

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia  
Tutkimusraportti 6

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology. LUT Energy  
Research report 6

Niina Aranto

Teollisuuden ja yhdyskuntien energiatehokkuusselvitykset, auditoinnit 2008–  
2010

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta, LUT Energia  
PL 20  
53851 LAPEENRANTA

ISBN 978-952-214-982-4  
ISBN 978-952-214-992-3 (PDF)  
ISSN 1798-1328  
Lappeenranta 2010

## TIIVISTELMÄ

Niina Aranto

Teollisuuden ja yhdyskuntien energiatehokkuusselvitykset, auditoinnit 2008–2010

Lappeenranta 2010

66 s.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta. LUT Energia

Tutkimusraportti 6

ISBN 978-952-214-982-4, ISBN 978-952-214-992-3 (PDF), ISSN 1798-1328

Nykypäivänä energiansäästötavoitteet ovat haasteena yhä useammalle energiankuluttajalle. Tavoitteisiin päästäkseen yritykset ja kunnalliset energiankuluttajat kaipaavat usein apua kannattavien energiansäästökeinojen löytämiseksi. Erilaiset energiakatselmukset vastaavat tähän tarpeeseen ja ovat esimerkki tuloksellisesta energiansäästöstä. Lappeenrannan teknillinen yliopisto on tutkinut energiatehokkuutta pitkään erilaisissa projekteissa teollisuuden kanssa yhteistyössä. Osa LUT:n energiatehokkuustutkimusta ovat energia-auditoinnit yrityksille ja kunnille, joita LUT Energian projektin puitteissa alettiin kehittää vuoden 2008 syksyllä.

Energia-auditointien fokuksena on pyritty pitämään pumppausprosessien energiatehokkuuden optimointia, sillä aihetta on tutkittu yliopistolla laajasti. Pumppausprosesseissa on todettu olevan merkittävä energiansäästöpotentiaali: pumppauksen kuluttamasta energiasta voi olla mahdollista säästää jopa 50 % erilaisilla laite- ja säästöparatkaisuilla. Pumppausprosessien energia-auditointeja on tehty teollisuuden pumppauskohteisiin kuin myös kunnallisiin vesihuoltolaitoksiin. Lisäksi energia-auditointien puitteissa on tutkittu energiansäästömahdollisuuksia rakennuksissa. Energiansäästökohteita etsitään sekä lämpö- että sähköenergian osalta.

Energia-auditoinneissa pumppausten osalta energiansäästöpotentiaalia on todettu olevan etenkin suuren kokoluokan pumppuissa, joilla on pitkä vuosittainen käyttöaika. Myös pumppujen säätötavalla on suuri merkitys energiankulutukseen. Rakennusten osalta on pyritty selvittämään, kuinka energiankulutus jakautuu eri kulutusryhmien kesken. Säästökohteita on löydetty muun muassa rakennusten tiiviydestä, ilmanvaihdosta kuin valaistuksestaakin. Monia auditointien asiakkaita on kiinnostanut etenkin led-tekniikan hyödyntäminen yleisvalaistuksessa sekä muut keinot säästää valaistuksen energiankulutuksessa.

Pyrkimyksenä on kehittää energia-auditointeja projektin aikana saavutettujen kokemusten avulla sekä myös liiketaloudellisessa mielessä opinnäytetutkimien avulla. Menestyksekkäs palveluliiketoiminta edellyttää määriteltyjä toimintatapoja, riittävän tarkkaa palvelujen rajausta ja koko energia-auditointiprosessin kehittämistä aina asiakassuhteen luomisesta sen jatkohoitoon saakka.

Hakusanat: energia-auditointi, energiansäästö, pumppaus, kiinteistön energiankulutus, energiatehokkuus, energiansäästöpotentiaali

## ABSTRACT

Niina Aranto

Energy efficiency analysis in industry and municipalities, audits 2008-2010

Lappeenranta 2010

66 p.

Lappeenranta University of Technology

Faculty of Technology. LUT Energy

Research report 6

ISBN 978-952-214-982-4, ISBN 978-952-214-992-3 (PDF), ISSN 1798-1328

Nowadays energy saving goals are challenging energy consumers in the industrial- and municipal sector as well. To reach these goals many energy consumers need help to figure out economic ways to save energy. Energy audits by an outside consultant are useful help when determining the energy saving potential of the company. Energy audits are good examples of successful energy saving. Lappeenranta University of Technology has done energy efficiency related research for a long period in interactive cooperation with Finnish companies. Parts of the LUT's energy efficiency research are energy audits for different kind of energy consumers. LUT's energy audit project was started in the fall of 2008.

Focus of the LUT's energy audits has been energy efficiency of pumping processes, because the subject is widely studied at the department of LUT Energy. It has been indicated that the energy consumption of a pumping system might be decreased up to 50 percent by changing the drive components with more efficient ones and by changing the applied control method of the pump. LUT's energy audits have been implemented for pumping processes in industry and also for municipal water supply and sewerage systems.

In addition to pumping systems LUT's energy audits have studied energy consumption of structures. An energy audit for building takes into account the HVAC systems of the structure and figures out ways to save energy for example in heating, ventilation and lighting.

In energy audits energy saving potential has been discovered especially at the large sized pumps which are running most of the time. Also the applied control method of the pump has shown to play a significant role in energy efficiency of the pumping system. When it comes to the energy audits of buildings, the main points of consumption have been revealed. LUT's energy audits have discovered energy saving potential for example in ventilation, lighting and insulation of the structure. Led-technology and its possibilities in general lighting has been one of the fields that many clients of the audits have been especially interested in.

There is an aim to develop LUT's energy audits by means of the experience gained during the auditing project. Energy auditing process is under improvements also from the business economical point of view by thesis study. Service oriented business requires defined methods, focusing and development of the whole service chain from creating the customer connections to after care of the customership.

Keywords: energy audit, energy saving, pumping, energy consumption of building, energy efficiency, energy saving potential

# SISÄLTÖ

1. Johdanto.....	5
1.1 Taustaa.....	5
1.2 LUT Energian energia-auditoinnit.....	5
1.2.1 Energia-auditointien rajaus .....	7
1.2.2 Energia-auditointiprosessin kehittäminen .....	7
2. Energiatehokkuuden optimointi teollisuusalueen vesilaitoksen pumppauksissa.....	8
3. Energiatehokkuuden optimointi kunnallisessa jätevesipumppaamossa .....	12
4. Voimalaitoksen jäähdytyspiirin pumppujen energiaterhokkuuden optimointi .....	15
5. Energiansäästömahdollisuudet kunnallisessa raakavesipumppaamossa .....	18
6. Energiaterhokkuuden optimointi satamaterminaalin kemikaalipumppaamossa .....	22
7. Lämpöenergian säästöpotentiaali kunnan omistamissa kiinteistöissä .....	26
8. Elementtitehtaan energiaterhokkuuden optimointi .....	29
9. Valaistuksen energiansäästömahdollisuudet voimalaitoksella .....	32
10. Sähköenergian säästöpotentiaali kunnan omistamissa kiinteistöissä .....	35
11. Opetusrakennuksen energiansäästömahdollisuudet .....	38
12. Kunnan kiinteistöjen energiansäästöpotentiaali .....	40
13. Muoviteollisuuden yrityksen energiakatselmus .....	43
14. Valaistuksen energiansäästömahdollisuudet tehtaalla .....	45
15. Toimistorakennuksen energiansäästömahdollisuudet .....	48
16. Konetehtaan energiankulutustarkastelu.....	51
17. Potentiaaliset energiansäästökohteet elektroniikkatehtaalla .....	55
18. Valaistuksen ohjausmuutoksen energiansäästövaikutus opetusrakennuksessa.....	59
19. Prosessihäviöiden hyödyntäminen elektroniikkatehtaan ilmanvaihdossa.....	60
Lähteet.....	64

# 1. JOHDANTO

Tämä raportti sisältää tiivistelmät LUT Energian suorittamista energiansäästöön tähtäävistä energia-auditoinneista syksyjen 2008 ja 2010 välillä. Tiivistelmät pohjautuvat energia-auditoinneista kirjoitettuihin raportteihin. Energia-auditointeja on tehty pumppausprosessien ja kiinteistöjen energiankulutuksen aihepiiristä teollisuuden ja kuntien energiankuluttajille. Auditoinnit on toteutettu pääasiassa kandidaatintutkinnon opinnäytteinä, mutta myös muina harjoitustöinä sekä tutkimustöinä.

Tiivistelmät on jaoteltu raportissa niin, että pumppausprosesseja koskevat tarkastelut ovat raportin alussa ja kiinteistökohteiden auditointitiivistelmät ovat lopussa. Tiivistelmät 12. ja 13. on kirjoittanut Maija Leino osana harjoitteluaan ympäristötekniikan laboratoriossa.

## 1.1 Taustaa

Nykypäivänä energiankulutuksen vähentäminen ja hiilidioksidipäästöjen hillitseminen ovat haasteina monelle energiankuluttajalle. Paineita energiankulutuksen vähentämiseen aiheuttavat niin viimevuosien aikana tapahtunut sähkönhinnan merkittävä nousu kuin myös Kioton sopimuksen asettamat velvoitteet (Europa 2008). Yksi keino hillitä hiilidioksidipäästöjä on energianloppukäytön tehostaminen. On osoitettu, että energiatehokkuuden edistäminen on muihin päästövähennystoimiin verrattuna sekä edullista, että myös kestävä keino hillitä ilmastomuutosta. (IEA 2008, 3).

Teollisuus on merkittävä energian loppukäyttäjä. On arvioitu, että sähkömoottorisovellukset kuluttavat 69 % kaikesta teollisuuden kuluttamasta energiasta EU:n alueella. Tyypillisesti teollisuuden moottorit pyörittävät pumppuja, puhaltimia tai kompressoreita. Yhteensä nämä sovellukset kuluttavat 70 % teollisuuden moottorien kuluttamasta sähköstä (Almeida 2003, 563-575). On osoitettu, että näissä sovelluksissa on merkittävää energiansäästöpotentiaalia. Esimerkiksi pumppusovellusten keskimääräiseksi kokonaishyötysuhteeksi on arvioitu vain n. 40 %. Tutkimusten mukaan pumppusovelluksissa voidaan säästää energiaa jopa 50 % erilaisilla laite- ja säästöparatkaisuilla (Europump 2004). Kun huomioidaan, että pumput kuluttavat noin 22 % teollisuusmoottorien kuluttamasta energiasta (Almeida 2003, 563-575) voidaan energiansäästöpotentiaalin todeta olevan suuri.

EU:n yhteisenä tavoitteena on energiatehokkuuden parantuminen 20 prosentilla vuoteen 2020 mennessä (Työ- ja elinkeinoministeriö, 2010). Energiankuluttajat niin teollisuudessa kuin kunnissakin kaipaavat usein apua energiankäyttönsä tehostamiseksi. Tähän tarkoitukseen on kehitetty energiakatselmukset, joita Suomessa laajamittaisesti koordinoi valtion omistama yritys Motiva Oy. Energiakatselmukset on hyvä esimerkki tuloksellisesta energiansäästöä. (TEM)

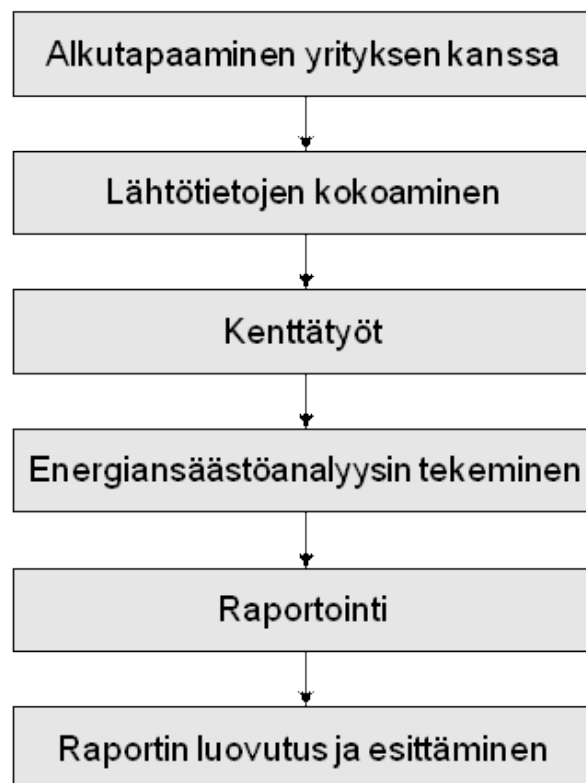
## 1.2 LUT Energian energia-auditoinnit

Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa aloitettiin vuoden 2008 syksyllä projekti, jonka pääasiallisena tarkoituksena on tarjota teollisuuden ja julkissektorin energiankuluttajille keinoja energiansäästöön. LUT:n energia-auditoinnin tarkoituksena on löytää merkittävimmät energiaa tuhlaavat kohteet asiakasyrityksessä ja tuoda apu epätehokkaasti toimivaan systeemiin.

Energia-auditoinnin puitteissa tarkastellaan tietyn prosessin tai systeemin energiankulutusta ja etsitään keinoja saavuttaa säästöjä.

Energiansäästön lisäksi LUT:n energia-auditointien kantavana ideana on tarjota LUT:n opiskelijoille mahdollisuus soveltaa oppimaansa oikean yrityksen hyväksi. Energia-auditointeja on siis toteutettu opiskelijoiden opinnäytetöinä, joita henkilökunta ohjaa. Pääasiassa auditointeja suoritetaan kandidaatintutkinnon opinnäytetyönä, joka vastaa noin kahden kuukauden täysiaikaista työmäärää. Energia-auditointiprojekti on hyvä esimerkki teollisuuden ja yliopiston välisestä yhteistyöstä. Energia-auditointi tarjoaa yliopistolle mahdollisuuden soveltaa, syventää ja kehittää osaamistaan energiatehokkuustutkimuksessa. Opiskelijat saavat lisäksi tärkeitä kontakteja työelämään. Asiakkaalle LUT:n energia-auditoinnin tarkoitus on taloudellisten säästöjen lisäksi myös lisätä asiakkaan tietämystä prosessistaan.

LUT:n energia-auditointiprosessia on kehitetty projektin edetessä ja auditointikokemusten lisääntyessä. Auditoinnin vaiheet on esitetty kuvassa (1). Auditointi aloitetaan tapaamisella yrityksen vastuuhenkilöiden kanssa, jossa sovitaan auditoinnin aikataulusta, yksityiskohdista ja painotuksista. Tämän jälkeen kootaan tarvittavat lähtötiedot, joiden pohjalta auditointi saavat kuvan kohteen toiminnasta ja energiankäytöstä. Kenttätyösuorituksessa vierailaan paikan päällä tekemässä havaintoja, haastattelemassa käyttöhenkilökuntaa ja tarvittaessa tekemässä mittauksia. Energiasäästöanalyysi aloitetaan, kun tarvittavat tiedot on kerätty. Analyysi ja johtopäätelmät tehdään tapauskohtaisesti eri menetelmiä apuna käyttäen. Lopuksi tulokset raportoidaan kirjallisesti sekä esitetään tilaajalle. Tarkastelun tuloksena asiakas saa toimenpidesuunnitelman energiasäästöjen saavuttamiseksi, investoinnin kannattavuus- ja tuottolaskelman sekä tiedon saavutettavasta hiilidioksidipäästövähennyksestä.



**Kuva 1.** Energia-auditoinnin vaiheet

### **1.2.1 Energia-auditointien raja**

Energiatehokkuutta on tutkittu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla pitkään erilaisissa projekteissa teollisuuden kanssa yhteistyössä. Energia-auditointien raja on elänyt kaksivuotisen projektin aikana ja parhaat käytännöt ovat hakeneet muotoaan. Pumppusovelluksien energiatehokkuus on ollut yksi keskeinen LUT Energian tutkimuskohde, sillä niissä on todettu merkittävä energiansäästöpotentialiaali. Tämän vuoksi myös LUT:n energia-auditointeja on pyritty painottamaan kyseiselle osa-alueelle. Pumppausprosessien energia-auditointeja on suoritettu niin teollisuusyrityksiin kuin kunnallisiin vesihuoltolaitoksiinkin.

Pumppuauditointien lisäksi tarkasteluja on tehty myös kiinteistön energiankulutuksen aihepiiristä. Tarkastelukohteita ovat olleet mm. valaistuksen, lämmityksen ja ilmanvaihdon energiatehokkuus sekä energiankulutuksen jakautumisen selvittäminen eri kulutuskohteiden kesken.

### **1.2.2 Energia-auditointiprosessin kehittäminen**

Energia-auditointien osalta on käyty keskustelua siitä, kuinka opinnäytetöinä toteutettavaa energia-auditointipalvelua voitaisiin kehittää hallittavampaan ja organisoidumpaan suuntaan (Mertanen 2010, 2). Haasteita projektiin asettavat uusien asiakassuhteiden luominen ja vanhojen ylläpitäminen, sopivien opiskelijoiden löytäminen, palvelun laadun takaaminen ja kehittäminen sekä oman jalansijan löytäminen ja fokuoiminen energiakatselmusmarkkinoilla. Eriyisen haasteen luo se, että projektissa mukana olevien opiskelijoiden vaihtuessa menetetään jo kerran saavutettu tietotaito. On syntynyt tarve tutkimukselle, jonka avulla voitaisiin selvittää, millaisia resursseja palvelun menestyksellinen tarjoaminen vaatii ja minkälaisia kehitystoimia olemassa olevilla resursseilla olisi vielä tehtävissä.

Heti projektin alussa, syksyllä 2008, aloitettiin LUT:n energia-auditointien kehittäminen diplomityönä tehtävän markkinatutkimuksen avulla. Tutkimuksessa selvitettiin energia-auditointien kysyntää Etelä-Suomen alueella, palvelun optimaalista markkinointitapaa sekä hinnoittelu- ja laatuksymyksiä (Tuviala 2009, 7).

Kehittelytyötä liiketaloudellisesta näkökulmasta jatkettiin vuoden keväällä 2010 pro gradu-tutkimuksen myötä. Koska kyse on palveluliiketoiminnasta, itse palvelun teknisen kehittämisen lisäksi kaivattiin liiketaloudellista näkemystä palveluprosessin parantamiseksi. Pro gradu-tutkimuksen keskeisiksi sisällöiksi muodostuivat asiantuntijapalveluprosessia selkiyttämisen ja kehittäminen tuotteistamisen avulla, jatkuvuuden kehittäminen prosessitiedon säilyttämisen ja tehokkaan siirron avulla sekä palvelun markkinoinnin kehittäminen (Mertanen 2010, 4).

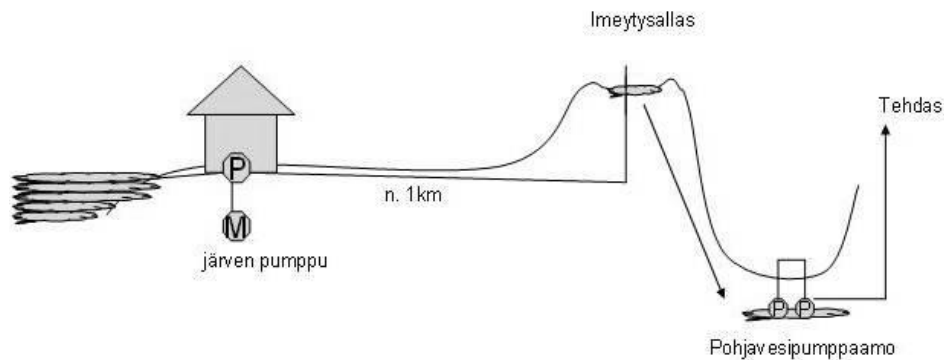
Energia-auditointiprosessin kehittämistä jatketaan tutkimuksissa esiin nousseiden asioiden pohjalta. ABB on ollut mukana rahoittamassa projektia ja sen kehitystutkimuksia.

## 2. ENERGIATEHOKKUUDEN OPTIMOINTI TEOLLISUUSALUEEN VESILAITOKSEN PUMPPAUKSISSA

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla suoritettuun tutkimukseen pumppauksen energiansäästämahdollisuuksista (Aranto 2008, s 1-16).

### Kohteen kuvaus

Tarkasteltavat kohteet ovat teollisuuslaitoksen omistaman tekopohjavesilaitoksen pumppuja. Toinen tarkastelunkohteista on raakavesipumppu, joka pumppaa vettä läheisestä järvestä noin kilometrin päässä olevalle imeytysaltaalle. Imeytysaltaalla vesi puhdistuu suodattuessaan hiekkakerroksen läpi ja valuu lopulta pohjavedeksi. Toinen tarkastelun kohde on pohjavesikaivon kaksi uppopumppua, joilla pumpataan vettä teollisuusalueen laitosten tarpeisiin. (Kuva 2)



Kuva 2. Tekopohjavesipumppaamo

Raakavesipumppaamon pumppua pyörittää 22 kW:n kokoinen moottori. Pumppausta on rajoitettu tietyin perustein kesäkuukausina ja talvella virtausta täytyy ylläpitää, jotta putket eivät jäädy. Pumppua säädetään on/off – periaatteella sekä tarvittaessa kuristamalla. Staattinen nostokorkeus systeemissä on noin 20 metriä ja pumpun nimellisvirtaama on 125 m<sup>3</sup>/h.

Tekopohjavesilaitoksen uppokaivosta pumpataan vettä kahdella rinnan käyvällä pumpulla, jotka käynnistyvät ja pysähtyvät automaattisesti pinnankorkeuden mukaan. Pumppuja pyörittää 37 kW:n kokoiset moottorit. Ensimmäistä pumppua ohjaa taajuusmuuttaja, ja seuraava pumppu käynnistyy, kun ensimmäinen ohjautuu maksimikiertoille. Toisen pumpun käynnistyessä ensimmäinen pumppu jää säätäväksi. Yhden pumpun kapasiteetti on 1500 l/min ja staattista nostokorkeutta systeemissä on noin 70 metriä.

### Tarkastelun tavoitteet

Kummankin tarkasteltavan pumppausprosessin kohdalla tavoitteena oli selvittää pyörimisnopeussäädön kannattavuus. Lähtötilanteessa raakavesipumppua säädetään on/off-periaatteella ja kuristamalla. Uppokaivon pumpuista toista ohjataan taajuusmuuttajalla ja toista on/off-periaatteella.



