien eristämisen ei pitäisi vaikuttaa prosessiin millään tavalla, ja tarvittaessa eristeet on helppo irrottaa pois niiden kätevän kiinnityksen vuoksi.

Taulukko 8.1 Ruiskuvalukoneiden eristämisen tuottama säästö

Investoinnin suuruus (H)	Vuosittainen säästö (q)	Takaisinmaksuaika (t)
17200 €	17300 €	1 vuosi

Jo pelkästään tällä keinolla päästään tavoitteena olevaan 4 %:n säästöön sähköenergian kulutuksessa.

8.2 Raaka-ainekuivauksen ja tuotannon koordinointi

Mittaukset kahden pääraaka-aineen kuivauksessa vanhoilla kuumailmakuivureilla osoittavat, että raaka-aineen kulutuksen ollessa vähäistä käytetään paljon energiaa valmiustilan ylläpitämiseen. Kun muoviraaka-ainetta ei käytetä tietyllä

ajanjaksolla muoviosien valmistuksessa ruiskuvalukoneissa, niin muoviraaka-ainetta pidetään valmiina ylläpitolämmityksessä, kunnes muoviraaka-ainetta taas tarvitaan. Yhden mittauksen mukaan tällaisen ylläpitolämmityksen pisin aika oli noin 3 päivää.

Nykyisillä kuumailmakuivureilla, joilla mittaukset tehtiin, ylläpitolämmitykseen kuluu sähköenergiaa vähintään saman verran kuin itse kuivaukseen. Pisin mittausajanjakso oli noin 13 päivää, mikä antaa melko hyvän käsityksen kuivurin sähköenergian kulutuksesta kokonaisuudessaan. Lyhyemmän mittausajanjakson perusteella nähtiin myös sähköenergian kulutusta pelkän kuivauksen osalta (ei ylläpitolämmitystä). Näiden mittausten ja laskelmien mukaan nykyisellä kuumailmakuivurilla voidaan päästä 10 kertaa pienempään sähköenergian kulu- tukseen, jos turha ylläpitolämmitys saadaan karsittua pois prosessista.

Mittausajanjaksolla, joka kesti 13 päivää, kuivaustehokkuus oli (PC-ABS) 2,6 kWh/kg. Mittausajanjaksolla, joka oli pelkkää kuivausta, kuivaustehokkuus oli (PA-6) 0,21 kWh/kg.

Jos tuotannon koordinointi ja ylläpitolämmityksen poistaminen ei onnistu nykyi- sen kuumailmakuivurin pitkän yölämmitysajan (4-8 h) vuoksi, kannattaa uusi alipainekuivuri hankkia ainakin pääraaka-aineiden kohdalla. Pääraaka-aineet ovat PC-ABS (vuosikulutus 72000 kg) ja PA-6 (vuosikulutus 60000 kg).

Taulukko 8.2 Ylläpitolämmityksen poistamisen tuottama säästö pelkästään PC-ABS-muoviraaka-aineen kuivauksessa

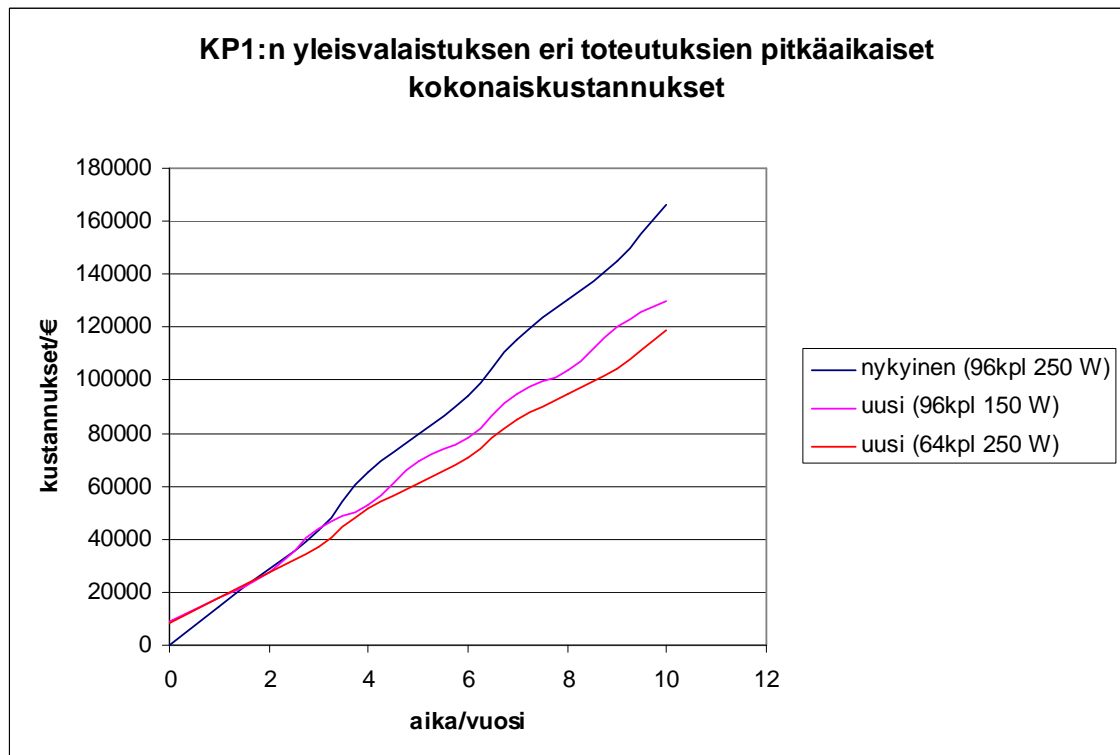
Toteutus	Investoinnin suuruus (H)	Vuosittainen säästö (q)	Takaisinmaksuaika (t)
tuotannon koordinointi	0 €	13200 €	0 vuotta
Alipaine kuivuri ja tuotannon koordinointi	10000 €	14300 €	0,7 vuotta

8.3 Uudistukset yleisvalaistuksessa

8.3.1 KP1:n yleisvalaistuksen uudistus

KP1:n yleisvalaistuksen uudistus kannattaa toteuttaa luvun 7.5.1 mukaisesti vähentämällä nykyisten 250 W:n monimetallivalaisimien määrää 64 kappaleeseen ja uudelleen sijoittamalla ne valaistusvoimakkuuden tasaisuuden säilyttämiseksi. Näin vältetään lampputyypin vaihdon aiheuttamilta kustannuksilta, kuten liitäntälaitteen vaihdolta. Toinen vaihtoehto on vaihtaa luvun 7.5.2 mukaisesti kaikki nykyiset lamput pienempitehoisiin lamppeihin.

Kuvassa 8.1 on KP1:n yleisvalaistuksen kustannukset 10 vuoden ajalla eri toteutuksilla. Kuvaajien kustannukset sisältävät tarpeelliset alkuinvestoinnit uusille ratkaisuille, sähköenergian vuosittaiset kustannukset, asennus- ja vaihtotyöt sekä lamppujen vaihdot laskettuna lamppujen ilmoitetulla polttoiällä.



Kuva 8.1 KP1:n yleisvalaistuksen kokonaiskustannukset kahdella eri uudistusratkaisuilla verrattuna nykyiseen

Vertailtaessa kahden mahdollisen uudistuksen kokonaiskustannuksia pitkällä aikavälillä huomataan myös, että nykyisen keraamisen monimetallilampun pitkä polttoikä (24 000 h) tuottaa taloudellista säästöä verrattuna uuteen 150 W:n keraamiseen monimetallilamppuun (16 000 h).

Kummatkin yleisvalaistuksen uudistukset maksavat itsensä melko nopeasti takaisin säästöinä sähköenergian kulutuksessa, mutta nykyisten valaisimien vähentäminen on laskelmiin perustuen parempi ratkaisu. Yleisvalaistuksen valaistusvoimakkuuden taso säilyy myös riittävän korkeana (490 lx). Tosin 150 W:n lamppujen ratkaisussa valaistusvoimakkuus olisi korkeampi (noin 550 lx).

Kuvasta 8.1 nähdään, että molemmilla uudistuksilla taloudellinen säästö 6 vuoden kuluttua vanhaan ratkaisuun verrattuna on 20000 €:n luokkaa.

Taulukko 8.3 KP1:n yleisvalaistuksen uudistuksien säästöt

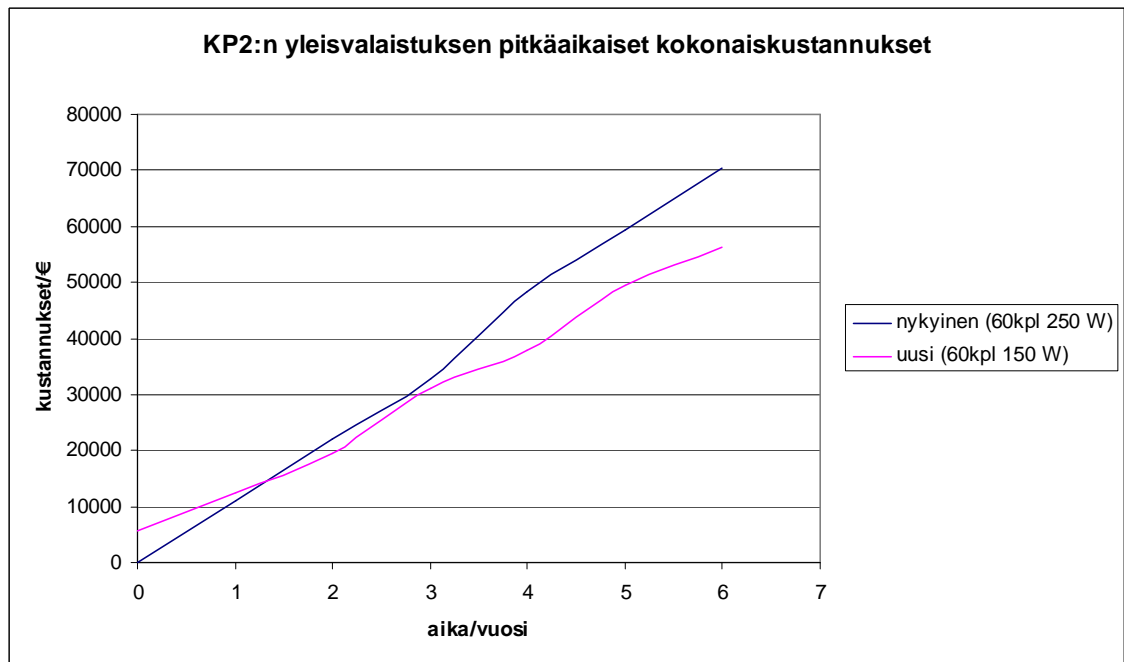
toteutus	Investoinnin suuruus (H)	Vuosittainen säästö (q)	Takaisinmaksuaika (t)
64 kpl 250 W	4800 €	3480 €	1,4 vuotta
96 kpl 150 W	8976 €	3480 €	3 vuotta

8.3.2 KP2:n yleisvalaistuksen uudistus

KP2:n yleisvalaistuksen uusimisessa voidaan harkita luvun 7.6.2 ratkaisua, jossa säilytetään nykyinen valaisimien pinta-asennus ja valaisimien sijoittelu. Nykyinen 250 W:n monimetallilamppu korvattaisiin sen sijaan 150 W:n keraamisella monimetallilampulla.

Tässä ratkaisussa yleisvalaistuksen valaistusvoimakkuus pienenee, mutta sen pitäisi olla vielä siedettävällä tasolla (480 lx). Täytyy myös muistaa, että työaluiden valaistusvoimakkuutta nostavat nykyiselläänkin loisteputkivalaisimet ja tarvittaessa loisteputkivalaistusta voidaan myös parantaa.

Kuvassa 8.2 esitellään KP2:n yleisvalaistuksen kustannuksia 6 vuoden ajalla nykyisellä ja ehdotetulla uudistuksella. Kuvaajien yleisvalaistuksen kustannukset sisältävät tarpeelliset alkuinvestoinnit uudelle ratkaisulle, sähköenergian vuosittaiset kustannukset, asennus- ja vaihtotyöt sekä lamppujen vaihdot laskettuna kummankin lampun ilmoitetulla polttoikällä.



Kuva 8.2 KP2:n yleisvalaistuksen kokonaiskustannukset ehdotetulla ratkaisulla verrattuna nykyiseen

Kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa pitkällä aikavälillä huomataan myös, että nykyisen lampun pidempi polttoikä pitkittää jonkin verran takaisinmaksuaikaa ehdotetulla uudistuksella. 4 vuoden kuluttua taloudellinen ero kustannuksissa nykyisen ja ehdotetun uudistuksen kustannuksissa on kuitenkin jo noin 10 000 €.

Taulukko 8.4 KP2:n yleisvalaistuksen uudistuksen säästö

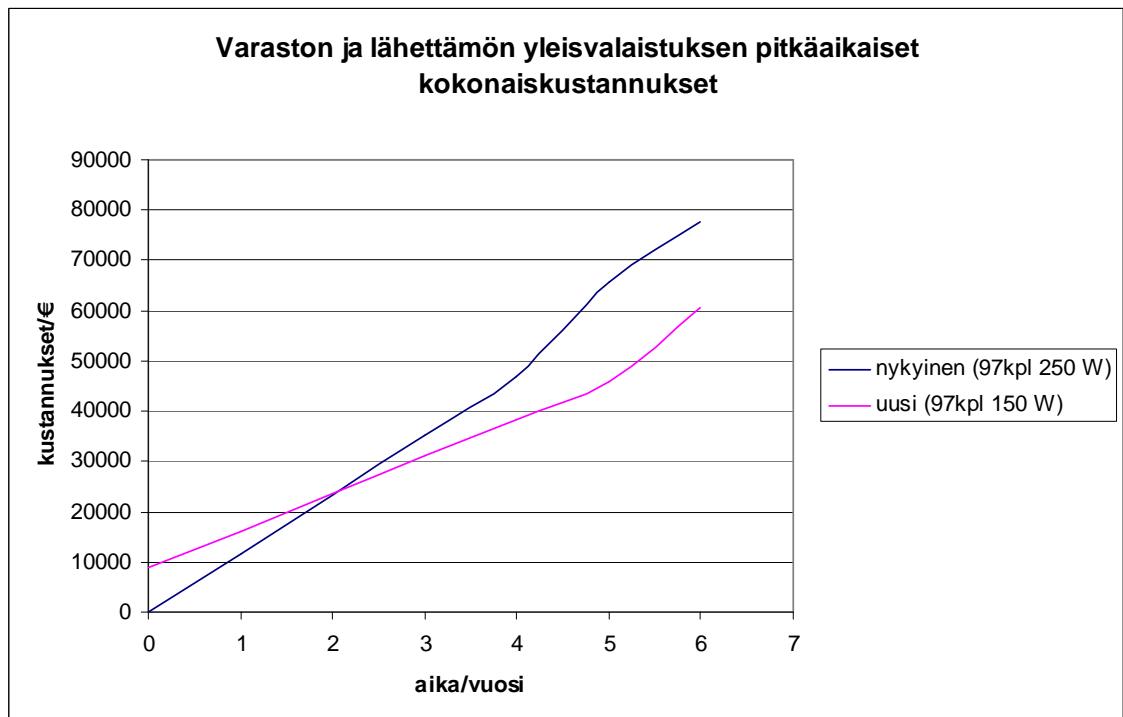
Investoinnin suuruus (H)	Vuosittainen säästö (q)	Takaisinmaksuaika (t)
5610 €	3880 €	1,5 vuotta

8.3.2 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen uudistus

Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen uudistamisessa voidaan käyttää luvun 7.7 ratkaisua, jossa nykyiset 250 W:n monimetallilamput korvataan 150 W:n suurpainenatriumlampuilla.

Suurpainenatriumlampuilla toteutetun yleisvalaistuksen haittapuolina on pieni valaistusvoimakkuuden laskeminen, valaistuksen huonompi värintoistokyky (värintoistoindeksi 25) ja kellertävä valo. Toisaalta varastossa ei tehdä vaativaa kokoonpanotyötä, joten huonon värintoiston ja kellertävän valon ei pitäisi muodostua esteeksi.

Kuvassa 8.3 esitellään varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen kustannuksia 6 vuoden ajalla nykyisellä ja ehdotetulla uudistuksella. Kuvaajien yleisvalaistuksen kustannukset sisältävät tarpeelliset alkuinvestoinnit uudelle ratkaisulle, sähköenergian vuosittaiset kustannukset, asennus- ja vaihtotyöt sekä lamppujen vaihdot kummankin lampun ilmoitetulla polttoiällä.



Kuva 8.3 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen kokonaiskustannukset ehdotetulla ratkaisulla verrattuna nykyiseen

Taloudellista säästöä syntyy myös suurpainenatriumlamppujen pidemmästä polttoiästä ja lampun halvasta hinnasta. Kuvasta 8.3 nähdään, että noin 4 vuoden kuluttua taloudellinen ero kustannuksissa nykyisen ja ehdotetun uudistuksen kustannuksissa on jo noin 10 000 €.