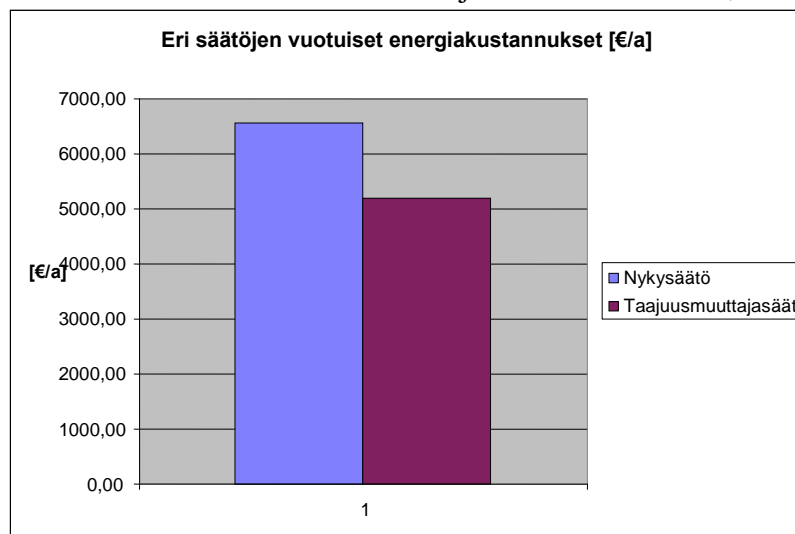
# Energiatehokkuusanalyysi

## Raakavesipumppaamo

lähtötietoina kohteesta saatiin viikoittaiset mitatut pumpatut tilavuudet noin vuoden ajanjaksoilta. Virtaustietojen pohjalta muodostettiin pysyvyyskäyrä, josta huomataan eri virtausmäärien ajallisen hajonnan olevan melko suuri. Mittausdatan perusteella pumpun toiminta-ajaksi arvioitiin n 44 vk/a.

Ensin laskettiin pumppauksen energiankulutus nykysäädöllä, jota verrattiin laskennalliseen taajuusmuuttajasäädön energiankulutukseen. Tämän jälkeen investoinnille laskettiin koroton takaisinmaksuaika. Laskennassa otettiin huomioon pumpun ja moottorin hyötysuhteet eri osakuormilla. Taajuusmuuttajasäädön kannattavuudessa huomioitiin taajuusmuuttajan ja moottorin yhteishyötysuhde. Laskennan pohjaksi jouduttiin tekemään kirjallisuuteen tai aiempiin yliopistolla suoritettuihin testimittauksiin perustuvia oletuksia edellä mainituista tekijöistä. Tärkeä tekijä energiankulutuksen laskennassa oli pumpun ominaiskäyrästä, joka saatiin valmistajalta.

Laskennan tulokset osoittavat, että taajuusmuuttajan asentaminen pumpun ohjauskeinoksi toisi merkittäviä energiasäästöjä. Kuvassa (3) on esitetty nykysäädön ja taajuusmuuttajasäädön vuotuiset energiankustannukset. Taajuusmuuttajasäädöllä saavutettava vuotuinen energiasäästö olisi noin 27,5 MWh eli 21 % nykyisistä energiakustannuksista. Rahassa tämä säästö tuo noin 1400 euron vuotuisen edun. Energian hintana on käytetty 5c/kWh. Ideaalisen säädön vaatiman investoinnin eli taajuusmuuttajan hinnaksi on arvioitu 2650 €, joka sisältää asennuskustannukset. Tällöin korottamaksi takaisinmaksuajaksi muodostuu n. 1,9 vuotta.



Kuva 3. Raakavesipumpun energiakustannukset nyky- ja taajuusmuuttajasäädöllä.

Taajuusmuuttajaohjauksen tuoma etu olisi siis:

- Säästö = 1373 e/a, = **21 %**
- Taajuusmuuttajan takaisinmaksuaika = **1,9 vuotta**

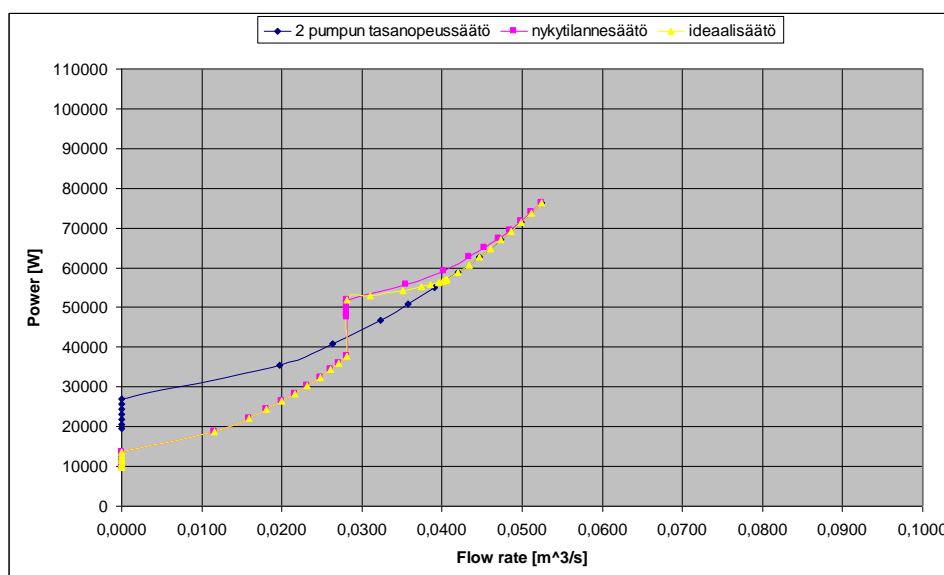
## Uppokaivon pumput

Uppokaivon pumppujen osalta tavoitteena oli selvittää, kannattaako toiseenkin pumppuun asentaa taajuusmuuttaja. Nykysäädön ja ideaalisemman säädön selvittämisessä hyödynnettiin

yliopistolla kehitettyä Matlab-pohjaista simulointiohjelmaa. Riittävillä prosessin lähtötiedoilla ohjelmalla voidaan simuloida eri säätötapojen energiankulutuksia.

Vaihtoehtoisena ohjaustapana kokeiltiin säätöä, jossa tarvittavan virtaaman tuottaisi kaksi taajuusmuuttajaohjattua pumppua, jotka pyörisivät jatkuvasti samalla kierrosnopeudella (= tasasäätö). Kyseiselle säädölle luotiin tehonkulutuskäyrä (kuva 4, sininen käyrä) ja pysyvyyskäyrän perusteella säädölle laskettiin vuotuiset energiakustannukset. Vertaamalla niitä nykysäädön kustannuksiin säätötapa ei kuitenkaan osoittautunut kannattavaksi säästöjen jäädessä pieniksi. Tasasäädön kannattavuutta heikentää staattisen nostokorkeuden suuri suhteellinen osuus kokonaisnostokorkeudessa ( $H_{tot} = n \cdot 70 \text{ m}$ ).

Simuloinnista saadun tiedon valossa luotiin seuraava ideaalisempi säätötapa, jossa virtaamatarpeen kasvaessa 1. pumpun tuottokapasiteettia suuremmaksi, otetaan toinen pumppu käyttöön, mutta erona nykysäätöön, tätäkin pumppua ohjaisi taajuusmuuttaja, jonka avulla pumput ohjataan pikkuhiljaa tuottamaan sama virtaus. Tämä tarkoittaa sitä, että 1. pumpun kierroslukua hiljalleen pienennettäisiin samalla kun toisen pumpun nopeutta nostettaisiin, kunnes pumput saavuttavat saman nopeuden. Edellä kuvatulle säädölle simuloitiin tehonkulutuskäyrä, joka on esitetty kuvassa (4) keltaisella. Nykysäädön tehonkulutusta simuloi pinkki käyrä.



**Kuva 4.** Uppokaivon pumppauksen tehonkulutuskäyrät ideaalisäädöllä, nykysäädöllä ja tasasäädöllä. Tehokäyrät on muodostettu sillä oletuksella, että juoksupyöriä on kolme ja staattinen nostokorkeus 70 m.

Eri säätötapojen taloudellisuutta vertailtiin laskemalla vuotuiset energiankulutukset ja – kustannukset eri säätötavoille. Energian hintana on käytetty 5c/kWh. Ideaalisen säädön vaatiman investoinnin eli taajuusmuuttajan hinnaksi on arvioitu 4285 €, joka sisältää asennuskustannukset.

Simuloimalla tehonkulutuksia ja laskemalla niiden pohjalta vuotuiset energiankulutukset voitiin todeta, että uppokaivon pumppujen säätöä kannattaa jatkaa entiseen tapaan. Säästöt niin tasasäädöllä kuin ”ideaalisellakin” ajotavalla ovat niin pienet, ettei nykysäädön muuttaminen ole kannattavaa. Tulos selittyy sekä korkealla staattisen nostokorkeuden suhteellisella osuudella että myös pysyvyyskäyrän mallilla: suurin osa ajasta pystytään pumppaamaan yhdellä pumpulla.

## Säästöpotentiaali ja toteutetut energiansäästötoimenpiteet

Tarkastelun perusteella energiansäästöpotentiaalia huomattiin raakavesipumpussa. Taulukossa (1) on esitetty tarkasteltavien kohteiden energiansäästöpotentiaali, investointi ja sen takaisinmaksuaika sekä saavutettava CO<sub>2</sub>-päästövähennys. Hiilidioksidipäästöt on laskettu Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästökertoimella K<sub>2</sub> (vuonna 2004 K<sub>2</sub>=200 kgCO<sub>2</sub>/MWh (Suomi ym. 2004, 4))

**Taulukko 1.** Tarkasteltavien kohteiden säästöpotentiaalit.

Kohde	Vuotuisen säästö [€]	Investointi [€]	Energiansäästö [MWh]	Takaisinmaksuaika [a]	CO <sub>2</sub> -päästövähennys [t/a]	Toteuttiinko toimi?
Hanhijärven pumppu	1373	2650	27,5	1,9	5,5	kyllä
<b>Yht.</b>	<b>1373</b>	<b>2650</b>	<b>27,5</b>	<b>1,9</b>	<b>5,5</b>	

2650 euron investoinnilla voitaisiin saavuttaa vuosittain lähes 28 MWh:n energiansäästö ja vähentää hiilidioksidipäästöjä n. 19 tonnia vuodessa.

### **3. ENERGIATEHOKKUUDEN OPTIMOINTI KUNNALLISESSA JÄTEVESIPUMPPAAMOSSA**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla ympäristötekniikan erikoistyöt – kurssilla tehtyyn erikoistyöhön (Karvonen & Sorsa 2010a, s.1-11).

#### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohde on kunnallinen jätevesipumppaamo. Pumppaamo on ns. siirtolinjan jätevesipumppaamo, josta pumpataan jätevettä jätevedenpuhdistamolle. Kohteessa on kolme identtistä pumppua, joissa on pehmokäynnistimet. Pumppuja pyörittää nimellisteholtaan 26 kW:n kokoiset moottorit. Pumppuja ohjataan säiliön pinnankorkeuden mukaan. Tietyissä pinnankorkeudessa käynnistyy ensimmäinen pumppu ja pinnankorkeuden kasvaessa yli tietyn rajan käynnistyy rinnalle toinenkin pumppu. Kolmen pumpun yhtäaikainen käyttö on estetty. Pumput käyvät on/off-periaatteella eikä pumppujen tuottoa säädetä, vaan ne käyvät aina täydellä teholla.

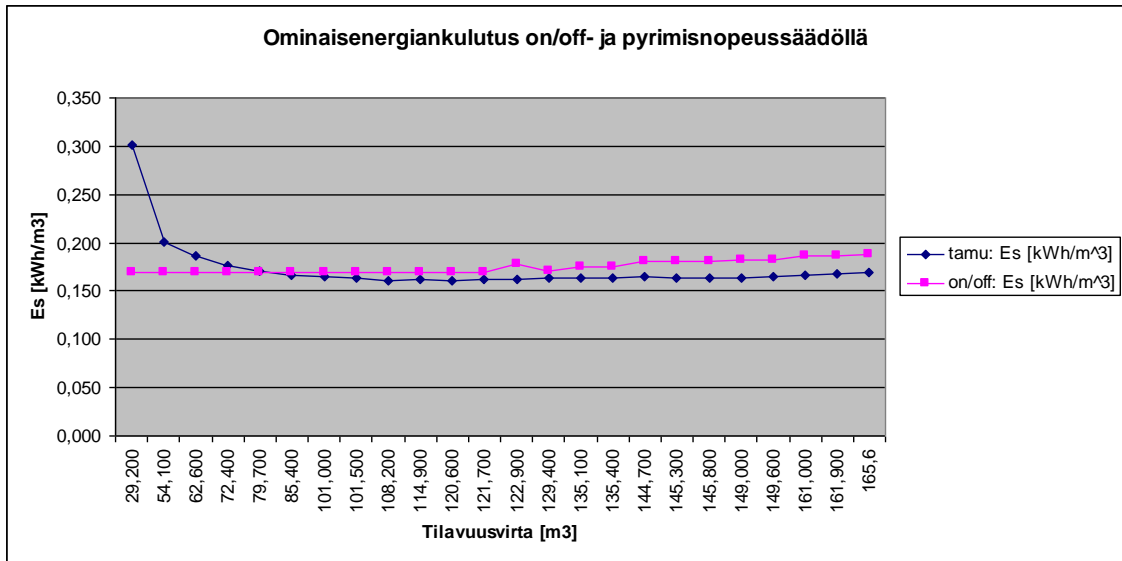
#### **Tarkastelun tavoitteet**

Tarkastelun tavoitteena on selvittää pumppauksen nykytilan energiatehokkuus ja pumppauksen energiansäästöpotentiaali. Energiatehokkuutta arvioidaan selvittämällä pumppauksen toimintapisteen sijaintia ja pumppauksen hyötysuhdetta tässä pisteessä. Työssä selvitetään vaihtoehtoisten ohjaustapojen kannattavuus (taajuusmuuttajasäätö) ja esitetään kannattavat energiansäästötoimenpiteet.

#### **Energiatehokkuusanalyysi**

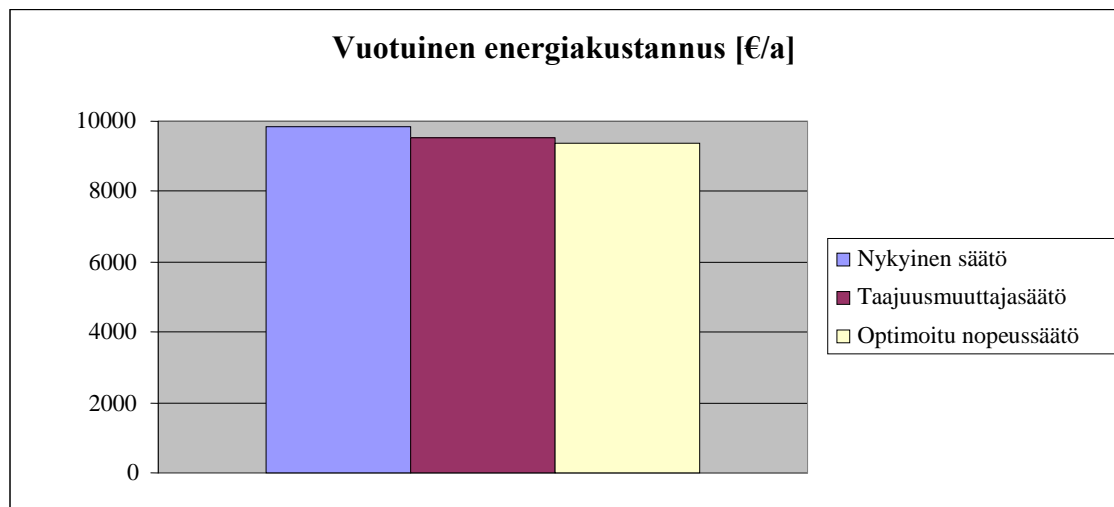
Eräs tavallinen pumppauksen hyötysuhdetta heikentävä seikka on pumpun ylimitoitus. Tarkastelemalla pumppujen toimintaa ominaiskäyrästä todettiin, että tässä tapauksessa pumput toimivat hyvällä hyötysuhdealueella. Kun yksi pumppu käy, on hyötysuhde tällöin tilavuusvirran perusteella 69 %. Kun toinen pumppu käynnistyy ja virtaus jakaantuu kahdelle pumpulle, yhden pumpun tuottama virtaus pienenee hieman. Tällöin toimintapiste siirtyy pumpun ominaiskäyrällä vasemmalle ja saavutetaan noin 66 % hyötysuhde.

Taajuusmuuttajasäädön kannattavuutta tutkittiin tietokonesimuloinnin avulla. Eri säätövaihtoehtojen kannattavuutta vertailtiin simuloimalla nykysäädön ja taajuusmuuttajalla toteutetun säädön ominaisenergiakulutuksia. Kuvassa (5) on esitetty on/off-säädön aiheuttama ominaiskulutus eri tilavuusvirroilla (pinkki käyrä) ja taajuusmuuttajasäädön aiheuttama ominaiskulutus (sininen käyrä). Kuvasta nähdään, että pumpattaessa vähemmän kuin 80m<sup>3</sup>/h on-off-säätö on edullisin. Sitä suuremmilla virtausmäärillä sen sijaan taajuusmuuttajalla toteutettu säätö on aavistuksen edullisempi. Tästä syystä optimaalisin säätötapa olisi ajaa pumppua on/off-periaatteella pienemmillä virtauksilla, aina 84 m<sup>3</sup>/h asti. Tätä suuremmat virtaamat olisi optimaalisinta tuottaa taajuusmuuttajasäädöllä (yhdessä pumpussa taajuusmuuttaja, toinen käy on/off.)



Kuva 5. Ominaisenergiankulutus on/off- ja pyörimisnopeussäädöllä.

Kohteesta saatiin päiväkohtaisia virtaustietoja, joista muodostettiin pumppauksen pysyvyyskäyrä. Kun laskettiin eri säätömenetelmille pysyvyyskäyrän mukaiset vuosikustannukset, arvatusti ns. optimoitu pyörimisnopeussäätö on edullisin (kuva 6).



Kuva 6. Vuoden 2008 energiakustannus eri säätötavoilla (Karvonen & Sorsa 2010)

Kuvasta huomataan, että vuotuiset säästöt jäisivät kuitenkin pieniksi (n. 500€) ja näin ollen investoinnin takaisinmaksuaika melko pitkäksi. Systemissä oleva korkea staattisen nostokorkeuden osuus vaikuttanee negatiivisesti taajuusmuuttajan kannattavuuteen tapauksessa. Tässä tapauksessa säästöjä oli saavutettavissa 5 % vuotuisissa kustannuksissa.

## Säästöpotentiaali ja toteutetut energiansäästötoimenpiteet

Taulukossa (2) on esitetty tarkastelun tuloksena löydetty energiansäästöpotentiaali ja energiansäästöinvestoinnit takaisinmaksuaikoineen. Taulukossa on myös esitetty hiilidioksidipäästöt, jotka on laskettu Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästökertoimella K<sub>2</sub> (vuonna 2004 K<sub>2</sub>=200 kgCO<sub>2</sub>/MWh (Suomi ym., 2004, 4))

**Taulukko 2.** Säästöpotentiaali, energiansäästötoimen kannattavuus ja sen toteutuminen.  
(Karvonen & Sorsa 2010)

<b>Kohde</b>	<b>Vuotuinen säästö [€]</b>	<b>Investointi [€]</b>	<b>Energiansäästö [MWh]</b>	<b>CO<sup>2</sup>-päästövähenhys [tCO<sub>2</sub>]</b>	<b>Energiansäästö [%]</b>	<b>Takaisinmaksuaika [a]</b>	<b>Toteutettiinko toimi?</b>
Jätevesipumput	507	3045	10	2	5	6	?
<b>Yht.</b>	<b>507</b>	<b>3045</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	

Taajuusmuuttajaan investoimisella voitaisiin säästää noin 10.000 kWh/a sähköä eli noin 500 euroa vuodessa. Investoinnin korottomaksi takaisinmaksuajaksi muodostuu noin 6 vuotta. Taajuusmuuttajasäädöllä pumppaamon energiankulutus on noin 5 % pienempi kuin nykyisellä säädöllä. Mikäli pumppaamon energiankulutus jatkaa kasvuaan, kasvaa myös taajuusmuuttajasäädöllä saatu energiasäästö. Myös sähkönhinnan nousu lisää taajuusmuuttajalla saatavaa säästöä ja jolloin takaisinmaksuaika lyhenee. Sähkönhinnaksi oletettiin 5 c/kWh.

## **4. VOIMALAITOKSEN JÄÄHDYTYSPIIRIN PUMPPUJEN ENERGIA-TEHOKKUUDEN OPTIMOINTI**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin tutkinon opinnäytetyöhön (Taskinen 2009, s.1-28).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohteena ovat erään voimalaitoksen jäähdytyspiirin pumput. Jäähdytyspiiri koostuu kahdesta itsenäisestä jäähdytyspiiristä sekä jäähdytyskierrosta. Jäähdytyspiirit ovat samanlaiset ja niiden tärkeimmät komponentit ovat kaksi kierrätyspumppua, lämmönsiirrin ja paisuntasäiliö. Keskipakopumppuja pyörittää 160 kW:n kokoiset sähkömoottorit. Normaali-käytössä molemmissa piireissä on toiminnassa ainoastaan toinen pumppu. Järjestelmän putkisto on terästä ja sitä on yhteensä useita kilometrejä. Käytön aikana järjestelmän virtausta säädetään venttiileillä kuristamalla lämpökuorman muuttumisen mukaan. Jäähdytyspiirin tehävänä on normaalitilanteessa jäähdyttää lämmönsiirtimiä ja pumppuja.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Tarkastelun tavoitteena on selvittää kahden voimalaitosyksikön jäähdytyspiirien pumppujen toimintapisteet ja hyötysuhteet. Nykyistä pumppujen ohjaustapaa (kuristus) verrataan taajuusmuuttajaohjaukseen ja selvitetään, onko säätötavan muutoksella mahdollista säästää energiaa. Lisäksi tarkoituksena on selvittää, onko pumppujen hyötysuhteissa tapahtunut havaittavaa muutosta vanhojen koestusten ja nykyhetken välillä (koestusmittaukset ovat osa järjestelmän kunnonvalvontaa, tutkimuksessa verrataan vuoden -93 arvoja nykyhetken koestusarvoihin). Tarkastelun lopputuloksena esitetään kannattavat energiansäästötoimenpiteet säätötavan ja laitevalintojen osalta.