Taulukko 8.5 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen uudistuksen säästö

Investoinnin suuruus (H)	Vuosittainen säästö (q)	Takaisinmaksuaika (t)
8880 €	4340 €	2 vuotta

9 MUITA SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖKEINOJA

9.1 Yleisvalaistuksen jakaminen pienempiin valaisinryhmiin

KP1:n valaistus on jaettu 4 osaan siten, että tuotannon pienemmillä kokoonpanolinjoille on erikseen 2 valaistusryhmää sekä käsityöpaikalla 1 valaistusryhmä, suurella kytkinlinjalla on 1 valaistusryhmä. Aamuvuorossa tarvitaan koko KP1:n yleisvalaistusta, mutta ilta- ja yövuorossa sekä viikonloppuisin harvemmin.

KP2:n yleisvalaistus on jo jaettu neljään valaisinryhmään: ruiskuvalukoneet, 1-pistorasianlinjan puoleinen halli, 2-pistorasianlinjan puoleinen halli sekä poikittaiskäytävä. Kokoonpanolinjoista 2-pistorasianlinjaa ajetaan eniten, sillä se toimii 3-vuorossa ja joskus myös viikonloppuisin.

Myös varasto on jaettu jo pienempiin valaisinryhmiin, joten tehtaan yleisvalaistuksen jakaminen pienempiin ryhmiin ei kannata.

9.2 Turhat valaisimet

Joihinkin paikkoihin on jäänyt turhia yleisvalaisimia tehtaan tiloja muutettaessa. Esimerkiksi entisen metalliosaston paikalle rakennetussa toimistotilassa on umpinainen katto ja oma valaistus, mutta toimiston yläpuolella on vielä monimetallivalaisimia.

10 YHTEENVETO

Tässä työssä etsittiin taloudellisesti kannattavia sähköenergian säästökeinoja, joilla päästäisiin 4 %:n säästöön sähköenergian kulutuksessa. Säästöä tuovan toimenpiteen taloudellisen kannattavuuden selvittämiseksi piti tutkia toimenpiteen tuomaa säästöä, investointien kustannuksia sekä haittoja ja hyötyjä. Esille nousseet säästökeinot keskittyvät muovituotantoon ja tehtaan valaistukseen.

Tavoitteena olevaan 4 %:n sähköenergian säästöön päästiin jo pelkällä ruiskutussylintereiden eristämällä, joka osoittautui yhdeksi parhaimmista säästökeinoista (yksinkertainen mittaus ja toteutus) ja tätä ratkaisua onkin jo alettu toteuttaa. Toinen hyvä säästökohde muovituotannossa, muoviraaka-aineen kuivaus, vaatii mielestäni tutkimista ja vielä tarkempia mittauksia raaka-ainekuivauksen sähköenergian kulutuksen ja säästöjen selvittämiseksi. Tässä työssä käsitellyt asiat osoittavat ainakin suuren sähköenergian säästöpotentiaalin ja siten myös suuren rahan säästömahdollisuuden.

Yleisvalaistuksen osalta tutkittiin kahden kokoonpano-osaston ja varaston sähköenergian säästömahdollisuuksia. Kokoonpano-osasto 1:llä valaisimien määrän vähentäminen tai vaihtaminen pienempiin lamppeihin onnistuu hyvin ja säästöt ovat melko hyvät. Valaistusvoimakkuuden laskeminen ei haittaa, sillä tällä osastolla nykyinen valaistusvoimakkuus on jopa turhan korkea. Kokoonpano-osasto 2:lla valaistusvoimakkuuden pientä alenemista ei voida välttää, mikä on haittapuolena. Varastossa ja lähettämössä päästään yllättävän suuriin säästöihin vaihdettaessa nykyiset monimetallilamput suurpainenatriumlamppuihin. Värintoistokyky vähenee paljon, mutta se voi olla hyväksyttävissä.

Yhteensä siis viisi säästökeinoa löydettiin. Kolmen valaistuksen säästökeinon tuottamat vuosittaiset säästöt ovat 3000–4000 €.

Muovituotannon säästökeinojen laskelmat perustuvat mittaustuloksiin. Mielestäni mittaukset olisivat voineet olla parempia, esimerkiksi toisella kuumailma-kuivurilla mittausajanjakso olisi voinut olla pidempi. Mittaukset kuitenkin tekevät muovituotantoon liittyvien säästökeinojen laskelmista melko luotettavia.

Valaistuksen säästökeinojen tutkiminen perustui puolestaan DIALux-ohjelmalla tehtyihin mallinnuksiin, joten vertailun ja valaistuksen riittävyuden arviointi riippuu DIALux-ohjelman tarkkuudesta. Valaistukseen liittyviin laskelmiin vaikuttavat myös arviot osastojen työajoista ja vuoroista eli käytännössä se, kuinka paljon valaistusta käytetään.

Valaisinuudistukset ovat pitkälle mietittyjä, ja kaikki mahdolliset kustannukset on pyritty ottamaan huomioon lopullisessa investoinnin suuruudessa. Tällaisia ovat kalusteiden asennus- ja vaihtotyöt, sähköenergian vuosittaiset kustannukset, sekä lamppujen vaihdot riippuen niiden polttoikästä. Tämä työ myös kokoaa yhteen pienet selvitykset, mittaustulokset sekä laskelmat ja muodostaa niistä selvän kokonaisuuden.

Haastavinta tässä työssä oli tarvittavien tietojen kerääminen. Aihe oli laaja ja selvittettäviä asioita paljon. Koulussa on tottunut siihen, että esimerkiksi laskutehtävän selvittämiseksi tarvittut tiedot on annettu. Nyt kaikki piti selvittää itse. Valaistuksen uudistuksien investointien laskeminen opetti myös, kuinka paljon asioita pitää ottaa huomioon tarkan kuvan saamiseksi.

KUVAT

Kuva 2.1 Tehtaan energian kulutus 2000-luvulla (Energiatehokkuus 2010), s. 11

Kuva 2.2 Lämmitysenergia 2009–2010 (Energy actions_august 2010), s. 13

Kuva 2.3 Sähköenergia 2009–2010 (Energy actions_august 2010), s. 14

Kuva 3.1 Sähköenergian kulutuksen jakautuminen tehtaalla vuonna 2010, s. 16

Kuva 3.2 Muovikoneen H5001_engel_1601 ($P_{\text{nmoottori}}=15$ kW ja $P_{\text{nlämmitys}}=9,2$ kW) päivittäinen energian kulutus 2 viikon ajalta, s. 19

Kuva 3.3 Muovikoneen tyypillisiä energian kulutusarvoja tunneittain (kWh) (H5001_engel_1601, $P_{\text{nmoottori}}=15$ kW ja $P_{\text{nlämmitys}}=9,2$ kW) (Energy period over period report 2010), s. 20

Kuva 3.4 Yleisvalaisimen tiedot, s. 22

Kuva 3.5 Kiinteän valaistuksen asennustehoja osastoittain, s. 23

Kuva 3.6 Suurien hallien yleisvalaistuksen kuluttama sähköenergia, s. 24

Kuva 5.1 Ruiskutusyksikkö, s. 29

Kuva 5.2 Ruiskuvalukoneen ruiskutus sylinterin vyöhykkeiden lämpötiloja, s. 29

Kuva 5.3 Kuva eräästä ruiskutus sylinteristä, jossa on yhtenäinen lämpöeristysvaippa, s. 30

Kuva 5.4 Yksittäisille vyöhykkeille tehdyt eristeet. Pieni rako eristeiden välissä auttaa säilyttämään vyöhykkeiden lämpötilaerot, s. 31

Kuva 5.5 Ruiskutus sylinterin eristyksen uusimisen vaikutus engelin muovikoneessa ($P_{\text{nmoottori}}=15$ kW ja $P_{\text{nlämmitys}}=9,2$ kW) (Energiatehokkuus 2010), s. 32

Kuva 5.6 Erään ruiskuvalukoneen 11 kW:n sähkömoottorin kilpiarvot, s. 35

Kuva 5.7 Hyötysuhdeluokkien väliset raja-arvot (Motiva Oy 2004), s. 37

Kuva 5.8 Vuosittaiset säästöt 11 kW:n sähkömoottorilla, jonka nimellishyötysuhde on 0,91, s. 39

Kuva 6.1 Uuden alipaine kuivurin tekniset tiedot (Maguire LPD-100.pdf), s. 44

Kuva 6.2 Kuivaustietoja eri materiaaleille (Maguire LPD-100.pdf), s. 44

Kuva 7.1 Varaston valaistuksen toteutuksen pitkäaikaisten kustannuksien kuvaajat suurpainenaatrium- ja led-valaisimilla, s. 50

Kuva 7.2 Nykyisissä valaisimissa käytettävä magneettinen liitäntälaitte (vas.) ja sytytin, s. 62

Kuva 7.3 KP2:n valaisimien nykyinen ryhmittely ja asennuskorkeus edestä kuvattuna, s. 63

Kuva 7.4 KP2:n valaisimien mahdollinen ryhmittely ja asennuskorkeus edestä kuvattuna. Valaisimet on asennettu samalle tasolle 4 m:n korkeuteen, s. 64

Kuva 7.5 KP2:n valaistustekniset tulokset 150 W:n monimetallilampulla 4 m:n asennuskorkeudella, s. 64

Kuva 7.6 KP2:n valaistustekniset tulokset 150 W:n monimetallilampulla nykyisellä pinta-asennuksella, s.66

Kuva 8.1 KP1:n yleisvalaistuksen kokonaiskustannukset eri ratkaisulla verrattuna nykyiseen, s. 70

Kuva 8.2 KP2:n yleisvalaistuksen kokonaiskustannukset ehdotetulla ratkaisulla verrattuna nykyiseen, s. 72

Kuva 8.3 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen kokonaiskustannukset ehdotetulla ratkaisulla verrattuna nykyiseen, s. 73

TAULUKOT

Taulukko 6.1 Energian mittaustuloksia kuumailmakuivurilla, jolla kuivataan PC-ABS -raaka-ainetta, jonka vuosikulutus on noin 72000 kg, s. 40

Taulukko 6.2 Energian mittaustuloksia kuumailmakuivurilla, jolla kuivataan PA-6-
6-
raaka-ainetta, jonka vuosikulutus on noin 60000 kg, s. 43

Taulukko 7.1 Suosituksia teollisen kokoonpanotyön valaistusvoimakkuuksista (Suomen Valoteknillinen Seura 2008), s. 53

Taulukko 7.2 Valaistussuosituksia (Oamk, ABB TTT:n käsikirja 2000), s. 54

Taulukko 7.3 Erilaisia monimetallilamppuja (CMH250/TT/UVC/U/830 on käytössä tällä hetkellä), s. 56

Taulukko 7.4 Erilaisia suurpainenatriumlamppuja (GE tuoteluettelo 2010), s. 54

Taulukko 7.5 Eri valonlähteiden ominaisuuksia, s. 57

Taulukko 7.6 Yleisvalaistuksen uusi sähköenergian kulutus vuodessa pienempi-tehoisilla lampuilla, s. 59

Taulukko 7.7 Yleisvalaistuksen uusimisen vaikutukset vuosittaiseen sähköenergian kulutukseen, s. 60

Taulukko 8.1 Ruiskuvalukoneiden eristämisen tuottama säästö, s. 68

Taulukko 8.2 Ylläpitolämmityksen poistamisen tuottama säästö pelkästään PC-ABS-muoviraaka-aineen kuivauksessa, s. 69

Taulukko 8.3 KP1:n yleisvalaistuksen uudistuksen säästö, s. 71

Taulukko 8.4 KP2:n yleisvalaistuksen uudistuksen säästö, s. 72

Taulukko 8.5 Varaston ja lähettämön yleisvalaistuksen uudistuksen säästö, s. 74

LÄHTEET

ABB:n TTT-käsikirja 2000–07, (Oulun ammattikorkeakoulu, valaistustekniikka)
www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/21_Valaistustekniikka.pdf (Luettu 7.3.2011)

BAG electronics. 2010. MZN 400 S 4K – TU
http://products.bagelectronics.com/download/produkte/zg/10027226/datasheet/datasheet10027226_en_20100826.pdf (Luettu 8.3.2011)

Finnparttia Oy. 2010. Hinnasto 24. <http://www.finnparttia.fi/> (Luettu 8.3.2011)

Halonen. V. 2008. Neste Oilin energialaitoksen paineilma- ja syöttövesituotannon energiataloudellinen tarkastelu. Konetekniikka. Opinnäytetyö.

Heimonen. S. 2009. SARLIN-SYYNI. Raportti Syynistä 3.9.–9.9.2009. Ahlström sähkötarvikkeet Oy Strömfors.

Helvar Oy. 2010. Magnetic ballasts and ignitors for HID-lamps
<http://www.helvar.com/default.asp?path=3386,3684&lan=EN> (Luettu 8.3.2011)

Kuvaja & Karhu. 2001. Energiakatselmusraportti. Kauppa- ja teollisuusministeriön tukema energiakatselmushanke.

Liisa Halonen, Jorma Lehtovaara. P. 1992. Valaistustekniikka. Jyväskylä: Gummerrus kirjapaino Oy.

Luoma-Aho. J. 2010. Teollisuusalueen valaistuksen vertailu ja toteutus. Sähkötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

Maguire Ltd. 2010. Maguire Product Technical Data Sheet LPD-100
http://www.maguire.com/ps_image/pdf/LPD-100.pdf (Luettu 2.10.2010)

Maguire Ltd. 2004. LPDTS.pdf.
http://www.maguire.com/ps_image/pdf/LPDTS.pdf (Luettu 2.10.2010)

Motiva Oy. 2004. Korkeahyötysuhteisten sähkömoottorien hankintasuositus.

http://www.motiva.fi/files/1665/Korkeahyotysuhteisten_sahkomoottorien_hankintasuositus.pdf (Luettu 8.3.2011)

Pentti Järvelä, Kai Syrjälä, Martti Vastela. P. 1999. Ruiskuvalu. Tampere: Plastdata Oy.

Pentti Vainio. 2010. Energiatehokkuus.

Schneider Electric. 2010. Energy actions_August 2010

Sippola. V. 2010. Eco-design -direktiivin täytäntöönpanotoimenpiteiden vuoksi poistuvien lamppujen korvaaminen ulkovalaistuksessa. Aalto-yliopisto. Diplomityö.

SLO. 2008. Tuotetiedot 8605 - ABB SÄHKÖMOOTTORIT

<http://www.slo.fi/www/fi/Tuotteet/Tuoteluettelo/Sivut/tuotetietosivu.aspx?partno=8625039> (Luettu 10.2.2011)

Strömfors Electric Oy. Energy Period Over Period Report[1]. 2010.

Suomen Valoteknillinen seura. 2008. Valaistushankintojen energiatehokkuus. Kauppa- ja teollisuusministeriön (Työ- ja elinkeinoministeriön) suositukset julkisten hankintojen energiatehokkuudesta; valaistusosuuksien päivitys. Taustaraportti.

http://www.valosto.com/tiedostot/SVS_Valaistushankintojen_energiatehokkuus_V4.pdf (Luettu 13.3.2011)

Työterveyslaitos. 2010.

http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/valaistus/hyva_valaistus/valaistusvoimakkuus/sivut/default.aspx (Luettu 8.3.2011)

VEM motors Finland Oy. 2009. EFF-luokittelu historian.

<http://www.vem.fi/uutiset/2009/EFF-luokittelu-historiaan> (Luettu 10.2.2011)

Wikipedia

<http://fi.wikipedia.org/wiki/Energia#S.C3.A4hk.C3.B6energia> (Luettu 8.3.2011)

Liite 1

1(1)



HQI-T 250/D

Tekniikka - valotekniset tiedot	
Nominal luminous flux	20000 lm
Valovirta	20000 lm
Rated color temperature	5000 K
Värintoistoindeksi Ra	90
Rated LLMF at 2000 h	0.91
Rated LLMF at 4000 h	0.85
Rated LLMF at 6000 h	0.84
Rated LLMF at 8000 h	0.84
Rated LLMF at 12000 h	0.77
Väriämpötila	5200 K
Värintoistoluokka	1A
Luminanssi	1100 cd/cm ²
Valotehokkuus	82 lm/W

Tekniikka - lämpötilat	
Korkein sallittu kannan lämpötila	250 °C

Yleiskuvaukset	
Kierrätys	yes
Elohopeavapaa	No
Successor EAN	4008321525710
Lamp mercury content	15.0 mg
Kanta (normitettu)	E40
Muoto / malli	Clear

Tekniikka - sähköiset tiedot	
Rated lamp efficacy (standard condition)	80 lm/W
Operation mode LLMF/LSF	50 Hz
Kompensointikondensaattori 50 Hz	32 µF ²⁾
Rakenteellinen teho	250,29 W
Rakenteellinen virta	3 A
Nimellisteho (pakkaus)	250,29 W

Tekniikka - mitat	
Diameter	46 mm
Pituus	226 mm
Valokappaleen etäisyys kannasta (LCL)	150 mm

Tekniikka - eliniät	
Rated lamp survival factor 2000 h	0.99
Rated lamp survival factor 4000 h	0.99
Rated lamp survival factor 6000 h	0.99
Rated lamp survival factor 8000 h	0.90
Rated lamp survival factor 12000 h	0.50
Elinikä	12000 h ³⁾

Tekniikka - valotekniset tiedot	
Rated color rendering index (Ra)	91
Rated luminous flux	20100 lm