### **Energiatehokkuusanalyysi**

Tarkastelun lähtötietoina on käytetty viimeisen kolmen vuoden aikana tehdyissä koestuksissa kerättyjä tietoja. Koestuksilla varmistetaan, että järjestelmän toiminta täyttää sille asetetut vaatimukset. Koestuksissa pumpuilta kerättävät tiedot ovat virta, jännite, teho sekä imu- ja painepuolen paine. Taajuusmuuttajaohjauksen kannattavuutta on tarkasteltu virtauksen pysyvyysskäyrien avulla, joiden muodostamisessa lähtökohtana on prosessitietokoneelta kerätyt tiedot järjestelmän todellisesta virtaamasta. Taajuusmuuttajan käyttäminen voi olla energiatehokas säätötapa kohteessa, jossa pumppausmäärät vaihtelevat paljon. Tällaisessa kohteessa voidaan taajuusmuuttajalla säätämällä saada pumpun tuottoarvot helposti halutun suuruisiksi sekä pumppauksen toimintapiste pumppukäyrän alueelle, jossa pumpun hyötysuhde on hyvä.

#### **Voimalaitosyksikkö 1**

Pumppauksen toimintapisteitä ja niiden hyötysuhteita tutkittiin koestusmittaustulosten avulla. Pumppauksen kokonaishyötysuhteet osoittautuvat vaihtelevan välillä 64–67 %. Pumput, joilla on heikoimmat hyötysuhteet toimivat huomattavasti suuremmalla teholla kuin järjestelmän muut pumput. Eroa järjestelmän muihin pumppuihin on noin 11 kW.

Ajanjaksolla 2006–2009 ei pumppujen hyötysuhteessa tai pumppaustehossa ole havaittavissa trendiä hyötysuhteen laskemiseen tai tehon nousemiseen; teho ja hyötysuhde vaihtelevat tarkastelujaksolla satunnaisesti. Vuoden 1993 koestustulosten vertailu uudempiin osoittaa, että pumppujen moottoreiden ottama virta on selvästi noussut, vaikka pumppujen tuotto ei ole kasvanut. Tämän seurauksena pumppausten kokonaishyötysuhde on nykyisin huonompi. Etenkin järjestelmän kahden pumpun kohdalla tehon nousu on huomattava.

Pysyvyyskäyrien tarkastelut osoittavat, että 1. voimalaitosyksikön toisessa itsenäisessä jäähdytyspiirissä säätötarvetta on sen verran, että taajuusmuuttajasäätö voisi tuoda energiasäästöjä. Kuristussäädöllä toteutettuna pumpput toimivat tällä virtausalueella 90 % käyntiajastaan hyötysuhteella 68–78 %. Pumppujen pyörimisnopeussäädöllä voitaisiin vähentää järjestelmän energiankulutusta, koska pumppausten toimintapisteet siirtyisivät hyvälle hyötysuhdealueelle ja moottorin ottama teho pieneni pienemmän pyörimisnopeuden johdosta. Pumpun hyötysuhde olisi samalla virtausalueella noin 82 %. Vuotuseksi energiasäästöpotentiaaliksi lasketaan noin 82 MWh. Laskennassa on oletettu, että järjestelmän käyttöaika on 8760 tuntia vuodessa ja moottorin hyötysuhde pysyy muuttumattomana säätötavasta riippumatta.

## **Voimalaitosyksikkö 2**

Myös toisen jäähdytyspiirin pumppujen toimintapisteitä selvitettiin koestusmittausten perusteella. Näiden pumppujen tuottama tilavuus on koestuksissa ollut jonkin verran suurempi kuin 1. voimalaitosyksikön jäähdytyspiirin pumppujen. Nostokorkeus on ollut yhtä suuri molempien laitoksien pumpuilla. Pumppujen ottamat tehot ovat olleet lähes samat molemmilla laitoksilla. Hyötysuhde on 2. yksikön pumpuilla ollut noin 70 % lukuun ottamatta pumppua, jonka hyötysuhde on ollut 67 %. Kyseisen pumpun ottama teho on ollut noin 11 kW muita pumppuja suurempi, vaikka sen tuottoarvot eivät ole muita suuremmat.

Toiselta yksiköltä ei ole saatavissa vastaavia vanhempia koestustietoja, joten saatujen tulosten vertaaminen vanhempiin tuloksiin ei onnistu.

Toisen yksikön jäähdytyspiirin toisen itsenäisen piirin pysyvyyskäyrä osoittaa, että järjestelmän pumppaukset tapahtuvat pääosin virtausalueella, jolla pumppujen hyötysuhde on välillä 75–84 %. Pyörimisnopeussäädöllä toteutettuna samalla virtausalueella päästäisiin 80–85 % hyötysuhteisiin. Laskemalla energiasäästöpotentiaali taajuusmuuttajasäädölle saadaan tämän järjestelmän säästöksi 32 MWh vuodessa.

Järjestelmän toisen piirin pumppaukset tapahtuvat pääosin pumppujen kannalta hyvän hyötysuhteen virtausalueella. Kuitenkin noin 10 % pumppauksista tapahtuu pumpun kannalta joko liian pienellä tai liian suurella virtauksella, jolloin myös hyötysuhde on huono. Pyörimisnopeussäädöllä näillä alueilla toimittaessa pumppujen ottama teho laskisi huomattavasti. Energiasäästöpotentiaali tälle järjestelmälle on noin 10 MWh vuodessa.

## **Säästöpotentiaali ja toteutetut energiasäästötoimenpiteet**

Taulukossa (3) on esitetty tarkastelun tuloksena löydetty energiasäästöpotentiaali ja energiasäästoinvestoinnit takaisinmaksuaikoinen (\*Laskuissa on otettu mukaan vain yhden taajuusmuuttajan asennus/piiri). Taulukossa on myös esitetty hiilidioksidipäästöt, jotka on laskettu Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästökertoimella K<sub>2</sub> (vuonna 2004 K<sub>2</sub>=200 kgCO<sub>2</sub>/MWh (Suomi ym. 2004))



**Taulukko 3.** Löydetty säästöpotentiaali, energiansäästötoimen kannattavuus ja sen toteutuminen.

<b>Kohde</b>	<b>Vuo- tuinen säästö [€]</b>	<b>Inves- tointi [€]</b>	<b>Energian- säästö [MWh]</b>	<b>CO<sup>2</sup>- päästö vähennys [tCO<sub>2</sub>]</b>	<b>Takaisin- maksuai- ka [a]</b>	<b>Toteutet- tiinko toi- mi?</b>
<b>Yksikkö 1</b>	4510	10800*	82	64	2,4	ei
<b>Yk- sik- kö 2</b>	<b>Piiri 1</b>	1760	10800*	32	6,4	ei
	<b>Piiri 2</b>	550	10800*	10	2	20
<b>Yht.</b>	6820	32400*	124	72,4		

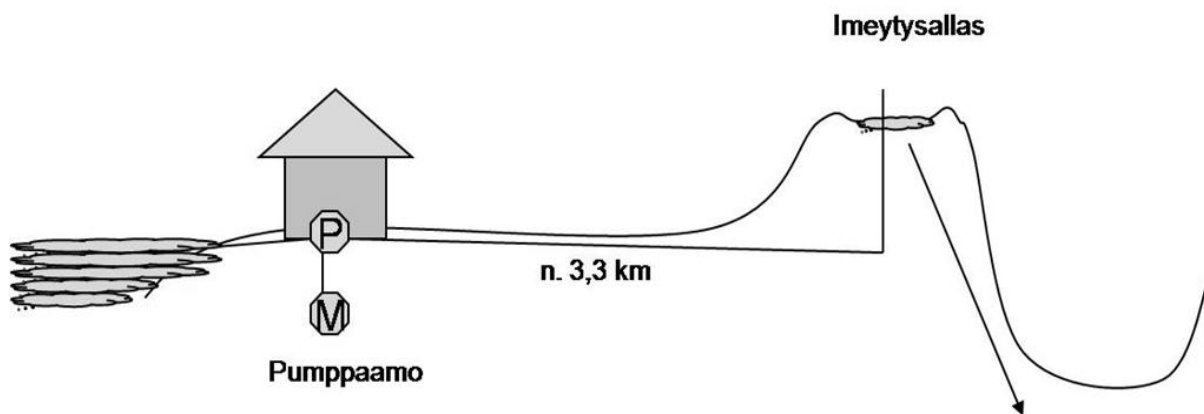
Taulukossa esitetyistä energiansäästöinvestoinneista vain 1. yksikön toiseen piiriin asennettava taajuusmuuttaja olisi takaisinmaksuajan näkökulmasta kannattava. Taajuusmuuttajainvestoinnilla olisi kyseisessä piirissä säästettävissä n. 82 MWh/a. Koroton takaisinmaksuaika olisi tällöin n. 2,4 vuotta. Sähköhintana käytettiin 5,5 c/kWh.

## 5. ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET KUNNALLISESSA RAAKAVESIPUMPPAAMOSSA

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla suoritettuun tutkimukseen raakavesipumppauksen energiansäästömahdollisuuksista (Aranto 2009, s 1-9)

### Kohteen kuvaus

Tarkasteltava kohde on kunnallisen vesilaitoksen raakavesipumppaamo, joka tuottaa talousveden kaikille seudun asukkaille. Pumppaamo siirtää vettä järvestä reilun kolmen kilometrin päässä sijaitsevalle imeytysaltaalle (Kuva 7). Pumppaamossa on kaksi pumppua, mutta vain yhtä pumppua käytetään kerrallaan. Pumppua säädetään on/off-periaatteella, mutta käytännössä se on koko ajan päällä. Pumppu pumpkaa päivittäin keskimäärin  $9000\text{m}^3$  vettä imeytysaltaalle. Pumppaamon toiminnassa ei ole muutoksia riippuen vuodenajasta. Staattista nostokorkeutta järjestelmässä on noin 25 metriä ja pumpun nimellisvirtaus on  $130\text{ m}^3/\text{h}$ .



Kuva 7. Tarkasteltava raakavesipumppaamo

### Tarkastelun tavoitteet

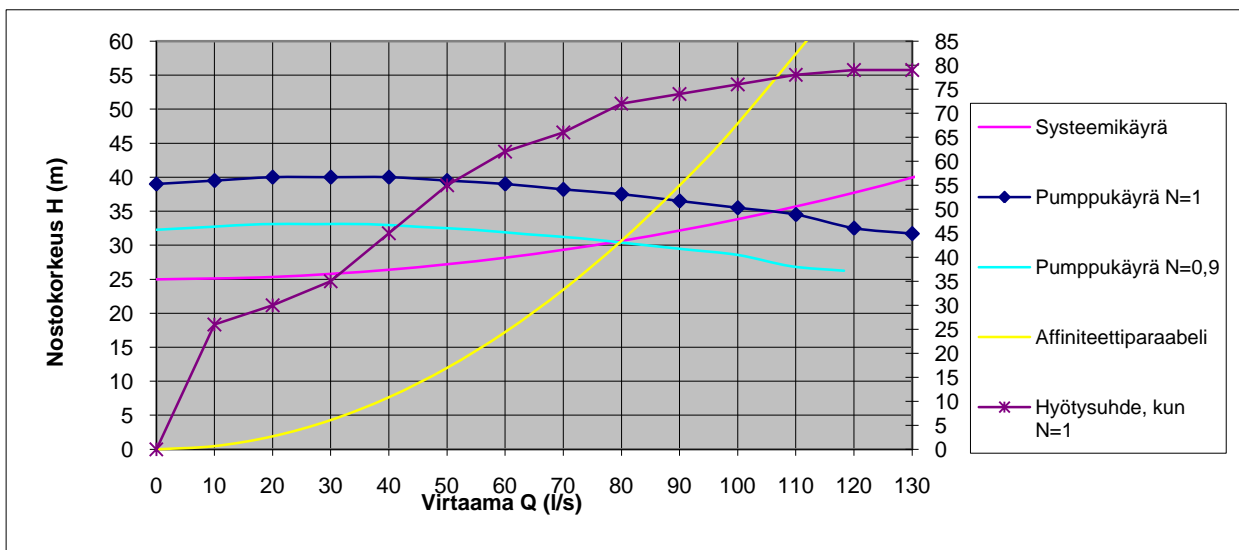
Tavoitteena on tutkia pumppaamon energiatehokkuutta vertaamalla sen energiankulutusta nykysäädöllä ja vaihtoehtoisesti pyörimisnopeussäädöllä. Kohteen energiatehokkuutta tutkitaan ominaisenergiankulutus-käsitteen avulla, joka kertoo kulutetun energiamäärän pumpattua tilavuusyksikköä kohden. Tutkimuksessa käytetään Excel-pohjaista Efficiency speed calculatoria (ESC) pumpun toiminnan simuloinnissa ja ominaisenergiankulutuksien laskennassa. Tarkastelun tavoitteena on myös testata ja kehittää laskurin käytettävyyttä.

Tarkastelussa selvitetään, toimiiko pumppu tällä hetkellä energiankulutuksen kannalta optimaalisella alueella ja onko pumppu mitoitettu oikein. Taajuusmuuttajasäädön kannattavuus selvitetään sekä nykyhetken tilanteelle että myös mahdolliselle tulevaisuuden tilanteelle, jolloin pumppaustarve on kasvanut tai vaihtoehtoisesti pienentynyt.

## Nykytilan energiansäästöpotentiaali

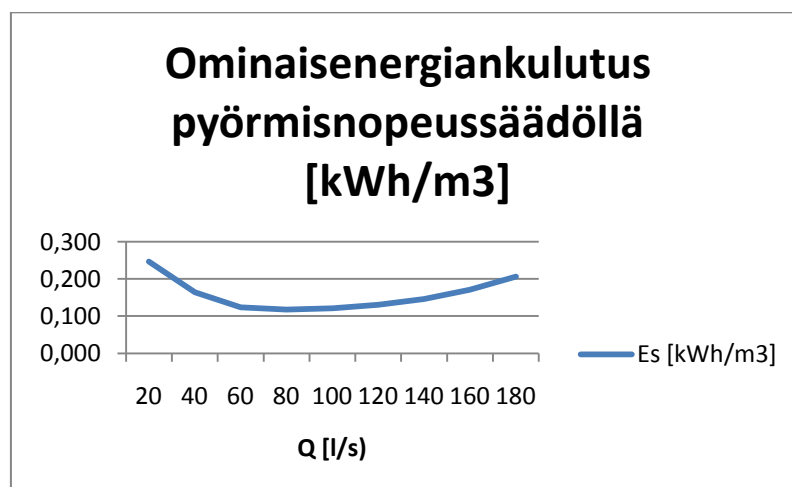
### Taajuusmuuttajasäädön kannattavuus

Tarkastelussa vertailtiin raakavesipumppaamossa käytössä olevaa on/off-säätöä taajuusmuuttajasäätöön energiankulutuksen näkökulmasta. Lähtötietoina kohteesta saatiin päivittäiset pumpatut tilavuudet kuukauden ajalta. Virtaustietojen perusteella pumppu toimii käytännössä samassa pisteessä koko ajan. Koska todellinen virtaama tiedettiin, voitiin pumppukäyrältä määrittää nykyhetken toimintapiste. Kuvassa (8) on esitetty pumpun toimintapiste nykytilassa. Kuvassa sininen pumppukäyrä (N=1) kuvaa valmistajan ilmoittamia nostokorkeuksia eri tilavuusvirroilla vakionopeudella (juoksupyörän koolla 352mm). Nykytilan toimintapiste löytyy pinkin systeemikäyrän ja sinisen pumppukäyrän leikkauspisteestä (Q=105 l/s, H=35m ja hyötysuhde 78 %). Ominaisenergiankulutus nykytilassa on 0,122 kWh/m<sup>3</sup>.



**Kuva 8.** Pumpun ominaiskäyrät nimellisnopeudella ja alennetulla nopeudella. Toimintapisteet löytyvät ominaiskäyrän leikatessa putkiston systeemikäyrän. Kuvassa myös hyötysuhdekäyrä ja affiniteettiparaabeli.

Seuraavaksi selvitettiin, voisiko ominaisenergiankulutus olla pienempi, jos moottorin pyörimisnopeutta pienennettäisi taajuusmuuttajasäädöllä. Ominaisenergiankulutuksien simulointi osoitti, että virtaamalla 80 l/s ominaisenergiankulutus on pienimmillään (kuva 9).



**Kuva 9.** Ominaisenergiankulutukset nopeussäädöllä tilavuusvirran funktiona.

Jotta saavutettaisiin optimaalinen pyörimisnopeus, pumpun tulisi siis pyöriä 0,9-kertaisella teholla entiseen nopeuteen nähden. Optimaalinen pumpun toimintapiste on esitetty kuvassa (8), jossa uusi toimintapiste löytyy systeemiäyrän ja uuden pumppukäyrän leikkauspisteessä. Tässä pisteessä  $Q=80$  l/s,  $H=31$ m ja hyötysuhde 0,71. Ominaisenergiankulutus on 0,117 kWh/m<sup>3</sup>. Kuvasta (9) kuitenkin huomataan, että pumpun nykyinenkin toimintapiste (105 l/s) sijoittuu ominaisenergiankulutuksen kannalta optimaaliselle alueelle ja ero ominaisenergiankulutuksissa nykysäädöllä ja taajuusmuuttajasäädöllä on vain n. 4 %. Tämä tarkoittaa sitä, että jos kummallakin säätömenetelmällä pumpataan sama määrä, vuotuisissa kustannuksissa säästettäisiin taajuusmuuttajaohjauksella n. 1200 €/a (sähkön hinta 7c/kWh).

Pyörimissäädön osalta on huomioitava, että mikäli pumppaus toteutettaisiin pumpun optimaalimmalla tilavuusvirralla ja näin ollen hankittaisi pumppuun taajuusmuuttaja, tämä vähentäisi pumppauksen päivittäistä volyymia. Koska pumppu käy nykysäädöllä täydellä teholla 24h/d, vähentäisi nopeuden vähennys väistämättä päivittäin pumpattavaa määrää n. 24 %. Näin ollen, mikäli pumppaustarve säilyy ennallaan, ei taajuusmuuttajasäätö ole prosessin kannalta mahdollinen vaihtoehto.

### **Säästöpotentiaali isommalla juoksupyörällä ja taajuusmuuttajasäädöllä**

Toisena nykytilan energiatehokkuutta edistävänä vaihtoehtona tarkasteltiin juoksupyörän vaihtamista isompaan (390mm), jonka jälkeen taajuusmuuttajasäätö olisi mahdollinen pumppauskapasiteetin kasvaessa isomman juoksupyörän myötä. Lopputuloksena todettiin, että isommalla juoksupyörällä taajuusmuuttajasäätö toisi 15 %:n säästön verrattuna vastaavalla juoksupyörällä toteutettuun on/off-säätöön. Jos kuitenkin verrataan tämän vaihtoehdon ominaisenergiankulutusta nykyhetken ominaisenergiankulutukseen (pienempi juoksupyörä ja on/off-säätö), ei tämäkään vaihtoehto ole energiataloudellisesti kannattava, mikäli virtaustarve pysyy nykyisellään.

### **Energiatehokkuuden optimointi tulevaisuuden skenaarioissa**

Lisäksi tarkasteltiin kahta erilaista tulevaisuuden skenaariota. Toisessa skenaariossa virtaustarve kasvaa n. 30 %. Tällöin tarvittava virtaama voidaan tuottaa joko pumppaamalla kahdella pumpulla rinnan tai vaihtamalla pumppuun isompi juoksupyörä. Näitä kahta vaihtoehtoa vertaamalla ominaisenergiankulutuksen näkökulmasta isomman juoksupyörän vaihtaminen osoittautui selkeästi edullisemmaksi. Tällöin myös pumpun hyötysuhde parantuisi nykyisestä ollen lähellä pumpun parasta hyötysuhdealuetta.

Jos pumppausmäärää olisi varaa vähentää noin 25 %, olisi nykyistä pumppua mahdollista ohjata taajuusmuuttajalla. Tällöin voitaisiin tarvittava virtaama tuottaa hieman pienemmällä pyörimisnopeudella ( $N=0,9$ ), jolloin pumpun ominaisenergiankulutus on pienimmillään. Kokonaisuudessaan energiantarve vähentyisi tässä skenaariossa n. 30 %.

### **Johtopäätökset**

Tarkastelun johtopäätöksenä voidaan todeta, että olemassa olevalle pumpulle ei löytynyt kannattavia energiansäästötoimia. Pumpun toiminnan tarkastelu kuitenkin osoitti, että pumppauksen toimintapiste ei sijoitu aivan parhaimmalle toiminta-alueelle: pumppu on tarpeeseen nähden hieman ylimitoitettu. Mikäli pumppu on vanha ja uuden pumpun hankkiminen on ajankohtaista, saavutettaisiin energiasäästöjä, kun lähes vakiona säilyvä toimintapiste sijoittuisi

kokoa ajan hyötysuhteen kannalta parhaalle mahdolliselle toiminta-alueelle. Nykyisten pump-  
pujen hyötysuhteet voivat olla myös lähtökohtaisesti parempia kuin vanhempien pumppujen.

Mikäli virtaustarve kasvaa 30 %, kannattaa pumppuun vaihtaa isompi juoksupyörä. Mikäli  
virtaustarve laskee 25 %, voidaan pumppua ohjata taajuusmuuttajalla alennetulla nopeudella  
energiatehokkaasti. Tarkastelun tuloksia arvioitaessa täytyy huomioida epävarmuustekijät,  
jotka johtuvat tarkastelun aikana tehdyistä oletuksista.

Yksi tarkastelun tavoitteista oli testata ES-laskurin käytettävyyttä arvioitaessa pumppausso-  
velluksen säästöpotentiaalia. Laskuri osoittautui käyttökelpoiseksi, mikäli systeemi-  
käyrä saadaan määritettyä mahdollisimman hyvin. Tätä varten on oleellista tietää nykyinen toimintapi-  
ste, venttiilien asennot tällöin sekä staattinen nostokorkeus. Toimintapisteen määrittämistä var-  
ten tarvitaan mitattuja virtaustietoja. Vaihtoehtoisesti putkistokäyrä voidaan määrittää putkistoa  
koskevan tiedon (mm. mitoitus tiedot) ja virtaavan nesteen ominaisuuksien perusteella. Pum-  
pun ominaiskäyrät ovat myös välttämättömiä pohjatietoja.

## **6. ENERGIATEHOKKUUDEN OPTIMOINTI SATAMATERMINAALIN KEMIKAALIPUMPPAAMOSSA**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla suoritettuun tutkimukseen pumppausprosessin energiansäästömahdollisuuksista (Aranto 2008, s 1-16)

### **Kohteen kuvaus**

Tarkasteltava kohde ovat satamaterminaalipalveluja tarjoava yritys ja sen kemikaalipumppaamo. Kemikaalipumppuilla siirretään metanolia välivarastointiin ja siitä edelleen laivaan. Pumppaamossa on kaksi ruuvipumppua, joita käytetään kemikaalin siirrossa välivarastoon (purkupumput), ja kaksi keskipakopumppua, joilla kemikaali ajetaan laivaan (laivauspumput).