Liite 1

1(1)

Osasto	Keskus	Kulutus kWh					Tarkennus
		huhtikuu	toukokuu	kesäkuu	heinäkuu	elokuu	
KP1	AC1	30705	36417	35625	34767	36012	kokoonpano
paineilma	AD1	17574	18126	15807	17181	429	paineilma
KP2	AD2	30948	33684	29214	26682	28836	kokoonpano
muovi	AF1	201	651	684	585	270	muovi
muovi	AF3	20598	23724	19284	23583	26292	muovi
muovi	AF4	26511	25161	21672	23703	20349	muovi
muovi	AG1	40611	39402	38250	37629	33267	muovi
muovi	AG2	26346	38475	32601	38010	31518	muovi
muovi	AG3	34512	32685	32250	33414	28047	muovi
muovi	BB	20616	26331	24231	21663	20085	muovi
elektroniikka	BC	11886	13638	12498	11922	12840	elektroniik.
KP1	BD	8592	5418	7374	5943	6585	kokoonpano
TK	BE	10833	10590	9411	10629	11094	
konttori	BH	22062	23964	23685	21162	24510	
F13 ilmastointi	BM	25362	26910	27201	27903	29346	
varasto	BN	29667	18930	16389	15636	14898	
	AC3						
paineilma	komprs. 1	33180	31227	34065	29295	32616	paineilma
	BF						
paineilma	komprs. 2	32919	40371	31269	33546	34575	paineilma
jäähdytys	AC2 VJK	12357	17331	17877	22494	27279	jäähdytys
	valaistus						
muovi	F13/1	6621	6667	6284	6473	6498	valaistus
	valaistus						
muovi	F13/2	8416	8550	8194	8337	8293	valaistus
	valaistus						
KP2	F24	10072	10089	9074	8604	8454	valaistus
	valaistus						
elektroniikka	F25/1	8631	8887	8587	8002	7477	valaistus
	valaistus						
muovi	F25/2	5808	6004	5806	6029	5926	valaistus
	valaistus						
elektroniikka	pintakäs. valaistus	3617	3547	2708	2867	3065	valaistus
	valaistus						
varasto	F28-30	18986	19894	17427	16955	16174	valaistus
	valaistus						
KP1	F32	8000	8343	7941	7212	8505	valaistus
	valaistus						
KP1	F33	8630	11665	11096	8718	9896	valaistus

Liite 2

1(1)

osasto	lukumäärä	teho/W	teho yht.	h/vko	vkoa/vuosi	kulutus/MWh
F1 0-krs labra	24	116	2784	40	52	5,8
F1 0-krs labra var	11	58	638	10	52	0,3
F1 0-krs pukuh	33	40	1320	168	52	11,5
F1 1-krs konesuun	15	130	1950	40	52	4,1
F1 1-krs neuvottelu	53	116	6148	20	52	6,4
F1 1-krs talous	52	130	6760	40	52	14,1
F1 2-krs	87	130	11310	40	52	23,5
F1 3 krs suunn	66	130	8580	40	52	17,8
F1 3 krs tsto	27	130	3510	40	52	7,3
F10 halli	73	108	7884	40	52	16,4
F10 sos tilat	12	65	780	40	52	1,6
F10 tsto	37	36	1332	40	52	2,8
F13 halli	21	108	2268	168	52	19,8
F13 komp	10	130	1300	5	52	0,3
F13 koneh	2	130	260	5	52	0,1
F13 muotti	12	108	1296	168	52	11,3
F13 mursk	15	65	975	40	52	2,0
F13 pannuh	10	108	1080	5	52	0,3
F13 ruokala	27	130	3510	40	52	7,3
F13 terveys	10	130	1300	40	52	2,7
F13 tsto	7	72	504	168	52	4,4
F13 viim	6	65	390	80	52	1,6
F24 halli	32	130	4160	80	52	17,3
F24 käytävä	19	130	2470	168	52	21,6
F24 tsto ak	15	36	540	80	52	2,2
F24 tsto yk	6	58	348	40	52	0,7
F25 halli	16	108	1728	168	52	15,1
F25 laitosm	2	108	216	80	52	0,9
F25 laitosm	3	130	390	80	52	1,6
F25 tsto	4	72	288	40	52	0,6
F28, F30 halli	11	130	1430	80	52	5,9
F31 käytävä	5	108	540	168	52	4,7
F31 tsto	26	130	3380	80	52	14,1
F31 tsto	10	108	1080	80	52	4,5
F32 halli	14	130	1820	80	52	7,6
F32 pukuh	18	65	1170	20	52	1,2
F32 vintti	12	65	780	80	52	3,2
F33 halli	28	130	3640	80	52	15,1
F33 pukuh	16	65	1040	20	52	1,1
F33 tsto	43	65	2795	80	52	11,6
F34 tauko	4	100	400	168	52	3,5
yhteensä	894		94094			294,2

Liite 3

1(1)

osasto	lukumäärä	teho/W	teho yht.	h/vko	vkoa/vuosi	kulutus/MWh
F13 halli	80	250	20000	168	52	174,7
F13 tornih	3	250	750	168	52	6,6
F24 halli	55	250	13750	168	52	120,1
F24 käytävä	4	250	1000	168	52	8,7
F25 halli	77	250	19250	80	52	80,1
F25 jätevesilaitos	4	100	400	40	52	0,8
F25 kem var	5	100	500	40	52	1,0
F25 pintak	14	250	3500	40	52	7,3
F28, F30 halli	75	250	18750	80	52	78,0
F29 halli	22	250	5500	80	52	22,9
F30 ulkov	3	250	750	80	52	3,1
F32 halli	48	250	12000	80	52	49,9
F33 halli	48	250	12000	80	52	49,9
M50	33	250	8250	80	52	34,3
	471		116400			637,5

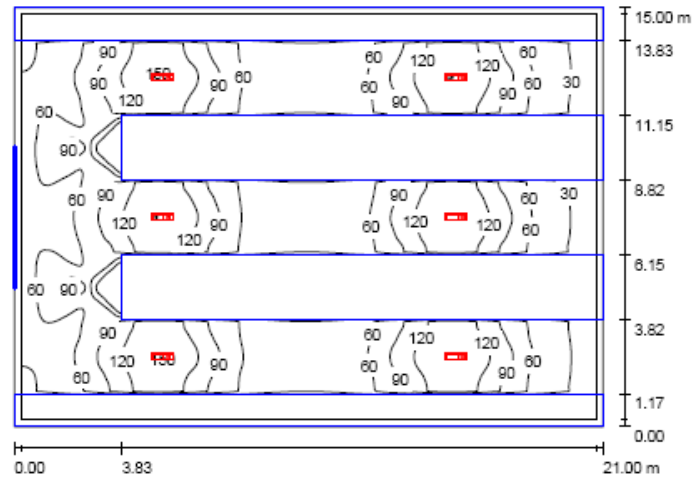
Liite 4

1(1)

Kone	kpl	U _n /V	I _n /A	P _n /kW	cosφ _n	1/min	η _n	lisätiedot
Demag 1,6 t	1	400	11	5,5	0,84	1440	0,859	
Demag 2,2 t	2	400	15,2	7,5	0,82	1455	0,868	eff2, Siemens
Demag 2,5 t	8	400	21	11	0,87	1465	0,869	
Demag 3,9 t	2	400	28	15	0,87	1465	0,888	S1
Demag 5,6 t	1	400	36	18,5	0,86	1475	0,862	
Demag 5,6 t	2	400	42	22	0,84	1475	0,900	eff2
Demag ?	3							
Engel 3,3 t	1	400	21,5	11	0,83	1465	0,889	Weg
Engel 3,3 t	2	400	20,7	11	0,86	1460	0,891	Weg
Engel 3,6 t	2	400	29	15	0,84	1460	0,888	AEG
Engel 5,3 t	1	400	30	15	0,83	1460	0,869	ABB, 1983
Engel 5,3 t	6	400	29	15	0,84	1460	0,888	AEG
Engel 5,3 t	2	400	39	18,5	0,79	1475	0,866	ABB
Engel 6,0 t	1	400	34,3	18,5	0,86	1465	0,905	Weg, S1
Engel 6,0 t	1	400	34,8	18,5	0,83	1475	0,924	
Engel 9,0 t	1	400	39	18,5	0,79	1475	0,866	1994
Engel 9,0 t	1	400	40,5	22	0,86	1460	0,911	1994, S1
Engel 9,7 t	1	400	55	30	0,87	1460	0,904	
Battenfeld 2,2 t	1	?	?	?	?	?	?	
Battenfeld 2,5 t	1	400	23	11	0,84	1450	0,821	
Battenfeld 3,6 t	1	400	37	18,5	?	1470	?	1987
Paineilmantuotto								
Kompressori 1	1			55			?	
Kompressori 2	1	400	165	90	0,83	1487	0,948	eff1, ABB
Kompressori 3	1	400	165	90	0,83	1487	0,948	eff1, ABB

Tekijä
Puhelin
Faksi
Sähköpostiosoite

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 5.000 m, Asennuskorkeus: 5.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:193

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	76	12	152	0.154
Lattia	20	38	1.50	108	0.040
Katto	70	13	4.02	38	0.311
Seinät (4)	50	6.26	0.42	51	/

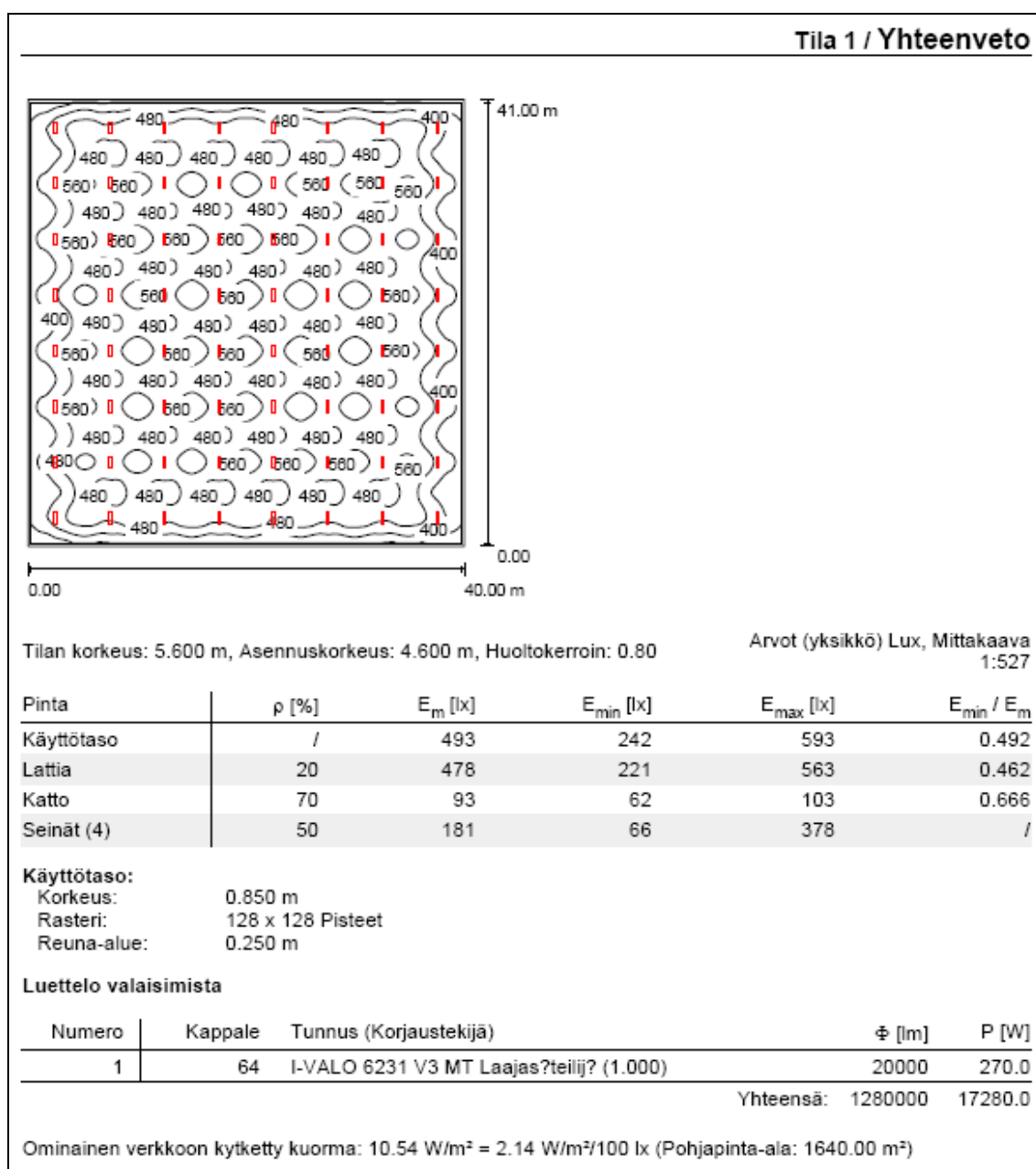
Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

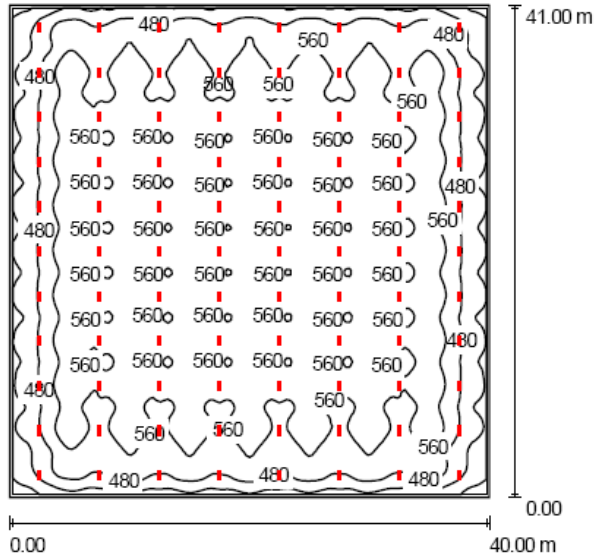
Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	6	IVALO 6211 V3 ST Laajasäteilijä (1.000)	10700	115.0
Yhteensä:			64200	690.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $2.19 \text{ W/m}^2 = 2.88 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 315.00 m^2)



Tila 1 / Yhteenvedo



Tilan korkeus: 5.600 m, Asennuskorkeus: 4.600 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava 1:527

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	546	260	636	0.476
Lattia	20	530	247	610	0.466
Katto	70	104	69	115	0.658
Seinät (4)	50	207	75	383	/

Käyttötaso:

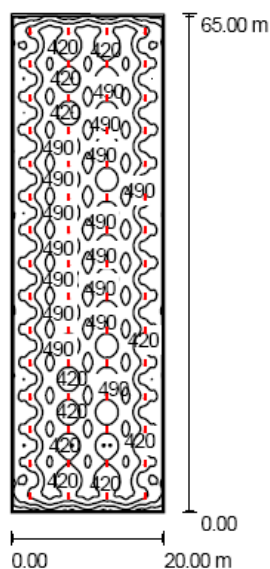
Korkeus: 0.850 m
 Rasteri: 128 x 128 Pisteet
 Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	88	IVALO 6221 V3 MT Laajasäteilijä (1.000)	16200	170.0

Yhteensä: 1425600 14960.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $9.12 \text{ W/m}^2 = 1.67 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1640.00 m^2)



Tilan korkeus: 6.400 m, Asennuskorkeus: 4.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:835

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	472	254	590	0.539
Lattia	20	452	231	543	0.511
Seinät (6)	50	202	69	344	/

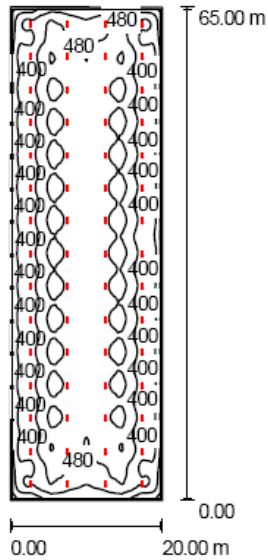
Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	60	IVALO 6221 V3 MT Laajasäteilijä (1.000)	16200	170.0
Yhteensä:			972000	10200.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $7.85 \text{ W/m}^2 = 1.66 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1300.00 m^2)



Tilan korkeus: 6.400 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:835

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	481	220	596	0.457
Lattia	20	458	239	547	0.522
Seinät (6)	50	184	73	355	/

Käyttötaso:

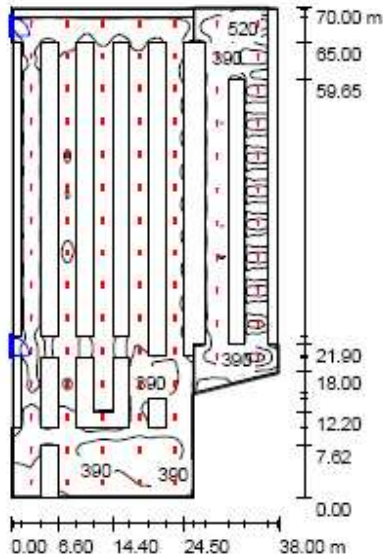
Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	60	IVALO 6221 V3 MT Laajasäteilijä (1.000)	16200	170.0
			Yhteensä: 972000	10200.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $7.85 \text{ W/m}^2 = 1.63 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 1300.00 m^2)