Metanoli saapuu terminaalille junanvaunuissa, joista se siirretään kahdella ruuvipumpulla terminaalin varastosäiliöön. Pumppuja pyörittää 160 kW:n kokoiset moottorit. Pumppuja käytetään on/off-periaatteella.

Metanolin siirtämiseen säiliöstä laivaan käytetään kahta keskipakopumppua. Pumppujen tuottamaa virtaamaa säädetään kuristamalla virtausta. Virtausta säädetään laivan toiveen mukaisesti. Pumppuja pyörittää 75 kW:n kokoiset moottorit.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Tarkastelun tavoitteena on selvittää purkupumppujen ja lastauspumppujen nykytilan energiatehokkuus ja siltä pohjalta selvittää pumppausten energiansäästöpotentiali. Tavoitteena on myös tarkastella, mistä yrityksen tehonkulutustilastoinnissa esiintyvät hetkittävät tehopiikit johtuvat. Tehopiikit voivat nostaa sähkökustannuksia merkittävästi, joten tavoitteena on selvittää, olisivatko tehonkulutuspiikit vältettävissä tai voiko niistä aiheutuvaa kustannusta pienentää vaihtamalla sähkötariffia.

## **Energiatehokkuusanalyysi**

### **Purkupumput**

Metanolin purkaminen suoritetaan käyttäen tarkoitukseen erityisesti suunniteltuja purkuvarsia. Purun aikana virtausta ei säädetä mitenkään, mutta pumpattu tilavuusvirta pienenee vaunujen tyhjetessä ja pumppu imee samalla ilmaa. Lopussa purkuvarret nostetaan pois ja loput vaunussa olevasta kemikaalista ”pillitetään” vaunuista purkuletkuilla.

Aluksi laskettiin purkupumppujen vuotuinen energiankulutus. Lähtötietojen saamiseksi suoritettiin tehomittaus yhden purkutapahtuman ajalta. Purun aikana mitattiin moottorin ottamaa tehoa kannettavalla tehonkulutusmittarilla. Vuotuinen energiankulutus arvioitiin tyypillisen purkutapahtuman aikana mitatun sähkönkulutuksen ja purkutapahtumien vuotuisen lukumäärän perusteella.

Mittauksien perusteella voi todeta, että pumppua pyörittävä moottori ottaa tehoa melko vähän (n. 31,5 kW) moottorin kokoon nähden (160 kW). Pieni tehontarve johtunee pumpattavan kemikaalin eli metanolin ominaisuuksista. Moottorilta mitattu virta oli lähes tyhjäkäyntivirran

suuruinen, joka viittaa siihen, että moottorin kuormitus on erittäin pieni. Siinä valossa, että pumppua pyörittää nimellisarvoiltaan huomattavasti mitattua tehontarvetta suurempi moottori, ei yhdistelmä ole energiatehokkuutta ajatellen paras mahdollinen. Mittaustulosten perusteella pumpun aiheuttama kuorma moottorille on todennäköisesti korkeintaan 15 % täydestä kuormasta (100 %). Moottorien kuormitusalueen optimi hyötysuhdetta ajatellen on (60-80) % täydestä kuormasta, hyväksyttävä toiminta-alue on (50-100) % ja lyhytaikaisesti käytettynä hyväksyttävä toiminta-alue on (20-120) % täydestä kuormasta (U.S. Department of Energy). Moottorin matala kuormitusalue viittaa moottorin huonoon hyötysuhteeseen purkupumppauksen aikana.

Mittaustuloksien valossa vaihtoehtoisia energiansäästötoimenpiteitä ovat:

- Pumpulle uusi moottori
- Uusi pumppu, taajuusmuuttaja sekä moottori
- Vanhaa moottoria ja pumppua ohjaamaan uusi taajuusmuuttaja

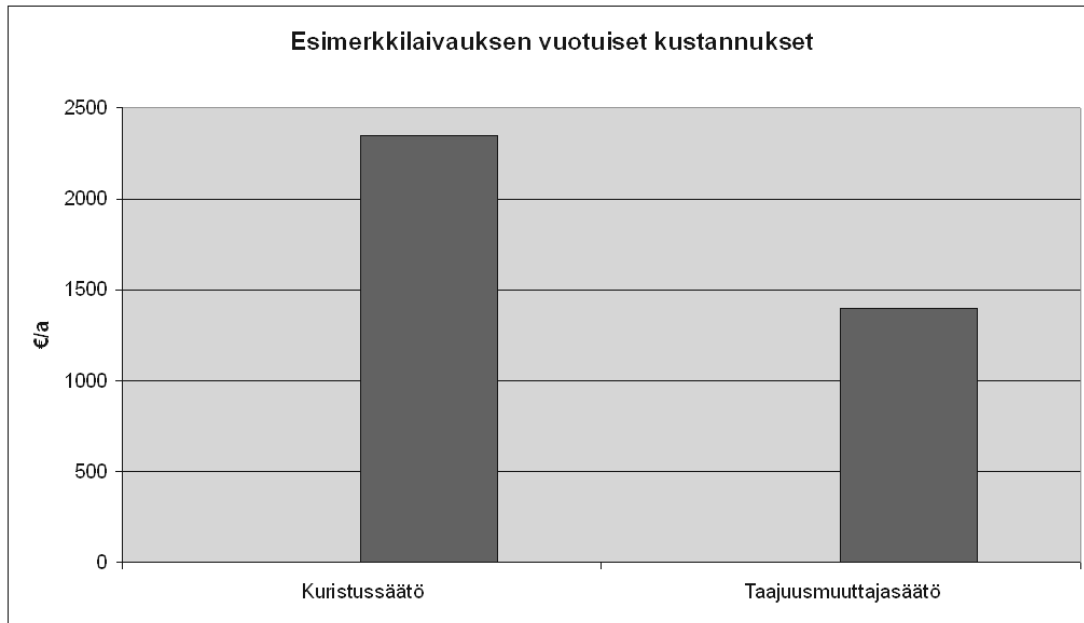
Eri vaihtoehdoille laskettiin takaisinmaksuajat. Koska pumpun tehonkulutus oli kuitenkin pientä, myös pumpun energiakustannukset ovat melko pienet. Tällöin investoinnin takaisinmaksuaika venyy väkisin vähintään yli 10 vuoteen, jolloin mitään vaihtoehtoisista investoinneista ei voi pitää taloudellisesti kannattavana.

### **Laivauspumput**

Pumpun toimintapisteen energiatehokkuutta pyrittiin arvioimaan tehomittausten avulla. Moottorin ottamaa tehoa mitattiin, kun metanolia siirrettiin täydestä säiliöstä toiseen säiliöön. Linjasiirron yhteydessä suoritettujen mittausten perusteella pystyttiin arvioimaan pumppauksen toimintapistettä silloin, kun virtaamaa ei säädetä mitenkään. Linjasiirto eroaa laivaustapahtumasta niin, että laivauksessa pumppua säädetään kuristamalla. Säättämättömän toimintapisteen avulla voidaan kuitenkin arvioida pumpun energiankulutusta myös kuristettaessa.

Vuotuinen energiankulutus arvioitiin mallintamalla tyypillinen laivaustapahtuma ja arvioimalla tehonkulutusta tällöin mittaustietojen perusteella. Laivauspumppujen energiansäästöpotentiaalia selvitettiin laskemalla energiankulutus vaihtoehtoiselle ohjaustavalle: taajuusmuuttajasäädölle, ja vertaamalla sitä nykysäädön kulutukseen.

Tarkastelun perusteella laivaukseen käytetyissä keskipakopumpuissa huomattiin merkittävä säästöpotentiaali (40 %) (kuva 10), joka saavutettaisiin taajuusmuuttajaohjauksella. Säästö on prosentuaalisesti suuri, mutta investoinnin takaisinmaksuajaksi laskettiin kuitenkin yli kolme vuotta. Todellinen takaisinmaksuaika investoinnille riippuu laskennassa tehtyjen oletusten paikkansapitävyydestä (virtaaman säätötarve ja vuotuiset käyttötunnit).



**Kuva 10.** Esimerkkilaivauksissa kulutettu vuotuinen energia eri säätötahteilla.

Taulukossa (4) on esitetty tarkastelun tuloksena löydetty energiansäästöpotentiaali ja kannattavat energiansäästöinvestoinnit takaisinmaksuaikoinen.

**Taulukko 4.** Laivauspumpun energiansäästöpotentiaali ja investoinnin kannattavuus.

Kohde	Vuotuisen säästö [€]	Investointi [€]	Energiansäästö [MWh]	Energiansäästö [%]	Takaisinmaksuaika [a]
Keskipakopumpu (laivaus)	1000	3400	17	41	3,4

### Tehopiikit

Tehopiikit, joita terminaalin toiminnassa on, voivat kokonsa puolesta johtua pumppauksista, joita tehdään useita samaan aikaan, tai pumppauksesta ja muista erilaisista kuormista samaan aikaan. Tällaisten useamman tunnin kestävien tehokulutushuippujen poistaminen edellyttäisi toiminnan (=prosessien) uudelleen organisointia, eli toiminta pitäisi suunnitella niin, ettei useita pohjakuorman päälle tulevia toimintoja suoritettaisi samanaikaisesti. Tehonkulutuspiikkien rahallinen merkitys ei kuitenkaan osoittautunut olevan erityisen merkittävä. Piikkiin määräämään tehomaksun kustannuksen laskettiin olevan vain 140 €/kk.

Sähkölaskuun voidaan vaikuttaa ilman energiansäästöinvestointia mm. kilpailuttamalla sähköenergia, valitsemalla oikeanlainen sähkönsiirtotariffi ja pyrkimällä leikkaamaan tehonkulutuspiikkejä, jotka määräävät sähkölaskuun kuuluvan tehomaksun. Sähkönsiirtotariffin tarkastuksessa nykyisin käytössä oleva nykyinen tariffi osoittautui olevan kuitenkin edullisin.

### Säästöpotentiaali ja toteutetut energiansäästötoimenpiteet

Taulukossa (5) on esitetty tarkastelun tuloksena löydetty energiansäästöpotentiaali ja kannattavat energiansäästöinvestoinnit takaisinmaksuaikoinen. Taulukossa on myös esitetty hiilidioksidipäästöt, jotka on laskettu Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästökertoimella K<sub>2</sub> (vuonna 2004 K<sub>2</sub>=200 kgCO<sub>2</sub>/MWh (Suomi ym. 2004, 4))



**Taulukko 5.** Löydetty säästöpotentiaali, energiansäästötoimen kannattavuus ja sen toteutuminen.

<b>Kohde</b>	<b>Vuotuis- säästö [€]</b>	<b>Inves- tointi [€]</b>	<b>Energian- säästö [MWh]</b>	<b>CO<sup>2</sup>- päästö vähen- nys [tCO<sub>2</sub>]</b>	<b>Energian- säästö [%]</b>	<b>Takaisinmak- suaika [a]</b>	<b>Toteu- tet- tiinko toimi?</b>
Laiva- us- pump- pu	1000	3400	17	3,4	41	3,4	?
<b>Yht.</b>	<b>1000</b>	<b>3400</b>	<b>17</b>	<b>3,4</b>	<b>41</b>	<b>3,4</b>	

## **7. LÄMPÖENERGIAN SÄÄSTÖPOTENTIAALI KUNNAN OMISTAMISSA KIINTEISTÖISSÄ**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin opin-  
näytetyöhön (Piipponen 2010, s.1-31).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohteena ovat erään kunnan omistamat kiinteistöt. Työssä käsitellään ensisijaisesti suurimpien kiinteistöjen lämpöenergiankulutusta. Kunta on mukana vuonna 2008 aloitetussa hiilineutraalit kunnat – hankkeessa (HINKU), mistä syystä kunta haluaa selvittää kiinteistöjensä lämpöenergiensäästöpotentiaalin. Hankkeen tavoitteena on saada kuntia sitoutumaan EU:n asettamia tavoitteita suurempiin päästövähennyksiin, jotka toteutettaisiin EU:n yleistä aikataulua nopeammin. Tarkastelun kohteena olevan kunnan hiilidioksidipäästöt tulevat pääosin laajasta maataloudesta, mutta hiilineutraalin tilan saavuttamiseksi on kuitenkin otettava kaikki hiilivirrat huomioon. Kiinteistöjen lämmitysenergian tuotannossa syntyvät päästöt ovat yksi osa tätä kokonaisuutta.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Työn tarkoituksena on selvittää kunnan omistamien kiinteistöjen rakennusjärjestelmien taso ja kartoittaa kiinteistöistä potentiaalisimmat lämpöenergiensäästökohteet. Potentiaalisimmista kohteista selvitetään kulutuksen painopisteet. Valittuihin kohteisiin esitetään toimenpidesuunnitelma ja mahdollisuuksien mukaan arvioidaan toimenpiteiden taloudellinen ja hiilidioksidipäästöihin kohdistuva vaikutus energiansäästön näkökulmasta. Työssä pyritään keskittymään helposti toteutettavissa oleviin lämpöenergiensäästökeinoihin ja annetaan yleisiä ohjeita energiatehokkuuteen liittyen. Työ toimii pohjana kunnan tuleville tarkemmille selvityksille energiatehokkuudesta ja sen kehittymismahdollisuuksista.

### **Energiatehokkuustarkastelu**

Tarkastelu aloitettiin kartoittamalla energiansäästön kannalta potentiaalisimmilta vaikuttavat kiinteistöt. Työn aikataulun asettamissa puitteissa tyydyttiin etsimään potentiaalisia kohteita pelkästään kulutuslukemien perusteella siten, että kunnan kohteiden ominaiskulutuksia verrattiin Motivan julkaisemiin keskimääräisiin ominaiskulutuksiin samasta rakennustyyppistä (Motiva 2009a). Kiinteistöistä löytyi viisi kohdetta, joissa oli selkeästi suuremmat lämpöenergiankulutusarvot kuin saman tyyppin rakennuksissa keskimäärin. Tarkastelun kohteiksi valikoitui kaksi koulua, terveyskeskus, vanhainkoti ja kunnantalo. Näissä kohteissa suoritettiin tarkastuskäynnit kulutuksen painopisteiden selvittämiseksi.

Tarkasteluun valikoiduissa kohteissa pyrittiin kiinnittämään huomiota kyseisen rakennustyyppin tyypillisesti suurimpiin lämmönkulutuskohteisiin. Julkisissa rakennuksissa kiinnitettiin huomiota erityisesti ilmanvaihtoon, sillä ilmanvaihtokertoimien täytyy suurien käyttäjämäärien vuoksi usein olla suuria julkisissa rakennuksissa. Toinen huomionarvoinen seikka olivat ikkunat, jotka kahdessa kohteessa olivatkin kaksilaiset. Lämpöenergiaa kuluu myös käyttöveden lämmittämiseen, mihin täytyy kiinnittää huomiota lähinnä asuinrakennuksissa. Julkisissa rakennuksissa lämpimän käyttöveden osuus lämpöenergian kulutuksesta on pieni.

Lämpöenergiansäästöpotentiaalia arvioitiin karkeasti laskemalla saman rakennustyyppin keskimääräisen ominaiskulutuksen yli menevä osa (taulukko 6). Periaatteena on siis, että saman tyyppin rakennuksen ominaiskulutus olisi mahdollisesti vähennettävissä keskimääräiselle tasolle. Ominaiskulutuksen parantamiseksi on myöhemmin esitetty toimenpiteitä ja laskettu mm. ilmanvaihdon rajoittamisen ja kaksilasisten ikkunoiden uusimisen vaikutusta.

**Taulukko 6.** Kulutustiedot ja mahdollinen säästöpotentiaali esimerkkikohteissa. (Piipponen 2010)

Kohteet	Keskimääräinen lämpöenergian kulutus [MWh/a]	Ominais lämpö-energian kulutus [kWh/r-m <sup>3</sup> ]	Motivan antama mediaani [kWh/r-m <sup>3</sup> ]	Ero mediaaniin		
				[MWh/a]	[kWh/r-m <sup>3</sup> ]	[%]
Koulu 1	468	132,2	41,8	320	90,4	68
Kunnantalo	296	54,2	40,0	78	14,2	26
Terveyskeskus	949	78,2	57,9	246	20,3	26
Koulu 2	725	64,2	41,8	253	22,4	35

## Johtopäätökset energiansäästöpotentiaalista

Kunnan omistamista kiinteistöistä oli tavoitteena löytää suurimpia kuluttajia ja niiden joukosta lämpöenergian säästön kannalta potentiaalisimmat yksilöt. Koulu 1 kuuluu tilastoituihin vertailuarvoihin nähden korkean ominaiskulutuksensa puolesta suurimpiin kuluttajiin ja potentiaalisimpiin kohteisiin. Koulun ominaiskulutus on lähellä Motivan tilastoimia maksimiarvoja koulujen ominaiskulutuksissa, vaikka koulua on korjattu viereisen kirjaston rakentamisen yhteydessä. Kenttäkierroksen perusteella epäillään, että koulun ilmanvaihto on turhan voimakasta. Sitä säättämällä voi olla mahdollista päästä jopa 60 % lämpöenergian säästöön (taulukko 7).

**Taulukko 7.** Ilmanvaihdon säädön säästövaikutus koulussa 1. (Piipponen 2010)

Nykyiset lämmityskustannukset	21156	€
Nykyinen kulutus	468	MWh
Uusi kulutus	183	MWh
Investointi kustannus -arvio	3000	€
Säästö	60,8	%
	12 900	€
Takaisinmaksuaika	<1	a
CO <sub>2</sub> -päästövähennys	13	t/a

Koulussa 2 ja Kunnantalossa on myös säästöpotentiaalia, ja suurimmaksi osaksi se johtuu vanhoista ikkunoista, jotka kannattaisi vaihtaa uusiin. Laskelmat osoittavat, että koulussa 2 ja kunnantalossa päästäisiin ikkunaremonteilla noin 12 - 14 % säästöön lämpöenergian kulutuksessa. Taulukossa (8) on esitetty koulun 2 säästöpotentiaali. Ikkunaremontin kustannuksissa on käytetty arvoa 300 €/m<sup>2</sup>. Toimenpiteillä ei ole vaikutusta CO<sub>2</sub> -päästöihin, sillä lämmönlähteenä on pelletti, jonka päästöt voidaan katsoa nolllaksi. Kunnantalons ikkunaremontin suun-

taa-antava säästövaikutus on esitetty taulukossa (9). CO<sup>2</sup>-päästövähennys on arvioitu lämpökeskuksessa käytettyjen polttoaineiden sekä polton ja jakelun vuosihyötysuhteen avulla.

**Taulukko 8.** Ikkunaremontin suuntaa-antava säästövaikutus koulussa 2. (Piipponen 2010)

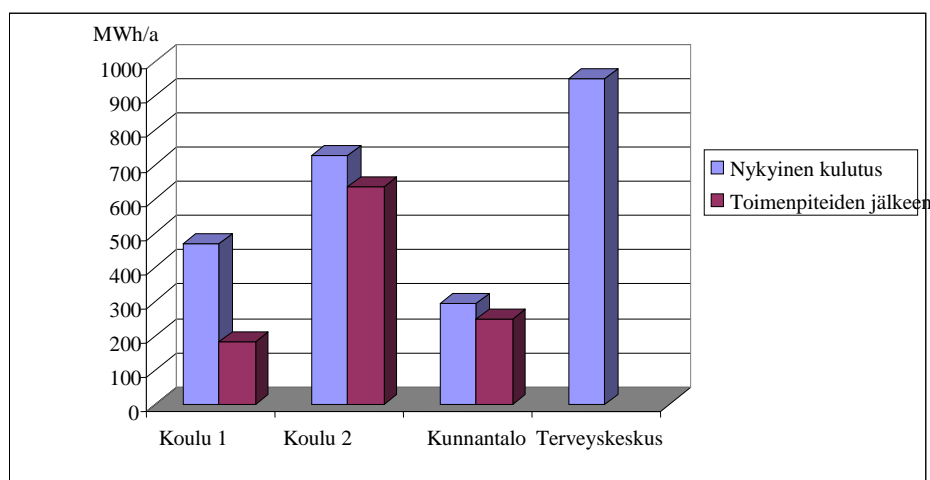
Nykyiset lämmityskustannukset	25 500	€
Nykyinen kulutus	725	MWh
Uusi kulutus	63	MWh
Investointi kustannus - arvio	66 000	€
Säästö	12,1	%
	3000	€/a
Takaisinmaksuaika	21	a

**Taulukko 9.** Ikkunaremontin suuntaa-antava säästövaikutus kunnantalolla. (Piipponen 2010)

Nykyiset lämmityskustannukset	12 900	€
Nykyinen kulutus	296	MWh
Uusi kulutus	248	MWh
Investointi kustannus -arvio	36000	€
Säästö	16,2	%
	2100	€/a
Takaisinmaksuaika	17	a
CO <sub>2</sub> -päästövähennys	2,3	t/a

Terveyskeskuksella oli myös suuri ominaiskulutus, mutta kohteella vierailtaessa selvisi, että ilmoitetut kulutuslukemat ovat vanhentuneet hiljattain tehtyjen uudistusten vuoksi. Lisäksi terveyskeskuksella on oma keittiö, mikä nostaa ominaiskulutuksen arvoa huomattavasti verrattuna vastaavaan terveyskeskukseen, jonka ruoka tulee aluekeittiöltä. Terveyskeskuksen keittiön poistoilmanvaihtoon on lisäksi asennettu lämmön talteenotto, jonka vaikutus kulutukseen ei näy saaduissa kulutuslukemissa. Tietojen perusteella on todennäköistä, että terveyskeskuksen ominaiskulutus on jo hyvällä tasolla laitoksen toimintoihin nähden, joten tässä yhteydessä ei voida tehokkaita toimenpiteitä ehdottaa.

Kuvassa (11) on esitetty tarkasteltujen rakennusten säästöpotentiaali. Työssä käytetty menetelmä on riittävä ottaen huomioon työn alustavan luonteen. Työ toimii pohjana tarkemmille arvioinneille ja tarkoitus oli löytää kohteet, joissa on potentiaalia. Tarkempien tulosten saamiseksi kohteissa täytyy suorittaa mittauksia ilmanvaihdon ja rakennuksen vaipan osalta. Asuinrakennuksissa täytyisi selvittää nykyinen vedenkäytön taso ja laskea lämpimän käyttöveden osuus, että voitaisiin arvioida lämpöenergiansäästöpotentiaalia käyttöveden osalta.