Tila 1 / Yhteenveto



Tilan korkeus: 8.000 m, Huoltokerroin: 0.80

Arvot (yksikkö) Lux, Mittakaava
1:899

Pinta	ρ [%]	E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m
Käyttötaso	/	310	54	689	0.174
Lattiat (2)	20	280	57	527	/
Katot (2)	70	152	77	202	/
Seinät (9)	50	179	33	490	/

Käyttötaso:

Korkeus: 0.850 m
Rasteri: 128 x 128 Pisteet
Reuna-alue: 0.250 m

Luettelo valaisimista

Numero	Kappale	Tunnus (Korjaustekijä)	Φ [lm]	P [W]
1	97	IVALO 6221 V3 ST Laajasäteilijä (1.000)	17500	176.0

Yhteensä: 1697500 17072.0

Ominainen verkkoon kytketty kuorma: $6.93 \text{ W/m}^2 = 2.24 \text{ W/m}^2/100 \text{ lx}$ (Pohjapinta-ala: 2464.40 m^2)



Data Warnings

Message	Date Added
One or more gaps were detected in data used for this report.	9.9.2010 12:08:23

Report Parameters

Period Over Period Parameters	
Selected Period	Day
Start Date	22.8.2010 14:00:00
Selected Interval	Today vs. Previous Day
Number of Comparisons	31
Selected Timezone	Server Local Time (GMT+02:00) Helsinki, Kyiv, Riga, Sofia, Tallinn, Vilnius
Sources	Stromfors.H5001_engel_1601

Aggregation Period Summary



Schneider Electric

Energia päivittäin 1kk

Interval Data (kWh)

Day					
Hour of Day	22.8.2010	23.8.2010	24.8.2010	25.8.2010	26.8.2010
0		9,00	0,00	0,00	7,00
1		10,00	0,00	0,00	7,00
2		9,00	0,00	0,00	7,00
3		9,00	0,00	0,00	7,00
4		9,00	0,00	0,00	7,00
5		9,00	0,00	0,00	7,00
6		9,00	0,00	3,00	7,00
7		9,00	0,00	2,00	7,00
8		9,00	0,00	1,00	7,00
9		9,00	0,00	1,00	7,00
10		9,00	0,00	1,00	7,00
11		9,00	0,00	1,00	7,00
12		9,00	0,00	2,00	7,00
13	1 751,00	10,00	0,00	5,00	6,00
14	9,00	9,00	0,00	5,00	7,00
15	9,00	9,00	0,00	7,00	7,00
16	9,00	9,00	0,00	7,00	7,00
17	9,00	9,00	0,00	7,00	7,00
18	9,00	9,00	0,00	7,00	7,00
19	10,00	9,00	0,00	7,00	7,00
20	9,00	9,00	0,00	7,00	7,00
21	9,00	9,00	0,00	7,00	7,00
22	9,00	2,00	0,00	7,00	7,00
23	9,00	0,00	0,00	7,00	7,00
Total	1 842,00	202,00	0,00	84,00	167,00

Schneider Electric

Energia päivittäin 1kk

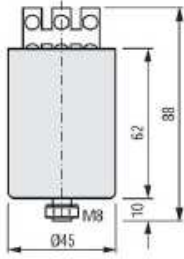
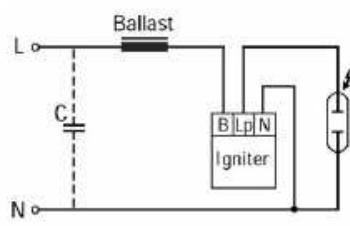



Day					
Hour of Day	27.8.2010	28.8.2010	29.8.2010	30.8.2010	31.8.2010
0	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	7,00	0,00	8,00	0,00	0,00
2	7,00	0,00	8,00	0,00	0,00
3	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
4	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
5	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
6	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
7	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
8	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
9	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
10	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
11	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
12	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
13	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
14	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
15	7,00	0,00	7,00	0,00	0,00
16	6,00	0,00	1,00	0,00	0,00
17	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	119,00	0,00	108,00	0,00	0,00

P.O. Box 1943 • D-59709 Arnsberg/Germany
 info@BAGelectronics.com • www.BAGelectronics.com
 tel. +49 29 32 / 9000-9800 • fax +49 29 32 / 9000-9796

passion for electronics **b,a,g**

MZN 400 S 4K – TU

Order no.: 10027226

Description	Technical data																																													
 <p>Timer-igniters with TriLogic technology</p> <p>Digital circuit concept with integrated Micro-Controller for additional functionalities:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Interval-ignition: Reliable ignition of the lamp via optimised sequences of ignition pulses for cold and warm lamps ➤ Cycling-recognition: Lamp monitoring for automatic recognition of lamp blinking operation, e. g. at the end of service life ➤ Automatic switch-off: Switch-off function to prevent further ignition trials when interval-ignition programme is finished, cycling is recognised or lamp is successfully ignited 	<table border="1"> <tr><td>Approved mains voltage</td><td>V</td><td>198...264</td></tr> <tr><td>Approved mains frequency</td><td>Hz</td><td>50 / 60</td></tr> <tr><td>Max. continuous lamp current</td><td>A</td><td>4.6</td></tr> <tr><td>Connecting terminals</td><td>mm²</td><td>4</td></tr> <tr><td>Response / out-out voltage</td><td>V</td><td>≤ 198 / ≥ 170</td></tr> <tr><td>Ignition voltage</td><td>kV</td><td>3.5...5.0</td></tr> <tr><td>Timer ignition time</td><td>s</td><td>≤ 1170</td></tr> <tr><td>Phase position</td><td>°el</td><td>60...90 / 240...270</td></tr> <tr><td>Pulses per cycle</td><td>--</td><td>≥ 6</td></tr> <tr><td>Approved load capacity</td><td>pF</td><td>20...100</td></tr> <tr><td>Internal losses at 25°C ambient temperature</td><td>W</td><td>< 3 (4.6 A) < 2 (3.0 A) < 1 (1.8 A)</td></tr> <tr><td>Rise in temperature at 25°C ambient temperature</td><td>K</td><td>< 30 (4.6 A) < 15 (3.0 A) < 6 (1.8 A)</td></tr> <tr><td>Max. housing temperature t_{c+*}</td><td>°C</td><td>105 ± 0</td></tr> <tr><td>Approved ambient temperature t_a</td><td>°C</td><td>- 30...+ 70 (4.6 A) - 30...+ 90 (3.0 A) - 30...+ 95 (1.8 A)</td></tr> <tr><td>Weight</td><td>kg</td><td>0.27</td></tr> </table>	Approved mains voltage	V	198...264	Approved mains frequency	Hz	50 / 60	Max. continuous lamp current	A	4.6	Connecting terminals	mm ²	4	Response / out-out voltage	V	≤ 198 / ≥ 170	Ignition voltage	kV	3.5...5.0	Timer ignition time	s	≤ 1170	Phase position	°el	60...90 / 240...270	Pulses per cycle	--	≥ 6	Approved load capacity	pF	20...100	Internal losses at 25°C ambient temperature	W	< 3 (4.6 A) < 2 (3.0 A) < 1 (1.8 A)	Rise in temperature at 25°C ambient temperature	K	< 30 (4.6 A) < 15 (3.0 A) < 6 (1.8 A)	Max. housing temperature t _{c+*}	°C	105 ± 0	Approved ambient temperature t _a	°C	- 30...+ 70 (4.6 A) - 30...+ 90 (3.0 A) - 30...+ 95 (1.8 A)	Weight	kg	0.27
Approved mains voltage	V	198...264																																												
Approved mains frequency	Hz	50 / 60																																												
Max. continuous lamp current	A	4.6																																												
Connecting terminals	mm ²	4																																												
Response / out-out voltage	V	≤ 198 / ≥ 170																																												
Ignition voltage	kV	3.5...5.0																																												
Timer ignition time	s	≤ 1170																																												
Phase position	°el	60...90 / 240...270																																												
Pulses per cycle	--	≥ 6																																												
Approved load capacity	pF	20...100																																												
Internal losses at 25°C ambient temperature	W	< 3 (4.6 A) < 2 (3.0 A) < 1 (1.8 A)																																												
Rise in temperature at 25°C ambient temperature	K	< 30 (4.6 A) < 15 (3.0 A) < 6 (1.8 A)																																												
Max. housing temperature t _{c+*}	°C	105 ± 0																																												
Approved ambient temperature t _a	°C	- 30...+ 70 (4.6 A) - 30...+ 90 (3.0 A) - 30...+ 95 (1.8 A)																																												
Weight	kg	0.27																																												
Dimensions in mm	Wiring diagram																																													
																																														