**Kuva 11.** Nykyiset ja toimenpiteillä saavutettavat kulutustasot esimerkkikohteissa (Piipponen 2010)

## **8. ELEMENTTITEHTAAN ENERGIA TEHOKKUUDEN OPTIMOINTI**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla ympäristötekniikan erikoistyöt – kurssilla tehtyyn erikoistyöhön (Karvonen & Sorsa 2010b, s.1-20).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkasteltava kohde on yritys, jonka toimialaa on betonielementtien valmistaminen pääasiassa asuntotuotantoon. Tarkastelun kohteena oli yrityksen tuotantohallin energiankulutus sekä yrityksen sähkönhankinta. Yritys käyttää maakaasua pääasiassa kivimassan ja valupöytien lämmittämiseen. Sähköä kuluu eniten kompressorien ja sähkötyökalujen, kuten villamyllyn käyttämiseen sekä valaistukseen.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Työn tavoitteena oli löytää yrityksen toiminnasta helposti toteutettavia säästötoimenpiteitä. Kohteessa tarkasteltiin merkittävimpiä energiankulutusta aiheuttavia osa-alueita, joilla arvioitiin olevan säästöpotentiaalia pienin investointikustannuksin. Tarkasteltuja osa-alueita olivat hallin lämpöhäviöt ja työntekijöiden toimintakulttuurin vaikutus energiankulutukseen. Tavoitteena oli myös selvittää, olisiko yrityksen sähkönhankinnassa löydettävissä säästöjä. Säästömahdollisuudet selvitettiin laskemalla yritykselle edullisin sähkön siirtotariffi ja varmistamalla, että yritys on kilpailuttanut sähkön ostonsa.

### **Energiatehokkuustarkastelu**

#### **Hallin lämpöhäviöt**

Hallin lämmitykseen käytetään maakaasua, jonka kulutus riippuu selvästi ulkoilman lämpötilasta. Merkittävä osa hallin lämpöhäviöistä johtuu auki olevien ovien kautta vaihtuvasta ilmasta. Tarkasteluun otettiin mukaan lämpöhäviöiden kannalta merkittävimmät ovet (ovet 1,2,3 ja 4). Ovet 1 ja 2 ovat usein auki elementtien lastauksen aikana. Ovea 3 käytetään erityisesti trukilla tapahtuvaan materiaalien siirtelyyn ja oven 4 kautta tuodaan osa toimintaan tarvittavista materiaaleista. Muiden ovien lämpöhäviöt oletetaan käytön perusteella merkittävästi pienemmiksi, eikä niitä tarkastella tässä raportissa.

Oviaukoista aiheutuvaa lämpöhäviötä arvioitiin hallioven lämpöhäviötä kuvaavan käyrästä (Motiva 2009b) avulla. Käyrästä voidaan lukea avoimesta ovesta karkaava lämpöhäviö neliometriä kohden, kun tiedetään ulko- ja sisäilman lämpötilaero ja ns. neutraalitason korkeus, joka erottaa sisään ja ulos menevät ilmavirtaukset toisistaan. Lämpöhäviöt laskettiin talvikaudelle, jolloin häviöt ovat suurimmat. Käyrästä arvioitiin lämpöhäviöksi talvella noin 30 kW/m<sup>2</sup>.

Oville arvioidun keskimääräisen aukioloajan ja rakennuspiirustuksien mukaisten ovien pintaalojen perusteella oville laskettiin lämpöhäviöt. Ovien 1 ja 2 lämpöhäviöksi saadaan noin 130 MWh ja kaikkien neljän oven häviöksi yhteensä noin 160 MWh. Maakaasun keskimääräisenä hintana käytettiin 30 €/MWh. Jos maakaasukattilan hyötysuhteeksi oletetaan 90 %, on talvikaudella ovista aiheutuvan lämpöhäviön kustannukset ovista 1 ja 2 noin 4300 € ja kaikista ovista yhteensä noin 5300 €.

Auki olevan oven lämpöhäviöitä voidaan pienentää usealla tavalla. Pikarullaovet, ilmaverhot ja suikaleverhot pienentävät kaikki oviaukosta siirtyvää ilmavirtaa ja sitä kautta lämpöhäviöt pienenevät (Motiva 2009b). Niiden asennus tapahtuu olemassa olevan oven yhteyteen eikä vanhaan oveen tarvitse tehdä muutoksia. Tarkastelussa selvitettiin näiden kolmen vaihtoehdon sopivuus ja kannattavuus.

Ilmaverhoilla saavutettava lämpöhäviön pienennys on hyvin tapauskohtainen eikä ilmaverholle välttämättä saada aikaan haluttua tulosta. Ilmaverhot ovat myös erittäin kalliita, jolloin takaisinmaksuaika voi venyä hyvin pitkäksi. Pikarullaovien hyödyt ovat vähäiset ovissa, joiden sulkemiselle on jokin este, esimerkiksi rekka, joka ei mahdu kokonaan hallin sisään. Paras hyöty sillä saadaan sellaisissa ovissa, joissa on jatkuvaa liikennettä eikä oven sulkemiselle ole estettä liikennöinnin välillä (Motiva 2009b). Tällainen olisi ovi 3. Liuskaverho on edellä esitellyistä vaihtoehdoista selvästi edullisin ja se voitaisiin asentaa kaikkiin tarkasteltaviin oviin.

Motivan energiakatselmoijan käsikirjan mukaan liuskaverhojen lämpöhäviö on joitain prosentteja auki olevan aukon häviöistä. Investointilaskussa häviön määrä on arvioitu varovaisesti olevan 10 % alkuperäisestä oviaukon lämpöhäviöstä. Näin ollen suikaleverholla voitaisiin säästää 90 % lämpöhäviön aiheuttamista kustannuksista. Liuskaverhon hinnaksi on arvioitu 2000 € kappale (Fenmer Oy, 2009) ovien 1 ja 2 kokoisiin oviaukkoihin. Hinta ei sisällä asennuskustannuksia eikä arvonlisäveroa. Taulukossa (10) on esitetty liuskaverhon asentamisella vähentyvä lämpöhäviö, tämän johdosta säästyvä maakaasun määrä sekä siitä saatava taloudellinen säästö. Säästöä laskettaessa on maakaasun verottomaksi hinnaksi oletettu (maakaasun hinta 30 €/MWh ja kattilan hyötysuhde 90 %)

**Taulukko 10.** Liuskaverhojen asentamisella aikaansaatu säästö (Karvonen & Sorsa, 2009)

<b>Liuskaverho asennetaan:</b>	<b>Vähentävä lämpöhäviö [MWh/a]</b>	<b>Säästyvä maakaasu [MWh/a]</b>	<b>Säästö [€/a]</b>	<b>Koroton takaisinmaksuaika [a] (30 % investointituella)</b>
<b>oviin 1 ja 2</b>	117	130	3900	1 (0,7)
<b>kaikkiin 4 tarkasteltuun oveen</b>	144	160	4800	2 (1,2)

### **Energiansäästöä toimintakulttuuria kehittämällä**

Kenttäkierroksen aikana hallissa huomattiin turhaa työntekijöiden toimintakulttuurista johtuvaa energiankulutusta koskien mm. valaistusta ja paineilmajärjestelmää. Valaistusta pitäisi käyttää tarpeen mukaan. Turhat valot tulisi sammuttaa ja hyödyntää mahdollisuuksien mukaan auringonvaloa. Paineilmajärjestelmän osalta työntekijöiden oikealla toiminnalla voitaisiin vähentää vuotoja. Käyttämättömän liitosputken sulkeminen runkolinjasta olisi helppo tapa välttää turhaa energiankulutusta, koska tällöin saataisiin merkittävä osa vuodoista loppumaan eikä kompressorien tarvitsisi käydä koko ajan. Hiekkapuhalluskompressori, villamylly ja muut koneet/laitteet tulisi käynnistää vain tarvittaessa ja sammuttaa heti käytön jälkeen.

Työntekijöiden asenteiden muuttaminen on usein vaikea ja hidas prosessi. Apuna prosessissa voi käyttää erilaisia kannustinjärjestelmiä, jossa pienentyneestä energiankulutuksesta palkitaan työntekijöitä. Palkitseminen voi tapahtua esimerkiksi ylimääräisten vapaapäivien muodossa tai taloudellisesti. Mikäli työntekijöiden palkassa on jo tuotantolisä, voisi se olla sidottu energiankulutukseen. Näin työntekijät saataisiin kiinnostumaan oman toimintansa energiankulutuksesta. Hallin työnjohtajalla on tärkeä rooli esimerkin näyttämisessä ja työntekijöiden

valvomisessa. Yrityksen kannattaisi myös järjestää työntekijöille koulutusta, jossa painotettaisiin energiansäästön kannattavuutta.

### Sähkön hankinta

Sähkölasku muodostuu myynnistä, siirrosta sekä veroista. Näistä myynnin osuus on sähkölaskusta merkittävin 52 %:n osuudella. Tämä voidaan kilpailuttaa ja kilpailutus kannattaa uusia säännöllisin väliajoin. Säästömahdollisuuksia etsittiin tarkistamalla, onko yrityksellä käytösään edullisin tariffi. Sähkön siirron kustannukset laskettiin paikallisen toimijan tarjoamille yritykselle soveltuville siirtotariffeille. Laskenta osoitti, että yrityksen käytössä oleva tariffi on kolmanneksi kallein tarkastelluista vaihtoehdoista. Halvimmaksi siirtotariffiksi tarkastelujaksolla saatiin tehosähkö 400 V -tariffi. Hinta ero näiden kahden tariffin välillä on noin 560 € tarkastelujakson ajalta. Säästö vuodessa on siis noin 840 €. Hinnat sisältävät arvonlisäveron, mutteivät sähköveroa.

### Johtopäätökset energiansäästöpotentiaalista

Kohteessa käytetään maakaasua pääasiassa kivimassan ja valupöytien lämmitykseen ja sähköä kuluu mm. kompressorien ja sähkötyökalujen, kuten villamylyn käyttämiseen. Maakaasun kulutuksen todettiin riippuvan selvästi ulkoilman lämpötilasta. Potentiaalisena säästökohteena tämän perusteella voidaan pitää hallin ovia. Oviaukoista aiheutuvaksi lämpöhäviöksi arvioitiin Motivan käyrästä pohjalta noin 160 MWh kuuden talvikuukauden aikana, jolloin häviöt ovat suurimmat. Kustannustehokkaimmaksi ratkaisuksi lämpöhäviöiden pienentämiseksi osoittautuivat liuskaverhot. Taulukkoon (11) on koottu tarkasteltujen osa-alueiden säästöpotentiaalit, investointikustannukset ja ehdotetut toimenpiteet. Taulukossa on myös esitetty hiilidioksidipäästöt, jotka on laskettu Suomen keskimääräisellä sähkönhankinnan CO<sub>2</sub>-päästökertoimella K<sub>2</sub> (vuonna 2004 K<sub>2</sub>=200 kgCO<sub>2</sub>/MWh (Suomi ym.,2004)).

**Taulukko 11.** Yhteenveto energiansäästötoimenpiteistä (Karvonen & Sorsa, 2009)

Toimenpiteen kuvaus	Säästö-potentiaali [€/a]	Säästö-pot. [MWh/a]	CO <sup>2</sup> -päästö-väh. [tCO <sup>2</sup> /a]	Investointi [€]	Takaisinmaksu-aika [a]	Huomioita / jatkotutkimustarve
Liuskaverhojen asentaminen	4800	160	32	8000	2	Investointiin olisi mahdollista saada TE-keskukselta energiatukea enimmillään 30 %.
Siirtotariffin vaihtaminen	840			0	0	Halvin tariffi: tehosähkö 400 V
Paineilmajärjestelmän liitosputkien sulkeminen runkolinjasta	Vähentää painehäviöitä ja sitä kautta kompressorin kuluttamaa sähköä			0	0	Työntekijöiden motivoimiseksi kannattaa harkita koulutusta ja/tai taloudellisia kannustimia. Säästön määrän arviointi on hankalaa ilman laajempia tutkimuksia
Koneiden sammuttaminen, kun niitä ei enää käytetä	Näillä keinoilla saataisiin aikaan nopeita säästöjä ilman investointeja.					
Turhien valojen sammuttaminen						

## **9. VALAISTUKSEN ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET VOIMALAITOKSELLE**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin tutkinnon opinnäytetyöhön (Stålhandske 2010, s.1-37).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohteena on voimalaitoksen valaistuksen energiatehokkuus. Voimalaitos koostuu useista rakennuskokonaisuuksista, joita ovat prosessitilat, niiden apurakennukset sekä toimistorakennukset.

Laitoksen toimistotiloissa valaisimet ovat yleisesti 36W – 58W T8- Aura Ultimate Long Life-loistelamppuvalaisimia, joiden etuina on muun muassa korkea elinikä, jopa 84 000 h. Työpis-teillä on myös erillisiä kohdevalaisimia työn tarkkuuden ja vaatimusten mukaan. Valojen sammutus on työntekijöiden vastuulla. Käytännössä valot saattavat olla päällä yötä päivää. Ongelmallisimpia ovat avokonttoritilat, joissa toimii paljon ihmisiä ja valojen sammutusvas-tuun kohdistuminen on epäselvä.

Prosessitiloissa valaisimet ovat pääasiassa 36W – 58W T8- loistelamppuvalaisimia. Prosessi-tiloja valaistetaan lisäksi myös suurpainenatriumvalaisimilla sekä varavalaisimina käytetään halogeenivalaisimia. Tasasähköllä syötetyt turva- ja merkkivalaisimet ovat pääasiassa hehku-lamppuvalaisimia. Toimistotilojen tapaan myös prosessitiloissa valaisimet ovat päällä jatku-vasti, vaikka tiloissa ei aina työskennelläkään.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Työssä on tarkoituksena selvittää, millainen säästövaikutus olisi mahdollista saavuttaa valais-tuksen ja sen ohjauksen energiatehokkuuteen tähtäävillä muutoksilla. Energiatehokkaampien lamppuratkaisujen lisäksi muutosmahdollisuuksissa otetaan huomioon valaistuksen vähentä-miseen, säätämiseen ja ohjaukseen liittyvät toimenpiteet. Tarkastelussa otetaan huomioon myös valaistusmuutoksen mahdollisesti aiheuttama lämmitystarpeen kasvaminen. Erityis-huomiota työssä kiinnitetään viimeaikoina markkinoille tulleiden LED- valojen hyödyntä-mismahdollisuuksiin voimalaitoksella. Tarkoituksena on myös tutkia LED- valojen hyviä ja huonoja puolia ja vertailla niiden ominaisuuksia nykyisin laitoksella käytettäviin loisteputki-valaisimiin. Tavoitteena on tutkia koko laitoksen energiansäästömahdollisuuksia valaistuksen käytön tehostamisen suhteen. Selvityksen lähtömateriaalina käytetään mm. vuonna 2000 voi-malaitokselle tehtyä energiansäästöselvitystä. Kohteeseen suoritetaan myös kenttätutkimuk-sia.

### **Energiatehokkuusanalyysi**

Alla on yhteenvedomaisesti kerrottu analyysin lopputuloksena kohteeseen suositeltavat ener-giansäästötoimet. Investointien kannattavuutta on herkkyytarkasteltu kolmella eri sähkön-hinnalla. Eri vaihtoehtojen energiankulutukset on laskettu valaisimen ottaman tehon ja käyttö-ajan perusteella.



### Läsnäolotunnistimen lisääminen valvonta-alueen prosessitilaan

Läsnäolotunnistimen käytöllä saadaan valot palamaan vain silloin, kun huonetilassa työskennellään. Läsnäolotunnistimen käyttö soveltuu parhaiten laitoksella prosessitiloihin, koska tiloissa liikutaan vähän ja tilat ovat rakenteeltaan usein sellaisia, että yhdellä tunnistimella pystytään ohjaamaan koko huonetilaa. Toimistorakennuksissa yksittäisissä huonetiloissa valaistus sammutetaan tehokkaasti työajan ulkopuolella, joten läsnäolotunnistimien investointi olisi turhaa. Ryhmätyöskentelytilojen rakenne estää läsnäolotunnistimien järkevän käytön, koska tunnistimia jouduttaisiin asentamaan käytännössä jokaisen työpisteen yläpuolelle, jolloin investointikustannukset nousisivat liian suuriksi.

Tarkastellaan tunnistimen lisäämistä valvonta-alueen prosessitilaan. Energiansäästö prosessitilan huoneittain riippuu siitä, kuinka paljon huoneessa oleskellaan. On siis vaikea antaa tarkkaa arviota energiansäästöstä, mutta suuntaa antavien tulosten perusteella voitaisiin valaistuksen energiankulutusta vähentää jopa puoleen läsnäolotunnistimella. Taulukossa (12) on esitetty huonekohtainen energiansäästöpotentiaali läsnäolotunnistimen lisäämiselle. Vaikka tunnistin vähentäisi energiankulutusta puolella, on tarvittava investointi kuitenkin niin suuri (600€), että takaisinmaksuajat venyvät pitkiksi. Toisaalta laitoksilla on tällä hetkellä käyttöaikaa 17 – 20 vuotta, joten investointi tulisi kuitenkin maksamaan itsensä takaisin tässä ajassa. Kovin kannattavana ei investointia kuitenkaan voi pitää.

**Taulukko 12.** Huonekohtainen investoinnin takaisinmaksuaja (investointi on yksi tunnistin).  
(Stålhandske 2010)

Sähkön hinta [€/MWh]	Polttoaika [h/a]	Säästö vuodessa [€/a]	Laitteen hinta [€]	Koroton takaisinmaksuaja [a]
30	4380	42,0	600	14,3
40	4380	56,1	600	10,7
50	4380	70,1	600	8,6

### Kellokytkimen lisääminen toimistohuoneeseen

Kellokytkimellä voidaan valaistus ajastaa käyttöön sille aikavälille, kun huonetilassa yleisesti työskennellään. Kytkin pitää siis valot päällä yhtäjaksoisesti ennalta määrätyn ajan, jonka jälkeen joko kaikki tai osa valoista sammuu. Mikäli huonetilaan jäädytään työskentelemään poikkeuksellisesti normaalin työajan ulkopuolelle, voidaan valaistuksen sammuminen estää painamalla erillistä lisäaikakytkintä.

Kellokytkimet soveltuvat laitoksella parhaiten toimistorakennukseen, koska kytkimillä voidaan hallita suuria työskentelytiloja helposti. Prosessitiloissa kytkimen käytöllä olisi työturvallisuutta heikentäviä vaikutuksia, koska valot voisivat sammua vaikka tilassa työskenneltäisiin. Vaikka käytettäisiin lisäaikapainikkeita, joilla työntekijä voisi säätää valoille lisäpaloaika työskentelyajaksi, niin riski valojen sammumiselle on silti olemassa, mikäli työntekijä vahingossa unohtaa painiketta painaa.

Tarkastellaan kellokytkimen asentamista toimistohuoneeseen. Investointikustannusten takaisinmaksuajat ovat esitettyinä taulukossa (13). Tuloksissa on huomioitu myös jäädytystarpeen vähenemisen tuoma kustannussäästö. Tuloksista havaitaan, että tällä menetelmällä päästäisiin riittävän suuriin vuotuisiin energiasäästöihin, jotta investointi kannattaisi toteuttaa. Esimerkkitalana tarkastellun konttorin investointikustannukset kellokytkimen asentamiselle olisivat noin 5000 euroa ja laskentatulosten perusteella takaisinmaksuajat olisivat parin vuo-

den mittaisia. Voimalaitoksella on samankaltaisia avokonttoreita useita, joihin jokaiseen kyseinen toimenpide-ehdotus olisi sovelias toteutettavaksi.

**Taulukko 13.** Kellokytkimen asentamisen investointikustannukset esimerkkikonttorissa. (Stålhandske 2010)

Sähkön hinta [€/MWh]	Säästö vuodessa [€/a]	Investoinnin hinta [€]	Koroton takaisinmaksuaika [a]	Korollinen takaisinmaksuaika [a]
30	2300	5000	2,2	2,4
40	3065	5000	1,6	1,8
50	3830	5000	1,3	1,4

### Led- valaisimet

Led- valaisimien yhtenä ongelmana on, ettei niistä saada luotettavaa tietoa. Tarkastelun puitteissa haastateltiin Led- valoja Suomeen tuovan yrityksen toimitusjohtajaa. Hänen mukaansa kuluttajien on vaikeaa saada luotettavaa tietoa ledeistä, koska minkäänlaista standardisointia ei testauksessa vielä ole. Hän ei kuitenkaan vielä suositellut Led- valojen käyttöönottoa laitokselle, mikäli tarkoituksena on ainoastaan energiansäästö. Led- valot ovat hänen mukaansa vielä niin kehitysasteella ja koska kehitys tulee jatkossa olemaan nopeaa, ei pitkäaikaisia sijoituksia ledeihin kannata juuri nyt tehdä. Tulevaisuudessa hänen mukaansa Led- valot kuitenkin ovat tulossa haastamaan loistevalaisimet tehokkuudellaan.

Led- valoja mainostetaan vähän energiaa kuluttavina valaisimina. Mikäli halutaan käyttää suoraan loistevalaisimien tilalle sijoitettavia valaisimia niin, että saadaan aikaiseksi sama valomäärä, tarvitsee ledejä sijoittaa valaisimeen niin monta, että päädytään samansuuruisiin teholukemiin. Energiansäästöä ei siis saavuteta. Ledeille luvataan myös pitkiä elinikiä, mutta haastatellun toimitusjohtajan mukaan laitoksella nykyisin käytössä olevat Aura Ultimate Long Life-loistelamppuvalaisimet pääsevät samansuuruisiin, jopa korkeampiin elinikiin.

## **10.SÄHKÖENERGIAN SÄÄSTÖPOTENTIAALI KUNNAN OMISTAMISSA KIINTEISTÖISSÄ**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin tutkinnon opinnäytetyöhön (Tapanen 2010, s.1-31).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohteena oleva kunta on mukana hiilineutraalit kunnat -hankkeessa (HINKU), johon liittyen kunnan kiinteistöjen energiankulutuksesta aiheutuvaa hiilijalanjälkeä pyritään pienentämään. Tässä työssä tarkastellaan kiinteistöjen energiankulutusta ja etsitään sitä kautta mahdollisuuksia pienentää kunnan energiankäyttöä ja vähentää hiilidioksidipäästöjä. Tarkastelun kohteena olevan kunnan hiilidioksidipäästöt tulevat pääosin laajasta maataloudesta, mutta tämä työ rajoittuu vain energiansäästökohteiden etsimiseen kunnan rakennuskannasta.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Työ suoritetaan kiireisellä aikataululla, joten työn päätavoitteena on löytää kunnan rakennuskannasta kohteet, joita olisi hyödyllistä tarkastella lähemmin. Potentiaalisimpiin kohteisiin suoritetaan kenttäkierros, jonka aikana pyritään löytämään syitä kohonneeseen sähkönkulutukseen. Tutkimuksen tavoitteena on löytää kunnan rakennuskannasta helposti toteutettavia energiansäästötoimenpiteitä sekä toimia pohjana tuleville energiansäästöselvityksille.

### **Energiansäästötarkastelu**

Tarkastelu aloitetaan kartoittamalla energiansäästön kannalta potentiaalisimmilta vaikuttavat kiinteistöt. Kunnan rakennuskannan energiankulutustietojen avulla voitiin laskea kiinteistöille ominaisenergiankulutuksia. Näitä verrattiin Motivan julkaisemiin lukemiin samasta rakennustyyppistä (Motiva Oy 2009c). Kiinteistöistä löytyi viisi kohdetta, joissa oli selkeästi suuremmat energiankulutusarvot kuin saman tyyppin rakennuksissa keskimäärin. Tarkastelun kohteiksi valikoitui kaksi koulua, terveyskeskus, vanhainkoti ja kunnantalo. Näissä kohteissa suoritettiin tarkastuskäynnit kulutuksen painopisteiden selvittämiseksi.

### **Energiansäästöpotentiaali**

#### **Koulu 1**

Kenttäkierroksella koululla 1 tehtiin huomioita, jotka viittasivat siihen, että ilmanvaihdon säätöihin kannattaisi kiinnittää huomiota. Ilmavirrat ovat siellä huomattavan suuret tarpeeseen nähden ja ilmanvaihdon tulolämpötila on liian korkea. Ilmanvaihdon säätö ja tasapainotus on pääasiallinen korjaustoimenpide, jolla voidaan säästää energiaa niin sähkön kuin lämmön osalta kohtuullisen pienillä investointikustannuksilla.

Esimerkiksi yöaikaan ilmanvaihdon ajaminen täydellä teholla on tarpeetonta. Ilmanvaihdon optimoinnin säästöpotentiaali ja arvioitu investointikustannus löytyy taulukosta (14). Ilmanvaihdon säädön ja tasapainotuksen arvioitiin kustantavan noin 2000 euroa. Tuloksissa on huomioitava, että tarkkoja mittauksia ei tehty, vaan laskelmissa käytetyt ilmavirrat perustuvat ilmanvaihtokoneen omaan mittariin.

**Taulukko 14.** Koulun 1 ilmanvaihdon optimoinnin sähköenergian säästöpotentiaali. (Tapanen 2010)

Nykyinen kulutus		Säästöpotentiaali			Kokonaisinvestointi	
116	MWh/a	75	MWh/a	64	%	2 000 EUR
8 973	EUR/a	5 784	EUR/a	64	%	

Ilmanvaihtokoneen mittareiden perusteella koulu 1 on reilusti ylipaineinen. Sisä- ja ulkolämpötiloilla on asiaan vaikutusta, mutta ongelma voidaan korjata ilmanvaihdon säädöllä. Rakennuksen pitäisi olla hieman alipaineinen, jotta vältetään lämpimän ilman karkaaminen ja kosteuden siirtyminen rakenteisiin. Ylipaineisessa talossa kosteus siirtyy rakenteisiin ja voi aiheuttaa jopa homeongelman.

Sähkönkulutuksen kannalta ei koululla 1 kenttäkierroksen yhteydessä noussut esiin ilmastointikoneen lisäksi juurikaan parannettavaa. Valoja ei pidetty turhaan päällä, atk-laitteet olivat suljettuina kun niillä ei ollut käyttäjiä ja keittiössä ei ollut suuria määriä energiaa kuluttavia koneita.

## Koulu 2

Toimenpide-ehdotuksena koululle 2 on vähentää turhaa valaistusta ja hyödyntää entistä paremmin luonnonvaloa käyttäen hyväksi rakennukset runsasta ikkunoiden määrää. Valaistuksen osalta kannattaa myös panostaa energiatehokkaisiin valaisimiin etenkin tiloissa, joissa oleskellaan paljon ja tarvitaan runsasta valaistusta. Säästöjä on saatavissa myös korvaamalla kohteessa olevia keittiökalusteita uudemmilla ja energiataloudellisimmilla laitteilla. Koulun sähköenergian nykyinen kulutus, säästöpotentiaali ja kokonaisinvestointi on esitetty taulukossa (15).

**Taulukko 15.** Koulun 2 sähköenergian säästöpotentiaali (Tapanen 2010)

Nykyinen kulutus		Säästöpotentiaali			Kokonaisinvestointi	
120	MWh/a	10	MWh/a	8	%	2 000 EUR
10 700	EUR/a	892	EUR/a	8	%	

Säästöpotentiaali on arvioitu siten, että valaistuksen osuudeksi on oletettu 30 % sähköenergian kulutuksesta ja lamppujen vaihdon jälkeen valaistuksen sähkönkulutuksen on arvioitu laskevan 25 %. Keittiön laitehankinnat vähentävät sähkön kulutusta arviolta 6 MWh/a (0,5 %). Kokonaisinvestoinnin suuruudeksi on arvioitu 2 000 €, jolloin takaisinmaksu-ajaksi tulee 2,2 vuotta. Investointikustannukset muodostuvat neljästä uudesta keittiölaitteesta, jotka korvaavat vanhat pakastimet ja jääkaapit uudempiin ja energiatehokkaampiin.

## Terveyskeskus

Toimenpide-ehdotukset terveyskeskuksessa ovat aluekeittiön laitekannan tarkempi sähköenergian kulutuksen kartoittaminen. Tarvittaessa laitteita tulisi korvata uusilla ja energiatehokkaammilla. Etenkin keittiön kylmälaitteet ja runsaasti sähköä kuluttavat uunit tulisi tarkastaa. Muutoin sähkönkulutusta kunnan terveyskeskuksessa on mahdollista pienentää mm. vä-

hentämällä turhaa valojen päällä pitoa, sähkölaitteiden virransäästö- ja lepotiloja hyödyntämällä sekä sulkemalla käyttämättömiä sähkölaitteita kokonaan.

Taulukossa (16) on esitetty terveystakeskuksen nykyinen sähköenergian kulutus, kohteen säästöpotentiaali ja kokonaisinvestoinnin suuruus. Säästövaikutus terveystakeskuksessa perustuu lähinnä valaistuksen käytön tehostamiseen ja aluekeittiön laitekannan energiatalouden parantamiseen. Säästöpotentiaalilaskennassa on oletettu, että valaistuksen osuus kulutuksesta on 40 % ja valaistuksen tehostaminen sekä matalaenergia lamppujen käyttöönotto vähentää valaistuksen kulutusta 25 %. Keittiön laitehankintojen säästövaikutukseksi on arvioitu varovaisesti 1 % (5,7MWh/a). Aluekeittiön laitehankintojen hinnaksi on arvioitu 5000 euroa. Valaisimien hankinta ei lisää investointikustannuksia, jos se toteutetaan normaalien huoltojen yhteydessä korvaamalla palaneet valaisimet uusilla matalaenergiavalaisimilla. Säästötoimenpiteillä on arvioitu saavutettavan 21 tCO<sub>2</sub>/a päästövähennys sähköenergian tuotannossa.

**Taulukko 16.** Terveystakeskuksen sähköenergian säästöpotentiaali. (Tapanen 2010)

Nykyinen kulutus		Säästöpotentiaali			Kokonaisinvestointi		
562	MWh/a	60	MWh/a	11	%	5 000	EUR
44 590	EUR/a	4 760	EUR/a	11	%		

### Kerrostalo

Tarkasteltavan kerrostalon osalta toimenpide-ehdotuksiin lukeutuu etenkin kylmälaitteiden uusiminen asuntojen keittiöihin ja hehkulamppuvalaisimien korvaaminen energiatehokkaammilla matalaenergia valaisimilla. Kohteessa käytettyjen siirrettävien sähköpattereiden kulutuksen vähentäminen edellyttäisi rakennuksen ikkunoiden ja ovien uusimista, ja on sen takia enemmänkin lämpöenergian säästöpotentiaalilaskennan kartoitukseen kuuluva toimenpide. Kerrostalon sähköenergian nykyinen kulutus, säästöpotentiaali ja kokonaisinvestointi on esitetty taulukossa (17).

**Taulukko 17.** Kerrostalon sähköenergian säästöpotentiaali. (Tapanen 2010)

Nykyinen kulutus		Säästöpotentiaali			Kokonaisinvestointi		
51	MWh/a	19	MWh/a	37	%	4 300	EUR
4 549	EUR/a	1 705	EUR/a	37	%		

Toimenpiteiden arvioitu säästövaikutus kerrostalossa on 37 % kohteen sähköenergian kulutuksesta. Sähköenergian osalta säästöpotentiaali on 19 MWh/a ja saavutettava säästövaikutus on noin 1 700 € vuodessa. Kokonaisinvestoinnin suuruudeksi on arvioitu 4 300 €, jolloin takaisinmaksuajajaksi saadaan 2,5 vuotta. Investointikustannukset muodostuvat kahdeksasta uudesta ja energiatehokkaasta jääviileäkaapista (4 000 €) ja matalaenergia lampuista asuntoihin (300 €).

## **11.OPETUSRAKENNUKSEN ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUDET**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn diplomityöhön (Rantula 2010, s.1-118).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkasteltava kohde on korkeakoulu – ja tutkimuslaitosrakennus. Se koostuu seitsemästä eri rakennuksesta ja bruttopinta-ala rakennuksilla on yhteensä 62901 m<sup>2</sup> ja rakennustilavuus 255908 m<sup>3</sup>. Rakennuksissa on toimisto- ja opetustilojen lisäksi tutkimus- ja opetuslaboratorioita sekä yksi ruokala ja kaksi kahvilaa. Vuonna 2009 kohteen kokonaisenergiankulutus oli 16000 MWh, josta sähkön osuus on 40 % ja lämmön osuus 60 % MWh. Huomattavaa on sähkönkulutuksen suuri osuus kokonaisenergiankulutuksesta.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Työn tarkoitus on selvittää kohteen energiankäytön nykytila ja sen potentiaaliset tehostamismahdollisuudet. Selvityksen lopputuloksina ehdotetaan kannattavia energiansäästötoimia seuraavalle viidelle vuodelle.

### **Energiankulutustarkastelu**

Ensin tarkastellaan kohteen energian kokonaiskulutusta ja jaetaan se osiin rakennuksen eri osien kesken. Opetusrakennuksen lämmön ja veden kulutusta tarkastellaan kerättyjen kulutus-tietojen pohjalta. Lämmönkäytön tehostamistoimenpiteiden analysoinnissa käytetään apuna kohteen tiloista otettuja lämpökuvia. Sähkönkulutuksesta tehdään tarkempi analyysi ja selvitetään mm. syitä korkeaan pohjakuormaan sekä selvitetään huipputehojen esiintymisajat ja kei-not kuinka niitä voidaan pienentää. Lopuksi esitetään potentiaalisia energiatehokkuustoimen-piteitä seuraavan viiden vuoden ajalle sekä arvioidaan niiden kannattavuutta mm. investoinnin takaisinmaksuajan näkökulmasta.

### **Energiansäästöpotentiaali**

Tarkasteltava kohde on merkittävä energiankuluttaja. Energiankulutuksen kokonaiskustannus on vuosittain yli 1,1 M€. Kohteen energiankulutus on kasvanut vuosi vuodelta, vaikka tavoit-teena on ollut kulutuksen pienentäminen. Sähkönkulutuksen kasvu on ollut tasaista, ja suurin yksittäinen selittäjä on tietotekniikan lisääntyminen. Lämmönkulutus taas on kasvanut siitä huolimatta, että vuodet ovat olleet keskimääräisiä lämpimämpiä.

Energian käytön tehostamiseksi löytyi kuitenkin useita käyttökelpoisia keinoja. Tutkittavien rakennusten laajuuden takia työssä tyydyttiin tarkastelemaan kokonaiskuvaa. Eri rakennusten-järjestelmiä ei analysoitu tarkemmin, mutta silti työssä löydettiin lukuisia keinoja vähentää niin sähkön kuin myös lämmön kulutusta. Lisäksi löytyi jatkoselvityksiä vaativia toimia. Säh-könsäästöpotentiaaliksi laskettiin n. 10–20 % ja lämmön osalta säästöpotentiaali on n. 15–30 %. Energiansäästötoimenpiteitä löydettiin mm. valaistuksesta, toimistokoneiden käytöstä, ilmastointijärjestelmästä, lämmitysjärjestelmästä ja rakennusteknisistä asioista (ikkunat ja ovet). Toimenpiteet on kuvattu yksityiskohtaisemmin alkuperäisessä raportissa.

Energiansäästö edellyttää jatkuvaa panostusta ja energiankulutuksen seurantaan. Tähän osaluokkaan on järkevää kiinnittää nykyistä enemmän huomiota, sillä pysyviä alamittauksia eri rakennuksissa ei ole käytössä juuri lainkaan. Alamittaukset kannattaa toteuttaa niin lämmölle kuin myös sähkölle ainakin sillä tarkkuudella, että jokaisen rakennuksen lämmönjakohuoneissa ja sähköpääkeskuksissa olisi tallentavat mittarit, mistä tieto välittyisi etäluettavaan tietokantaan. Myös suurimpien ilmastointikoneiden ja muutamien valaistuskiskojen sähkönsyöttöön kannattaa asentaa pysyviä tehomittareita. Alamittausten avulla kiinteistöistä saataisiin parempi kokonaiskuva ja syyt energiankulutuksen epänormaaleihin kulutuslukemiin olisi helpompi löytää. Näin esimerkiksi erilaisten valaistusratkaisujen todellinen kulutus paljastuisi ja alamittaukset helpottaisivat myös energiankäytön tehostamistoimenpiteiden, kuten valojen ohjauksen, lamppujen vaihdon tai ilmastoinnin käyntiaikojen optimoinnin vaikutusten seuraamista kiinteistön energiankulutukseen.

Tarkasteltavan opetusrakennuksen kannattaisi tehdä pitkäaikavälin energiansäästösuunnitelma, jossa listataan ne keinot, mihin halutaan vaikuttaa sekä asetetaan tavoitetasot niin sähkön, lämmön kuin veden kulutukselle. On myös järkevää laatia alustava suunnitelma kuinka tavoitteet aiotaan saavuttaa. Suunnitelma on syytä tehdä aluksi seuraavalle viidelle vuodelle. Tavoitteen pitää olla riittävän maltillinen, jotta se on realistista saavuttaa. Järkevä lähtötavoite on asettaa lämmön osalle 10 %:n ja sähkön osalle 5 %:n säästötavoite vuoden 2009 tasosta. Energiatohokkuuden parantamistoimista vastamaan olisi myös syytä nimetä tai palkata henkilö, joka koordinoi energiatohokkuuden tehostamistoimenpiteitä ja organisoii tarvittavia mittauksia.

## **12.KUNNAN KIINTEISTÖJEN ENERGIANSÄÄSTÖPOTENTIAALI**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn diplomityöhön (Tainio 2010, s.1-108).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohteena ovat kolme suomalaista HINKU-kuntaa. Kunnat ovat mukana Kohti hiilineutraalia kuntaa (HINKU) -hankkeessa ja ovat lupautuneet toimimaan pienoislaboratoriona hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi EU:n asettamia tavoitteita enemmän ja nopeammin. Työn kokeellisessa osassa tutustuttiin aluksi energiankäytön säästö- ja tehostamismahdollisuuksiin eräässä pienessä maalaiskunnassa (Kunta 1). Myöhemmin työ laajennettiin koskemaan myös kahta muuta pientä kuntaa (Kunnat 2 ja 3).

### **Tarkastelun tavoitteet**

Tarkastelun tavoitteena on selvittää kolmen kunnan kiinteistöjen energiansäästö- ja tehostamispotentiaali ja parannustoimenpiteiden kustannusnäkökohdat käyttämällä hyväksi energiankäytön historiatietoja, reaaliaikaista energiankäytönmittausta, vedenkulutustietoja sekä vuorovaikutteista kiinteistöjen hoitajien ja käyttäjien aivoriihi-ideointia. Tavoitteena on myös selvittää ne kiinteistöt, joihin tehdään varsinainen energiakatselmus.

### **Energiansäästötarkastelu**

Tarkastelun lähtötietoina käytettiin kuntien kiinteistöjen perustietoja sekä kulutuslukemia, jonka jälkeen kiinteistöihin tutustuttiin kiinteistöhoitajan avustuksella. Perustietoihin kuuluivat kerrosalat, rakennus-, laajennus- ja peruskorjausvuodet, kiinteistötunnukset, käyttöpaikannukset, osoite, yhdyshenkilö eli kiinteistöhoitaja sekä lämmitysmuoto. Kerätyt kulutuslukemia ovat kiinteistöjen lämmön-, sähkön- ja vedenkulutuslukemat vähintään kahdelta edelliseltä vuodelta. Tämän jälkeen pyrittiin identifioimaan säästötoimet muutamien yritysten sekä vuorovaikutteisesti kiinteistöhoitajien kanssa. Säästötoimien vaikuttavuuden arvioinnissa hyödynnettiin sähkön- ja lämmön tuntimittarointia.

#### **Kunta 1**

Ensin tarkasteltiin listaa kunnan kiinteistöistä. Tarkastelusta rajattiin välittömästi pois vähäisen kulutuksen johdosta muutamia kohteita. Seuraavaksi kerättiin listaan tietoja kiinteistöjen energian- ja vedenkulutuksesta vuosilta 2007 ja 2008. Jokaisesta kiinteistöistä tehtiin kiinteistökortti, johon pyrittiin keräämään kiinteistön perustiedon ohella myös tietoa energiankulutukseen vaikuttavien tekijöiden muutoksista. Tietoa kerättiin kunnan työntekijöiden avustuksella laskuista ja kunnan kirjanpidosta sekä kiertämällä kohteita kiinteistöhoitajien kanssa. Kiinteistökiertoilla saatiin hyvä käsitys rakennusten nykytilasta.

Lämmityksen osalta Kunnassa 1 oli juuri siirrytty pääosin kaukolämpöön, mutta keskustan ulkopuolella oli vielä useassa kohteessa myös öljykattiloita, joista osa oli jo palvellut käyttökänsä loppuun. Ilmanvaihtokoneet käyvät yleensä täydellä teholla silloin kun rakennuksissa on toimintaa. Iltaisin ja öisin ne ovat joko puolella teholla tai kokonaan sammuksissa. Lisäksi käytössä on pakkasrajat, jotka laskevat ilmanvaihdon puoliteholle lämpötilan alittaessa määrätyn pisteen. Useassa kohteessa tämä piste on  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nykyaikaisissa ilmanvaihtojärjestelmis-



sä on yleensä jo taajuusmuuttaja, mutta sen koko potentiaalia hyödynnetään lähinnä liikuntasaleissa, joissa on CO<sub>2</sub>-ohjaus. Muissa kohteissa taajuusmuuttajalle on yleensä ohjelmoitu kaksi asentoa, jotka ovat täysi- ja puoliteho.

Käytössä oleva valaistus on pääsääntöisesti 36 ja 58 watin T8-loistelamppuja, joissa on käytössä yleissytytin ja kuristin. Lisäksi monissa kohteissa on hehkulamput korvattu energiansäästö- eli pienloistelampuilla. Kunnassa pohdittiin myös LED-valaistusta. Soveltuvimmiksi kohteiksi LED-valaistukseen arvioitiin alustavasti terveyskeskuksen vuodeosaston, sekä vanhainkodin käytävien noin 140:n 36 watin loisteputkien korvaaminen LED-putkilla, koska näissä kohteissa valot ovat lähes aina päällä. Vanhainkodista löytyi myös muita kehityskohteita valaistuksen osalta.

Kunnan tietokoneiden asetuksissa huomattiin näytön sammuvan 15 minuutin käyttämättömyyden jälkeen, mutta muita energiansäästöasetuksia ei ollut käytössä ja niiden käyttöönottamisenkin oli estetty.

## **Kunta 2**

Kunnassa 2 työ alkoi kuten Kunnassa 1, eli ensin kerättiin perustietoja kiinteistöistä. Työstä jätettiin pois kunnan omistamien kiinteistöasakeyhtiöiden kiinteistöt, koska yksityisten ihmisten asuntoihin meneminen ei tuntunut työn puitteissa mielekkäältä. Lisäksi pois jätettiin muutamia muita rakennuksia. Tarkasteluun valituista rakennuksista kunnassa 2 rakennuksista oli tiedossa myös tilavuudet, mikä auttoi ominaiskulutusten laskennassa. Ongelmia tuotti kunnan järjestely, jossa se on vuokrannut kiinteistöt eteenpäin yksityisille tahoille siten, että vuokraaja maksaa itse suoraan kaiken käyttämänsä energian ja suorittaa peruskorjaukset. Kiinteistökierrokset tehtiin Kunnassa 2 samalla tavalla kuin Kunnassa 1.

Myös Kunnassa 2 oli juuri siirretty kaukolämpöön, eikä sen ulkopuolella enää ollut kuin muutama suorasähkölämmitteinen kiinteistö. Näidenkin liittämistä kaukolämpöön oli suunniteltu. Ilmanvaihdon osalta kunnassa löytyi säästöpotentiaalia, koska ilmanvaihtokoneet pidettiin päällä öisin ja viikonloppuisin eräällä koululla. Tietokoneista suuri osa oli päällä öisinkin, samoin kuin Kunnassa 1.

## **Kunta 3**

Kunnassa 2 työhön oli vakiintunut jo melko selkeä käytäntö ja työ eteni kuten Kunnassa 2. Kunnassa 3 ei ollut kartoitusta aloitettaessa rakennusmestaria, mikä vaikeutti tietojen keruuta. Kunnassa ei ollut seurattu kulutuksia, eikä kovin tarkasti peruskorjauksia eikä laajennuksia. Sähkönkulutustiedot saatiin kuitenkin sähköyhtiön verkkopalvelusta ja öljyn kulutuksesta arvio kiinteistöhoitajilta ja laskuista. Vedenkulutuksen arvioitiin olevan koko kunnan kiinteistökannan tasolla samaa luokkaa kuin Kunnassa 2. Myös Kunnassa 3 jätettiin edellä mainituista syistä osa kiinteistöistä tarkastelun ulkopuolelle.