Lamps	Compliances and markings																																													
<p>HI:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>HI 70 W</td><td>HI 100 W</td></tr> <tr><td>HI 150 W</td><td>HI 250 W</td></tr> <tr><td>HI 400 W</td><td></td></tr> </table> <p>HI with ceramic burner:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td>HI-CE 35 W</td><td>HI-CE 70 W</td></tr> <tr><td>HI-CE 100 W</td><td>HI-CE 150 W</td></tr> <tr><td>HI-CE 250 W</td><td>HI-CE 400 W</td></tr> </table> <p>HS:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr><td colspan="2">HST-DE 70W Super</td></tr> <tr><td>HS 100 W</td><td>HS 150 W</td></tr> <tr><td>HS 250 W</td><td>HS 400 W</td></tr> </table>	HI 70 W	HI 100 W	HI 150 W	HI 250 W	HI 400 W		HI-CE 35 W	HI-CE 70 W	HI-CE 100 W	HI-CE 150 W	HI-CE 250 W	HI-CE 400 W	HST-DE 70W Super		HS 100 W	HS 150 W	HS 250 W	HS 400 W	<p>Conforms to:</p> <p>EN 61 347-1, EN 61 347-2-1 EN 60 927</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    </div>																											
HI 70 W	HI 100 W																																													
HI 150 W	HI 250 W																																													
HI 400 W																																														
HI-CE 35 W	HI-CE 70 W																																													
HI-CE 100 W	HI-CE 150 W																																													
HI-CE 250 W	HI-CE 400 W																																													
HST-DE 70W Super																																														
HS 100 W	HS 150 W																																													
HS 250 W	HS 400 W																																													

Errors excepted. We reserve the right to make alterations in the interest of improving our products.

Last revision: 2010-06-30

NK-SE, NK-TE, NK-T / F, E-T / F, H-F/2

Helvar

Magnetic ballasts for metal halide lamps



35-1000 W 230, 230/240 V 50 Hz

- Meets EN 61347-2-9 & EN 60923 requirements
- Very low magnetic field
- 100% quality controlled
- Low power losses
- Low harmonics
- Low noise
- Long lifetime
- Multiple fixing point variations



Lamp type	Lamp		Ballast type	Ballast							Compensation	
	Lamp wattage (W)	Lamp current (A)		Voltage	Power losses (W) ¹⁾	Dimensions (p.57)	Connec-tion (p.56)	Net weight (kg)	Inductive λ	Temp. rise Δt (°C)	Parallel Ck 230/250V $\pm 10\%$ (μF)	Mains current (A)
HI	35	0.53	NK 35 LUP	230 240	9,0 9,4	1	12	1,22	0,38	50	6,0	0,23
	70	1,0	NK 70 LUP	230 240	14,8 15,0	1	12	1,22	0,39	70	12,0	0,43
	70	0,98	NK 70 LUPK	230 240	13,5 14,0	1	12	1,22	0,39	65	12,0	0,43
	100	1,1	NK 100 LUP	230 240	15,6 16,6	1	12	1,22	0,44	80	12,0	0,56
	100/70	1,1/1,0	NK 100/70 SEP	230	14,5/11,5	13	10	1,27	0,41/0,35	75/65	12,0/12,0	0,56/0,43
	150	1,8	NK 150 SEP ²⁾	230 240	18,0 19,0	8	12	1,65	0,41	75	20	0,9
	150	1,8	NK 150 SEPK ³⁾	230 240	17,5 18,5	9	12	2,6	0,40	65	20	0,9
	250	3,0	NK 250 SE	230	29	10	18	3,00	0,40	70	32	1,4
	250	3,0	NK 250 SEP	230 240	29 30	10	12	3,00	0,38	80	32	1,4
	250	3,0	NK 250 TP,FP ⁴⁾	230 240	28 29	3,6	17	3,15	0,42	70 75	32	1,4
	400	3,5	E 400 SE	230	29,0	10	18	3,00	0,51	80	35	2,2
	400	3,5	E 400 SE	240	30,0	10	18	3,00	0,49	80	35	2,2
	400	3,5	E 400 SEP	230 240	29,0 30,0	10	12	3,00	0,51 0,49	80	35	2,2
	400	4,1	NK 400 TP,FP ⁵⁾	230 240	32 33	4,7	15	4,40	0,40	70 75	45	2,2
	400	4,1	NK 400 TE ⁶⁾	230 240	35 36	4	17	3,6	0,41	75	45	2,2
400	4,1	NK 400 TEP ⁶⁾	230 240	35 36	4	17	3,6	0,41	75	45	2,2	
400	3,5	H 400 T,F ²⁾	230 240	24,9 26	4,7	15	3,18	0,48	70 75	35	2,2	
400	3,5	H 400 TP,FP ²⁾	230 240	24,9 26	4,7	17	3,18	0,48	70 75	35	2,2	
400	3,5	E 400 T,F ²⁾	230 240	25 26	4,7	15	3,16	0,49	80	35	2,15	
400	3,5	E 400 TP,FP ²⁾	230 240	25 26	4,7	17	3,16	0,49	80	35	2,15	
1000	9,5	H 1000 F/2 ²⁾	230 240	75 80	4	15	8,8	0,49	85	100	4,6	

1) Winding at 25°C

2) T-type = two and four point fixing

F-type = four point fixing

3) Supplied as 2 identical ballasts both with the dimensions indicated

All other technical values are stated for the combined product operating one lamp

4) Check lamp manufacturers data to ensure they specify that the lamp is suitable for HPS ballast

5) With push-in terminals

6) Available also with bottom length 133mm

Note: P in ballast type name means built-in thermal protector (eg. E400 TP or NK70LUPK)

Data is subject to change without notice. More information at: www.helvar.com

T11 037 1J 05.11.2010 1/1 55

NK-LU / LUP / LUS

Helvar

Magnetic ballasts for high pressure sodium lamps



35-100W 230, 240, 230/240V 50Hz

- Meets EN 61347-2-9 & EN 60923 requirements
- Very low magnetic field
- 100% quality controlled
- Low power losses
- Low harmonics
- Low noise
- Long lifetime



Lamp type	Lamp		Ballast type	Voltage	Power losses	Ballast		Net weight	Inductive	Temp. rise	Compensation	
	Lamp wattage	Lamp current				Dimen-sions	Connec-tion				Parallel Ck 230/250V ±10%	Mains current
	(W)	(A)			(W) 1)	(p.57)	(p.56)	(kg)	μ	Δt (°C)	(μF)	(A)
HS	35	0.48	NK 35 LUS 2)	230 240	9,0 9,4	1	-	1,22	0,38	50	6,0	0,23
	50	0,75	NK 50 LU	230 240	12,0 12,5	1	10	1,22	0,38	70	8,0	0,33
	50	0,76	NK 50 LUS 3)	230 240	9,8 10,0	1	-	1,22	0,40	50	8,0	0,33
	50	0,75	NK 50 LUP	230 240	12,0 12,5	1	12	1,22	0,38	70	8,0	0,33
	70	1,0	NK 70 LU	230 240	14,8 15,0	1	10	1,22	0,39	70	12,0	0,43
	70	1,0	NK 70 LUP	230 240	14,8 15,0	1	12	1,22	0,39	70	12,0	0,43
	70	0,98	NK 70 LUPK	230 240	13,5 14,0	1	12	1,22	0,39	65	12,0	0,43
	70/50	1,0/0,75	NK 70/50 LU	230 240	14,5/11,0 15,0/11,5	1	11	1,22	0,39/0,38	75/60	12,0/8,0	0,43/0,33
	70/50	1,0/0,75	NK 70/50 LUP	230	14,5/11,0	1	12	1,22	0,39/0,38	75/60	12,0/8,0	0,43/0,33
	100	1,2	NK 100 LU	230 240	15,6 16,6	1	10	1,22	0,44	80	12,0	0,56
	100	1,31	NK 100 LUS 4)	230 240	16,5 17,0	1	-	1,22	0,40	80	16,0	0,60
	100	1,2	NK 100 LUP	230 240	15,6 16,6	1	10	1,22	0,44	80	12,0	0,56
	100/70	1,2/1,0	NK 100/70 SEP	230	14,5/11,5	13	12	1,27	0,41/0,35	75/65	12,0/12,0	0,56/0,43

1) Winding at 25°C

2) For Philips SDW-T 35 W lamps (Ignitor CSL 35)

3) For Philips SDW-T 50 W lamps (Ignitor CSL 50)

4) For Philips SDW-T 100 W lamps (Ignitor CSL 100)

Note: P in ballast type name means built-in thermal protector (eg. E400 TP or NK70LUPK)