Kunnassa 3 kiinteistöjen lämmitysjärjestelmänä oli pääsääntöisesti öljykattila, mutta myös suorasähkölämmitteisiä kiinteistöjä oli huomattavasti kahta muuta tarkasteltavaa kuntaa enemmän. Öljykattiloita ei ole uusittu, eikä vaihtoehtoisia ratkaisuita otettu käyttöön, koska kunnassa on jo vuosia mietitty kaukolämpölaitoksen rakentamista. Ilmanvaihtokoneet toimivat kunnan kiinteistöissä pääsääntöisesti tarpeenmukaisesti, eikä toimistokoneistakaan suurta säästöpotentiaalia löytynyt.

## Säästöpotentiaali ja energiakatselmukseen ohjattavat kohteet

Taulukossa (18) on esitetty nykyinen energiankulutus ja tarkastelun tuloksena löydetty energiansäästöpotentiaali takaisinmaksuaikoinen. Työssä säästöä tuovat toimenpiteet on luokiteltu välittömästi toteutettaviin toimenpiteisiin ja myöhemmin toteutettaviin toimenpiteisiin. Välittömästi toteutettaviin toimenpiteisiin on valittu toimet, joiden kustannus on korkeintaan tuhat euroa ja takaisinmaksuaika korkeintaan yhden vuoden. Myöhemmin toteutettavat toimenpiteet ovat toimia, jotka vaativat yli tuhannen euron panostuksen tai joiden takaisinmaksuaika on yli vuoden. Osa toimenpiteistä on myös sellaisia, joiden osalta voisi olla vielä viisasta odottaa hetki tekniikan kehittymistä ennen sovellusten laajempaa käyttöönottoa.

**Taulukko 18.** Tarkastellut kunnat ja niiden nykyinen energiankulutus euroiksi muutettuna vuositasolla, välittömien toimien saatava säästöpotentiaali, myöhemmin toteutettavien toimien säästöpotentiaali, säästöpotentiaalit prosentteina ja toimien koroton takaisinmaksuaika. (Tainio 2010)

Kohde	Nykyinen energiankulutus [€/a]	Välittömien toimien säästöpotentiaali [€/a]	Välittömien toimien säästöpotentiaali [%]	Takaisinmaksuaika [a]	Myöhemmin toteutettavien toimien säästöpotentiaali [€/a]	Myöhemmin toteutettavien toimien säästöpotentiaali [%]	Takaisinmaksuaika [a]
<b>Kunta 1</b>	800000	5600	1	0,1	132000	17	4,2
<b>Kunta 2</b>	500000	15000	3	0,1	46000	9	3,6
<b>Kunta 3</b>	470000	11000	2	0	51000	11	3,2

Säästölaskelmissa ei ole huomioitu mahdollisia energiatukia. Lisäksi kunnalla 2 olisi säästöjä saavutettavissa kymmeniä tuhansia euroja keskustan sähkölämmitteisten kiinteistöjen liittämällä kaukolämpöön. Kunta 3 voisi saada kaukolämpöverkolla lämmityskuluistaan pois jopa yli 100 000 €.

Energiatehokkuussopimukseen liittymisen johdosta tilavuudeltaan 80 %:ssa kuntien kiinteistöjä tulee suorittaa energiakatselmus. Kunnassa 2 on osaan kiinteistöistä tehty jo aikaisemmin energiakatselmus, joten katselmuksiin ei kuitenkaan tarvitsisi ohjata 80 % kiinteistötilavuudesta. Kaikissa kunnissa kiinteistöt voisi ohjata katselmukseen suurimmasta alkaen tai hieman valikoiden, jotteivät katselmointikulut painotu heti ensimmäiselle vuodelle ja katselmukseen on suositeltu ohjattavaksi mm. koulurakennuksia, päiväkoteja ja liikuntahalleja.

## **13. MUOVITEOLLISUUDEN YRITYKSEN ENERGIAKATSELMUS**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn diplomityöhön (Mäkelä 2010, s.1-63).

### **Kohteen kuvaus**

Yritys on erikoistunut kalvolaminaattipakkausten valmistamiseen elintarvike ja sairaalatarviketeollisuudessa. Yrityksellä on toimipisteessään, johon katselmus tehdään tonttialaa 131 000m<sup>2</sup>. Rakennettua alaa tontista on 114 369m<sup>2</sup>. Tontilta löytyy tuotantotiloja, varastorakennuksia, konttorirakennus, rivitalo ja muita rakennuksia. Tuotanto koostuu tuotannosuunnittelusta, perustuotannosta, jalostuksesta, varastoinnista ja tehdaspalveluista. Yhtiöllä on vielä vuokrattua varastoa tehtaan ulkopuolella, mutta siitä pyritään eroon ja on jätetty energiakatselmuksen ulkopuolelle. Veden toimituksia varmistamaan tontille vedetään suurempia runkolinja ja sähkön toimittaja on asentanut tontille muuntajan ja sieltä on vedetty maakaapeli tehtaalle. Maakaasuputki kulkee tontille saakka ja maakaasun käyttöön on asennettu jo joitain laitteita.

### **Työn tavoitteet**

Työssä käsitellään muoviteollisuuden yrityksen tehtaan energiakatselmustoimintaa ja esitellään sen oleelliset tulokset. Yrityksen energiankulutus jaotellaan kiinteistöteknilliseen ja tuotantotoiminnan aiheuttamiin kulutuksiin ja selvitetään säästömahdollisuudet ensin tarkasteltavan kohteen käyttöastetta alentamalla eli turhan käytön tunnistamisella ja toisaalta taas käytön aikaisen tehokkuuden lisäämisellä. Näistä selvityksistä osa esitetään energiansäästömahdollisuuksina jos hankkeen kannattavuus on riittävä. Kannattavuutta kuvataan Motivan mallin mukaisesti takaisinmaksuajan muodossa. Katselmuksessa tutkitaan muutosvaihtoehtoja prosessin ja kiinteistön jäähdytystarpeen hoitamiseen kesäaikana ja talvisin lämmityksen järjestämiseen ja näiden vaikutusta energiankulutukseen. Tuotantoprosesseja tutkitaan ja yritetään määrittää energiansäästökohteita, kiinteistön kulutuskohteet analysoidaan ja eri energiantuotomutojen laskutusmallit tutkitaan ja mahdollisesti kilpailutetaan.

### **Energiansäästömahdollisuudet**

#### **Lämpö**

Kokonaisvaltainen tutkimus ilmanvaihdon toimivuudesta on suositeltava. Kiinteistö on 25 vuoden aikana laajentunut nelinkertaiseksi. Ilmastointia ja poistoja on lisätty aina tarpeen mukaan, mutta niiden yhteensoveltuvuudessa, hallinnassa ja ohjauksessa löytyy parannettavaa. Ilmanvaihdon parantamista voidaan perustella energiansäästön lisäksi myös työskentelyolosuhteiden ja tuotteiden laadun parantumisella ja muilla toimivalla ilmanvaihdolla saatavilla hyödyillä. Myös monista yksittäisistä prosesseista ja järjestelmistä löytyi potentiaalisia parantamiskohtia mm. kuumaöljyjärjestelmästä.

#### **Sähkö**

Työssä suositellaan rakennusautomaatiojärjestelmän hankkimista kohteeseen. Järjestelmän varsinainen hyöty energiataloudellisesti on käyntiaikojen ohjelmointi, lämpötilojen säätö ja seuranta ja hälytysjärjestelmän keskitys. Tarkastelun tekohetkellä käyttöaikojen ohjelmointi ja seuranta olivat työlästä, sillä koneet ja kellot olivat hajallaan ympäri kiinteistöä. Ajustuksella

on mahdollista saavuttaa säästöjä niin sähköenergian kuin lämpöenergiankin suhteen. Rakennusautomaatiikalla saavutettaisiin etuja valaistuksen aikatauluttamisella ja yleisohjauksella, lämpötilan alennuksilla yöaikaan, ilmastoinnin aikatauluttamisella sekä seuraamalla keskiteysti koko tehtaan tilannetta venttiilien, valaistuksen, kiertoveden ja monen muun tekijän osalta. Myös huipunleikkauksella ja paineilman käytön rationalisoinnilla voidaan saavuttaa kohteessa säästöjä.

## Vesi

Diplomityön aikana tehty aloite omien kaivojen veden käytöstä kasteluun ja huoltotöihin on merkittävä veden kulutuksen vähentäjä. Katselmuksen aikana löydettiin ja korjattiin muutama hana, juomaveden valuttaminen väheni ja uusiin kohteisiin asennettiin entistä säästävempiä vesikalusteita. Merkittäviä uusia tarpeita tehdä muutoksia vedenkulutukseen tai turhan vedenkäytön estämiseksi ei löydetty. Uusiorakentamisen ja korjaustoiminnan mukana tehtävää parannustoimintaa vesikalusteiden energiatehokkuuden suhteen kannattaa jatkaa.

## Erityisiä kohteita

Työssä ehdotetaan lisäksi tekemään toimenpideluettelo, jossa tehtävät on lueteltu ja kerrottu toimenpideaikatauluja, kiinteistön kunnossapidosta huolehtivalle huoltomiehelle. Käyntiaikojen valvonta, ilmastoinnin kunnan tarkastelu, rakenteiden kunnan valvonta ja kulutusmittareiden luku ovat tärkeitä energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi valaistuksen ryhmittämisessä ja ohjauksessa löytyi parannettavaa ja muutamissa muissa yksittäisissä aisoissa löytyi parannettavaa.

## Yhteenveto energiansäästöpotentiaalista

Taulukossa (19) on esitetty Motitan katselmusraportoinnissa ilmenneet energiansäästötoimenpiteet. Raportissa kokonaissäästöksi tuli 266 480 mk/a. Energiakatselmuksen tuloksena on selvitetty kohteessa sovellettavissa olevat energiansäästökeinot ja säästöpotentiaalit. Kohdeyritys on saanut katselmuksen aikana lisätietoa ja ideoita kehittää uutta tuotantotilaa, vanhoja rakenteita ja tuotantotekniikkaa energiatehokkaasti.

**Taulukko 19.** Motivan säästöpotentiaalitalukko. (Mäkelä 2010)

Nykyinen kulutus		Säästöpotentiaali			Kokonaisinvestoinnit	
Lämpöenergia						
4700	MWh/a	746	MWh/a	16 %	654 618	mk
416 379	mk/a	74 600	mk/a	18 %		
Sähköenergia						
18 472	MWh/a	888	MWh/a	5 %	740 049	mk
3 984 070	mk/a	191 880	mk/a	5 %		
Vedenkulutus						
7 745	m <sup>3</sup> /a	280	m <sup>3</sup> /a	4 %	51 833	mk
92 897	mk/a	3 360	mk/a	4 %		
<b>Kulutukset yhteensä</b>		<b>Säästöt yhteensä</b>			<b>Investoinnit yhteensä</b>	
4 493 346	mk/a	266 480	mk/a	6 %	1 446 500	mk

## **14. VALAISTUKSEN ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET TEHTAALLA**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin tutkinon opinnäytetyöhön (Rossi 2010, s.1-35).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohteena on kansainvälisen teollisuusyrityksen kaksi tehdasta. Toinen tehtaista valmistaa elektroniikkaa (E-tehdas) ja toinen sähkökoneita (konetehdas). Molemmissa rakennuksissa on tuotantohallien lisäksi toimistotiloja. Tarkastelua rajattiin käsittämään vain suurimmat teollisuushallit sekä suurimmat toimistotilat.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Tavoitteena on käydä läpi tehdasrakennusten valaistusratkaisut ja löytää sellaiset kohteet, joissa on mahdollisuus valaistusenergian säästöön investoinnin järkevällä takaisinmaksuajalla. Työssä tehdään kannattavuuslaskelmat mahdollisille valaistusinvestoinneille, jotka kenttätöiden perusteella seulottiin järkeviksi kohteiksi jatkotarkastelua varten. Kenttätyöosuus tehdään yhdessä yrityksen kiinteistöosaston edustajan kanssa.

### **Energiasäästöanalyysin tulokset**

Yrityksen kiinteistövästavaan kanssa suoritetulla kenttäkierroksella valittiin vielä teollisuushallien ja toimistotilojen joukosta neljä kohdetta, joissa epäillään olevan eniten energiansäästöpotentiaalia. Nämä kohteet ovat E-tehtaan tuotantotilojen sammutuspulssien optimointi ja Kone-tehtaan hallin sammutuspulssien asentaminen. Lisäksi tarkastellaan E- ja Kone-tehtaan toimistojen loisteputkien korvaamista led-valoputkilla ja E-tehtaan korkean tuotantohallin päivänvalon hyödyntämismahdollisuutta

Seuraavassa on toimenpide-ehdotukset energiansäästöanalyysin perusteella saaduista tuloksista. CO<sub>2</sub>-päästöt on laskettu Motivan kertoimella ostetusta sähköstä 700 kgCO<sub>2</sub>/MWH. (Motiva Oy 2003)

#### **E-tehtaan korkean tuotantohallin sammutuspulssien optimointi**

Hallin sammutuspulssien säädettävissä olevan valaistuksen käyttö maksaa nykykäytöllä noin 193 000 €/a. Optimoimisen kustannus olisi vain muutaman tunnin työaika kiinteistön huolto-työntekijältä kerran kuukaudessa tai harvemmin. Sammutuspulssien optimaalisen toiminnan kannalta tulisi olla säännöllisesti yhteydessä tuotannon esimiesten kanssa, jotta pulsseja voidaan säätää työtilanteen muutosten mukana. Toimenpide olisi erittäin kannattava ajateltaessa, että jo yhden prosentin valaistuksen käytön väheneminen säästäisi vuositasolla 1 930 € pelkällä lyhytaikaisella työpanoksella. Yhden prosentin väheneminen vastaisi noin 17 000 kgCO<sub>2</sub>/a. Lisäksi valaistuksen manuaalisen käytön ohjaustaulut olisi järkevää tehdä selkeämmiksi, siten että uusikin työntekijä hahmottaa ohjaimen ja valaistavan alueen yhteyden. Tämä onnistuu esimerkiksi asettamalla hallin pohjapiirustus, jossa valaistuslohkot, ohjaintaulun viereen.

### **E- ja Kone-tehtaan toimistot**

Energiansäästöanalyysin perusteella loisteputkien vaihtaminen led-valoputkiin ei olisi kannattavaa. Syynä on led-valoputkien korkea hinta sekä epävarmuus ilmoitettujen ominaisuuksien paikkansapitävyydestä. Led-valoputket kannattaa kuitenkin pitää mielessä led-teknologian nopean kehityksen takia. Hintakehitystä ja esimerkkikohteita kannattaa seurata, sillä hyvin toimiessaan sähkönsäästö led-valaistuksella olisi merkittävää.

### **E-tehtaan korkean tuotantohallin päivänvalon hyödyntäminen**

Päivänvalon hyödyntäminen E-tehtaan korkeassa tuotantohallissa olisi energiansäästöanalyysin perusteella kannattava ja helppo säästömenetelmä. Esimerkkilaskun oletuksilla vuosittaiset säästöt olisivat yli 8 000 €. Etuna on, ettei toimenpide vaadi muuta investointia kuin työpanoksen ja kunnossapitokuluina kattoikkunoiden puhtaanapidon. Ajastuksen voi ohjelmoida olemassa olevaan rakennusautomaatioon. Toimenpide vaatii kuitenkin tarkemman selvityksen päivänvalon hyödyntämisaajoista sekä valaistuslohkoittaisen selvityksen valaistuksen riittävyydestä. Vaikkakin suoritettavat valaistusmittaukset tukivat menetelmän toimivuutta, on tarkempi selvitys tarpeen. Lisäksi kattoikkunat tulisi puhdistaa säännöllisesti, jotta päivänvalosta saavutettaisiin maksimaalinen hyöty.

### **Konetehtaan hallin sammutuspulssi-investointi**

Energiansäästöanalyysin perusteella sammutuspulssien asentaminen halliin olisi erittäin kannattavaa. Investointi maksaisi itsensä takaisin mahdollisesti jo alle vuodessa ja takaisinmaksuajan jälkeen saavutettaisiin huomattavaa säästöä. Sammutuspulssien optimaalisen toiminnan kannalta tulisi olla säännöllisesti yhteydessä tuotannon esimiesten kanssa, jotta pulsseja voidaan säätää työtilanteen muutosten mukana.

## **Johtopäätökset**

Energia-auditoinnin tarkoituksena oli selvittää mahdollisia energiansäästökohteita valaistuksessa. Työn laajuus huomioon ottaen auditointiprosessi ei ollut täysin kattava, vaan huomio kiinnitettiin olennaisiin ja osittain jo ennalta seulottuihin aiheisiin. Taulukossa (20) on yhteenvedo auditoinnin perusteella ilmenneistä toimenpide-ehdotuksista, joista erityisesti konetehtaan hallin sammutuspulssi-investointi sekä E-tehtaan korkean tuotantohallin päivänvalon hyödyntäminen olisi kannattavaa toteuttaa mahdollisimman nopeasti. Useat toimenpide-ehdotukset tulevat kuitenkin kannattavaksi vasta valaistusta uusittaessa. Erityisen mielenkiintoinen potentiaali on led-valaistuksella, joka ei kuitenkaan vielä tällä hetkellä vaikuta riittävän kustannustehokkaalta jotta valaistusta kannattaisi muuttaa ennen teknisen iän päättymistä. Ledien nopea tekninen kehitys ja hintojen laskeminen voivat kuitenkin muuttaa tilanteen parin vuoden sisällä, joten alan seuraaminen 1-2 vuoden välein on suositeltavaa.

**Taulukko 20.** Yhteenveto toimenpide-ehdotuksista (Rossi 2010)

Toimenpiteen kuvaus/kohde	Säästöpotentiaali [€/a]	Investointi [€]	Takaisinmaksuaika [a]	Huomioita/ Jatkotutkimus-tarve
Alpo-hallin sammutuspulssi-investointi	n. 13 000 – 17 000	n. 10 000	n. 1	Sammutuspulssien asentamisen jälkeen määrätyn henkilön kiinteistöpalveluista tulisi tietyin väliajoin tarkistaa valaistuksen tarve tilan työnjohdolta pulssien optimaalisen käytön varmistamiseksi
E-tehtaan korkean tuotantohallin päivänvalon hyödyntäminen	n. 8 000	Työpanos	n. 0,2	Selvitys päivänvalon hyödyntämisaajoista sekä valaistuslohkoittaisen selvityksen valaistuksen riittävydestä. Kattoikkunoiden puhtaanapito.
E-tehtaan korkean tuotantohallin sammutuspulssien optimointi	Täysin riippuvainen työtilanteesta	Työpanos	0	Kiinteistöpalveluista työntekijän nimeäminen selvittämään valaistuksen tarve työnjohdolta tietyin väliajoin pulssien käytön optimoimiseksi.
E- ja Kone-tehtaan toimistoihin led-valoputket	-	-	-	Hinta tekee vielä investoinnin kannattamattomaksi. Suositeltavaa ottaa uudelleen arvioitavaksi muutaman vuoden päästä ledien todennäköisen halpenemisen ja kehittymisen takia.
Sosiaalitulat	-	-	-	Valojen sammuttamiseen kehoittavat kyltit. Valaistusta uusittaessa suositeltavaa asentaa liikkeentunnistimilla varustetut valaisimet.
Aulat, käytävät ja porashuoneet	-	-	-	Liikkeentunnistinohjauksen asennus valaistusta uusittaessa.
Tekniset tilat	-	-	-	Liikkeentunnistinohjauksen asennus valaistusta uusittaessa.
Yksittäiset toimistot	-	-	-	Liikkeentunnistinohjauksen asennus valaistusta uusittaessa.

## **15. TOIMISTORAKENNUKSEN ENERGIAANSÄÄSTÖMAHDOLLI- SUUDET**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin tutkinon opinnäytetyöhön (Kosonen 2009, s.1-31).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkasteltava kohde on teollisuusyrityksen toimistorakennus. Rakennus on valmistunut vuonna 1999 ja henkilökunnan määrä on n. 400. 10-kerroksiseen rakennukseen kuuluu toimistotilojen lisäksi yleistiloja, keittiö ja ruokala sekä 6 kerrosta pysäköintitiloja. Kiinteistöä on maionostettu rakennusvuonna energiaa säästäväksi rakennukseksi.

Kohteen sähkönkulutus mitataan alamittauksilla muuntajakohtaisesti eli alueittain. Yöllä ja viikonloppuna lämmitetään ulkoseinillä olevilla vesikiertoisilla pattereilla. Arkipäivisin jäähdytetään, koska rakennuksen lämpökuorma on käytöstä johtuen suuri. Rakennusvuodesta vuoteen 2009 kohteessa on ollut käytössä Helsingin Energian pilottiprojektina kaukokylmä, josta ollaan siirtymässä sähkölaitteilla toimivaan jäähdytykseen. Kohteessa on käytössä matala-energiakone eli ThermoNet-järjestelmä, joka on yrityksen itsensä kehittänyt talotekniikka-järjestelmä. Järjestelmä yhdistää kiinteistön lämmityksen, ilmanvaihdon ja jäähdytyksen.

Valaistuksessa kohteessa on käytössä läsnäoloon perustuva järjestelmä. Parkkihalleissa on valaistusautomaatio, mutta WC-tiloissa ja keittiössä ei ole läsnäolojärjestelmää. Parkkihallien valaistus on yöllä kolmasosateholla ja toimistotiloissa on käytössä ajastimet sekä lux-anturit, joilla valaistus toimii tilan valoisuusasteen mukaan.

### **Tarkastelun tavoitteet**

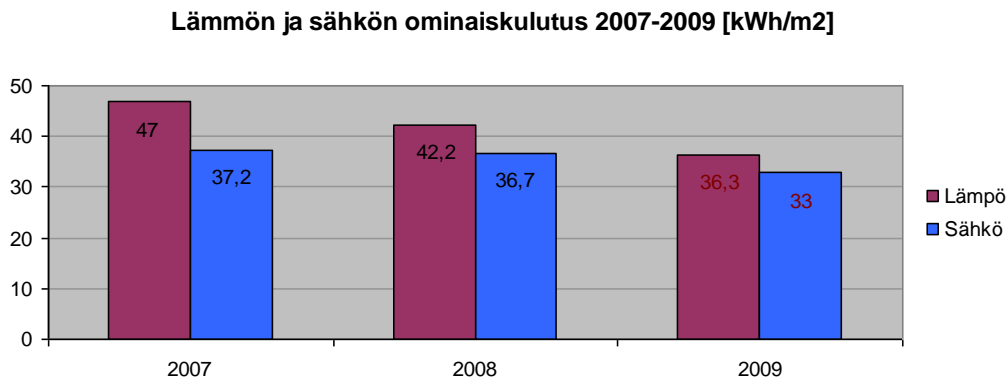
Työn tarkoituksena on suorittaa energiankulutuksen yleistarkastelu edellä esitellylle kiinteistölle. Tarkastelu tehdään, koska kiinteistön nykykulutus, kulutuksen muutokset lähivuosina sekä kulutus verrattuna tilastolliseen nykytilanteeseen haluttiin selvittää. Myös veden kulutus on otettu mukaan tarkasteluun, koska käyttöveden lämmitystarve vaikuttaa lämpöenergian kulutukseen. Työssä tarkastellaan kohteen energian ja veden nykykulutusta, energian ja veden kulutuksen kehitystä vuosina 2007 - 2009 sekä energiavirtojen ja veden käytön jakautumista ajallisesti ja kulutuskohdeittain. Lisäksi kohteen energiatehokkuutta vertaillaan tilastollisesti vastaavien rakennusten ominaiskulutusarvoihin.

### **Energiankulutustarkastelu**

Kohteen energiankulutustiedot ja energiankulutuksen jakaumat on selvitetty EnerKey-energianhallinta-ohjelmaan kerättyjen energiankäyttötietojen, rakennuksen läpikäynnin sekä suullisten ja kirjallisten haastattelujen perusteella. Apuna ja vertailukohteena on käytetty insinööri-toimiston vuonna 2003 tekemää selvitystä rakennuksen energiankulutuksesta sekä rakennuksen kuntoarviota vuodelta 2003. Lisäksi raportoinnissa on hyödynnetty Motivan ohjeita kiinteistön energiakatselmuksen suorittamisesta sekä kohteen kulutusarvojen analysoinnissa Motivan ja Suomen Kuntaliiton keräämiä vastaavien kiinteistöjen ominaiskulutusarvoja (Motiva Oy, 2009a&b).

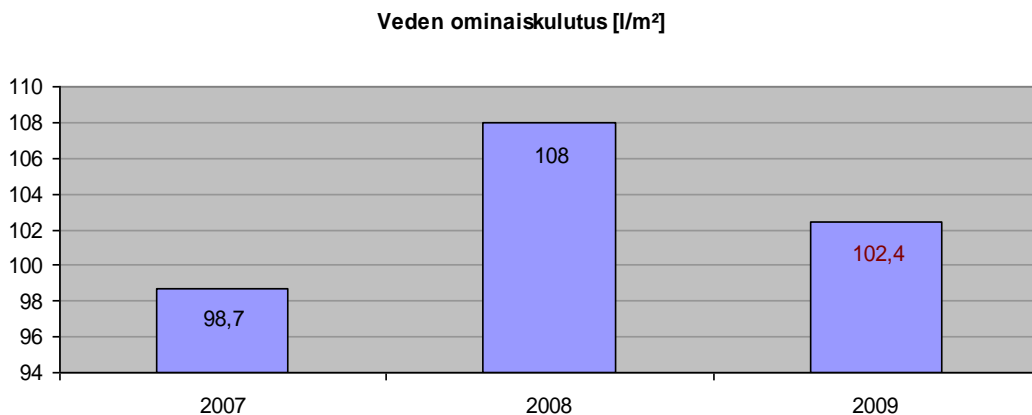


Rakennuksen normitettu eli ulkolämpötilaan suhteutettu ominaislämmön- ja ominaissähkönkulutukset vuosina 2007–2009 on esitetty kuvassa (12). Vuoden 2009 lukemat ovat vuoden lokakuun loppuun mennessä kertyneitä kulutuksia. Kaavioista huomataan, että sekä lämmön- että sähkönkulutukset ovat laskeneet vuodesta 2007 lähtien. Vuosien 2007 ja 2008 välillä kokonais- ja ominaiskulutusten pieneneminen johtunee lähinnä rakennuksen hieman pienentyneestä käyttöasteesta. Vuodesta 2009 ei voi tehdä vielä kattavia johtopäätöksiä, ja koska rakennuksen käyttöaste on vuonna 2009 ollut suurempi kuin edellisinä vuosina, on odotettavissa, että vuoden 2009 kulutukset nousisivat vuoden loppuun mennessä vielä suuremmiksi kuin vuoden 2008 lukemat. Sähkönkulutuksen voisi vuonna 2009 olettaa nousevan suuremmaksi myös siksi, että rakennuksessa on kyseisenä vuonna siirrytty kaukokylmääjäähdytyksestä sähköä kuluttavaan järjestelmään.



**Kuva 12.** Kohteen ominaislämmön- ja ominaissähkönkulutukset vuosina 2007–2009. (Kosonen 2010)

Kohteessa kulutetun veden ominaiskulutukset vuosina 2007–2009 on esitetty kuvassa (13). Vuoden 2009 lukemat ovat vuoden lokakuun loppuun mennessä kertyneitä kulutuksia. Saatujen tietojen perusteella vaikuttaisi, että veden kulutus vaihtelee satunnaisesti vuosittain ja on toisaalta selvästi lisääntynyt vuodesta 2007 lähtien. Syynä vuoden 2009 käyttövedenkulutuksen lisääntymiseen on rakennuksen suurempi käyttöaste ja käyttöhuolimattomuus. Sen sijaan vuoden 2008 suurelle käyttövedenkulutukselle ei ole tiedossa selkeää syytä, mutta todennäköisesti myös se johtuu käyttäjien huolimattomuudesta aiheutuvista vuodoista, eli turhasta veden valuttamisesta.



**Kuva 13.** Kohteen ominaisvedenkulutukset vuosina 2007–2009. (Kosonen 2010)

Rakennukselle laskettiin ominaisenergiankulutukset lämmölle ja sähkölle, joita vertailtiin Motivan tilastoimiin energiakatselmuksissa raportoituihin lukemiin vastaavalle rakennustyyppille (Motiva Oy, 2009a&b). Tarkasteltavan kohteen ominaissähkönkulutus on hieman suurempi kuin vertailuarvoissa. Nykyistä tilastotaso hieman suuremman kulutuksen aiheuttanee rakennuksen keittiö, jota toimisto- ja liikenteen rakennuksissa ei yleensä ole. Sen sijaan sekä normitettu että mitattu ominaislämmönkulutus vaikuttaisi olevan tilastollisia vertailuarvoja pienempi. Pieni lämmönkulutus voi johtua rakennuksen vaipasta eristeineen, koska rakennus arvioitiin rakennusvuonna energiatehokkaaksi. Asiaan voivat vaikuttaa myös rakennuksen käytöstä aiheutuva suuri lämpökuorma, jolloin lämmitystä tarvitaan suurimmaksi osaksi vain käyttövedelle ja rakennuksen hiljaisempina käyttöaikoina lämmitykseen. On myös huomiotava lämmittämättömien autohallien osuus rakennuksesta.

## Johtopäätökset

Energiatehokkaaseen rakennukseen tarvitaan tiiviit rakenteet hukkaenergian ja vuotojen välttämiseksi, oikeat talotekniikkajärjestelmät ja järjestelmäsäädöt ja järjestelmien käyttötavat, hyväkuntoiset järjestelmälusteet, säännölliset huoltotoimenpiteet sekä käyttäjähuolellisuutta. Jos rakennuksella on paljon käyttäjiä, tulisi kaikkien olla tietoisia säätöjen ja laitteiden käyttötavoista ja niiden vaikutuksista, jotta vältettäisiin turhaa energiankäyttöä.

Työssä tarkasteltavassa kohteessa rakenteet ovat alkuaan hyvät, huolto toimii ja käytössä oleva Kohteen suurimmat energianhukkakulutukset vaikuttaisivat aiheutuvan käyttäjäpohjalta esimerkiksi järjestelmien lämpötilasäätöjen ajoittaisten ja paikoittaisten muutosten vuoksi. Järjestelmien automaatioasetukset kannattaisi pitää pääsääntöisesti vakioina, kuitenkin eri vuoden ja vuorokauden ajanjaksot huomioiden, jottei energiaa menisi hukkaan ja jottei viihtyisyys vähentyisi nopeasti muuttuvien olosuhteiden tai epätasaisten lämpöolojen vuoksi. Esimerkiksi vedon tai kylmyyden tunteelta käyttäjät voivat suojautua myös pukeutumisellaan.

Varsinkin kohteen käyttövedenkulutus on ollut ajoittain hyvin suurta käyttäjähuolimattomuuden ja veden tarpeettoman valutuksen vuoksi. Vesihanojen automatisointi tai sen toiminnan varmistus voisi vähentää veden kulutusta. Verrattaessa kohteen ominaiskulutusta tilastolliseen keskitasoon on muistettava, että kyseessä on yhdistetty toimisto- ja liikenteen rakennus, jolle ei ole suoria tilastollisia vertailuarvoja. Laskettuihin arvoihin verrattaessa käyttövirheistä ja rakennuksen keittiön suuresta vedenkulutuksesta huolimatta kohteen vedenkulutus on keskimääräistä tilastotaso.

Lämmönkulutus on rakennuksen rakenteiden ja lämmittämättömien pysäköintihalliensa ansiosta tilastotaso hieman pienempää, kun ominaiskulutus lasketaan rakennuksen koko tilavuudelle. Sähkönkulutus on tilastotaso hieman suurempaa ja tulee todennäköisesti nousemaan rakennuksen jäähdytysjärjestelmän vaihduttua sähkökulutukseksi. Koska jäähdytysjärjestelmä on juuri muuttumassa ja kohteen aiemmasta kaukokylmän kulutuksesta ei ole tarkkaa tietoa, uuden järjestelmän kannattavuutta on vaikea arvioida tässä vaiheessa. Utta ja tarkempaa tarkastelua voisikin ehdottaa tehtäväksi muutaman vuoden päästä, kun uuden jäähdytysjärjestelmän toimivuudesta on enemmän tietoa.

## **16. KONETEHTAAN ENERGIANKULUTUSTARKASTELU**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla Ympäristötekniikan erikoistyöt – kurssilla tehtyyn erikoistyöhön (Karjalainen 2010, s.1-25).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkasteltava kohde on sähkögeneraattoreita ja – moottoreita valmistava tehdas. Tehtaan pinta-ala on noin 65 000 m<sup>2</sup>, josta noin 65 % on tehdastiloja, 25 % on toimistotiloja ja 15 % muita tiloja. Tehdas on rakennettu useassa osassa vuodesta 1916 alkaen. Tuotantotilat ovat pääosin hallimaista tilaa, jonka huonekorkeus on suuri. Toimistotiloja sijaitsee neljässä kerroksessa, jotka ovat rakenteeltaan melko samankaltaisia, pääosin avotoimistoja. Kellarissa sijaitsee sosiaali- sekä huoltotiloja. Viime vuosien aikana rakennuksia on kunnostettu ja LVI- sekä sähköjärjestelmistä on teetetty kuntoarvio. Tehdyn kuntoarvion mukaan järjestelmät ovat vielä kohtuullisen hyvässä kunnossa, eikä niissä ole suurta parannustarvetta.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Selvityksessä perehdytään edellä kuvatun konetehtaan energiankulutukseen, sen kehittymiseen sekä jakautumiseen eri kulutuskohteissa sekä esitetään energiansäästömahdollisuuksia kohteessa. Työn tavoitteena on pohtia analyysin perusteella kulutuksen syitä sekä ehdottaa energiansäästökohteita tai kohteita, jotka vaativat tarkempaa selvitystä energiankulutuksen vähentämismahdollisuuksien osalta.

Työssä käsitellään konetehdasta kokonaisuutena, mutta valaistuksen ja ilmanvaihdon tarkempi käsittely sekä parannusehdotusten esittäminen rajataan työn ulkopuolella. Työ perustuu yritykseltä saataviin energiankulutustietoihin sekä yrityksen yhteyshenkilöiden antamiin muihin tietoihin, joiden perusteella energiankulutusta jaetaan pienempiin, analysoitaviin osiin.

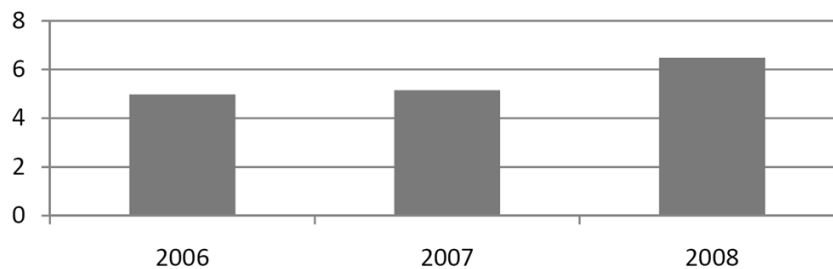
### **Energiankulutustarkastelu**

Energiankulutusta seurataan Energiakolmio Oy:n EnerKey - seuranta- ja raportointiohjelmiston avulla. Mittauksilla kerättyjä tietoja voidaan tarkastella Internetin tietoportaalien avulla ajantasaisesti. Tehtaan energiankulutuksesta muodostettiin kokonaiskuva seurantaohjelmaan kerättyjen energiatietojen perusteella. Lisäksi suoritettiin kenttäkierros, jolloin tehtiin silmämääräisiä havaintoja ja haastateltiin henkilökuntaa. Selvityksessä energiankulutusta tarkastellaan erikseen sähkön, lämmön ja veden osalta (aikavälillä 2006–2009).

#### **Sähkö**

Kuvasta (14) käy ilmi, että tuotantomääriin suhteutettuna sähkönkulutus on kasvanut suhteellisen paljon tarkasteltavan kolmen vuoden syklin aikana. Tämä saattaa osittain johtua myös siitä, että kappalemääriin suhteuttaminen ei ota huomioon tuotannon energiaintensiivisyyttä. Tarkempien tulosten saavuttamiseksi sähkönkulutus tulisi jakaa pienempiin tarkastelukokonaisuuksiin ja tarkastella sen riippuvuutta myös tuotannon painopisteistä.

## Konetehtaan sähkönkulutus / tuotantomäärä [MWh/kpl]



**Kuva 14.** Konetehtaan sähkönkulutus suhteutettuna vastaavan vuoden kappalemääräiseen tuotantoon (Karjalainen 2010)

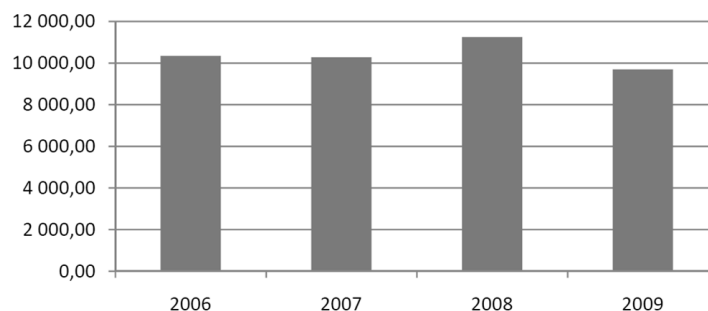
Konetehtaan ominaissähkönkulutukseksi saadaan vuodelle 2008 37 kWh/m<sup>3</sup>a, joka on hieman vuoden 2001 tarkasteluarvoa (31 kWh/m<sup>3</sup>a) suurempi, mutta kuitenkin reilusti toimialan keskiarvoa (87 kWh/m<sup>3</sup>a) pienempi.

Yrityksen oman arvion mukaan sähkönkulutusta voidaan jakaa eri laiteryhmillä seuraavan jakauman mukaisesti: valaistus 27 %, LVI-laitteet 12 %, ATK- ja toimistolaitteet 9 %, tilajäähdyttimet ja sähkölämmitykset 6 %, prosessit ja hyödykkeet 42 % ja muut 4 %. Tarkemman tarkastelun sähkölaitteille voisi suorittaa keräämällä tietoa erityyppisten laitteiden kappalemääristä ja tehoista sekä käyttöajoista, jolloin saataisiin summittaiset arvot laiteryhmiä kulutuksille.

### Lämpö

Kuvassa (15) on esitetty konetehtaan lämmitysenergiankulutus vuosina 2006–2009 normitettuna.

## Normitettu lämmitysenergian kulutus konetehtaalla [MWh]

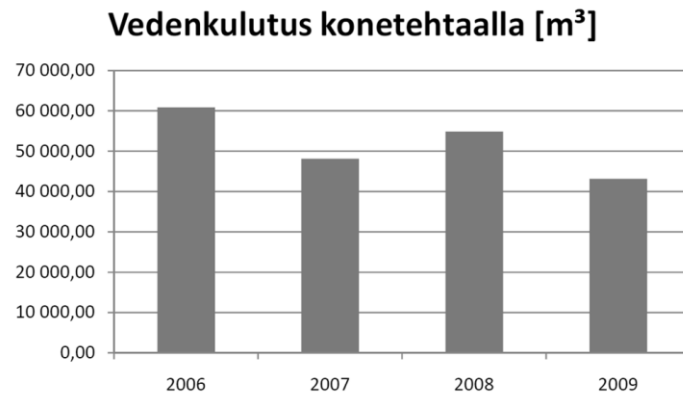


**Kuva 15.** Konetehtaan normitettu lämmitysenergian kulutus vuosina 2006–2009 (Karjalainen 2010)

Yrityksen oman arvion mukaan lämmitysenergia voidaan laskennallisesti jakaa siten, että lämmityksen osuus on noin 42 %, ilmanvaihdon 50 % ja lämpimän käyttöveden 8 %.

## Vesi

Kuvassa (16) on esitetty käyttöveden kulutus tarkasteluajanjaksolla. Vuoden 2009 joulukuun arvoista puuttuu vielä osa, mutta kuluva vuosi on kuitenkin havaittavasti pienempi veden kulutuksen suhteen. Veden kulutuksen vaihtelut selittyvät tuotantomäärien sekä tuotannon painopisteen vaihteluiden avulla. Esimerkiksi vuotavilla vesikalusteilla voi olla suuri vaikutus vuosittaisen veden kulutukseen, joten niiden kunto tulisi tarkastaa säännöllisesti. Enerkey-järjestelmän tietojen mukaan minimikulutus on kuitenkin 0 m<sup>3</sup>/min, joten pääpiirteittäin vesijärjestelmä on kunnossa.



**Kuva 16.** Veden kulutus konetehtaalla vuosina 2006–2009 (Karjalainen 2010)

Konetehtaalla käytettävästä vedestä 29 % kuluu WC:issä, 23 % ruokalassa ja 14 % pesuallaisissa. Jäljelle jäävä 34 % kuluu muissa toiminnoissa, joihin lasketaan myös prosessiin liittyvä jäähdytysvesi.

## Johtopäätökset

Konetehtaalla on havaittavissa useita näkökohtia, joiden lähempi tarkastelu voisi tuottaa ehdotuksia energiaa säästävistä toimista ja parannuksista. Vaikka rakennuksen ominaisenergiankulutukset ovat selkeästi alle vertailuarvojen (Motiva 2009, a ja b), on sekä lämmön että sähkön ominaiskulutus kuitenkin kasvanut tarkasteluvälillä, eli vuosien 2001 ja 2008 aikana. Lisääntyneen kulutuksen syitä tulisi tarkastella ja toimintaa muuttaa energiatehokkaampaan suuntaan, jotta asetetut tavoitteet voidaan saavuttaa.

Energiansäästöissä kyse usein on pienien tekojen yhteisvaikutuksesta, ja harvoin onkaan olemassa yhtä helppoa tapaa, jolla energiankulutusta voidaan vähentää radikaalisti. Usein energiataloudelliset ja kustannuskysymykset kulkevat kuitenkin käsi kädessä, joten motiivit energiatehokkuuden parantamiselle voidaan laskea takaisinmaksuaikoina.

Työn laajuuden puitteissa suurta kokonaisuutta ei pystytä tarkastelemaan lähemmin, vaan luotettavimpia tuloksia saataisiin tarkastelemalla konetehtaan yksi osa-alue kerrallaan. Tärkeää on myös ottaa työntekijät mukaan kehitysprojektiin, sillä heidän näkemyksillään ja ehdotuksillaan on suuri merkitys muutosten onnistumisen kannalta. Osa energiatehokkuuteen panostamisesta tulisi toteuttaa myös työntekijöiden koulutuksena, sillä juurtuneet toimintatavat voivat pilata edistyneimmänkin uudistuksen. Energiatehokkuuden parantamisesta voitaisiin luoda vastaavat aloite- ja palkkiojärjestelmät kuin usein on jo käytössä esimerkiksi turvalli-

suusasioiden saralla. Tällöin työntekijät voisivat uudella tavalla motivoitua näkemään paranusehdotuksia normaalissa, arkisessa työympäristössään.

Tässä työssä tavoitteena oli ensisijaisesti tuoda esille energiaa kuluttavia toimintoja ja kohteita, joissa on mahdollisesti suuriakin säästöpotentiaaleja. Kohteeseen tutustumisen ja energiankulutuksen tarkastelun aikana voitiin havaita ainakin seuraavia potentiaalisia energiansäästötoimia (taulukko 21).

**Taulukko 21.** Potentiaalisia energiankulutuksen kehityskohteita konetehtaalla. (Karjalainen 2010)

Säästökohde Toimenpide	Säästökohde Toimenpide
Ilmanvaihto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Koneiden hyötysuhteiden ja käyntiaikojen läpikäyminen ja optimointi</li> <li>• Kanaviston säännöllinen puhdistaminen ja kuntoarvio</li> <li>• Lämmön talteenoton lisääminen jos mahdollista</li> <li>• Tuotannon lämpökuormien hyödyntäminen muiden tilojen lämmityksessä</li> </ul>
Toimistolaitteet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Laitteiden turhan päällä pidon vähentäminen</li> <li>• Energiansäästöasetusten tarkistaminen</li> <li>• Laitteiden käyttöasteen tarkkailu ja turhien laitteiden vähentäminen</li> </ul>
Jäähdytys	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vapaajäähdytysjärjestelmän laajentaminen</li> <li>• Kun jäähdytystarve on lämmitystarvetta suurempi, voidaanko lämmitystä vielä vähentää</li> <li>• Luonnollinen tuuletus viileän sään aikaan</li> </ul>
Lämmitys	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ilmaisten lämpökuormien hyödyntäminen ja turhan lämmityksen välttäminen</li> <li>• Sisälämpötilojen tarkkailu ja tavoitearvojen asetus</li> <li>• Lämmöntarpeen pienentäminen rakennusteknisesti <ul style="list-style-type: none"> <li>- lisäeristäminen</li> <li>- ikkunoiden tiiviiden tarkistaminen</li> </ul> </li> </ul>
Seurantajärjestelmä	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Käytössä olevien järjestelmien tehokkaampi hyödyntäminen</li> <li>• Tavoitteiden asettaminen ja seuraaminen</li> </ul>

Sekä ominaislämmön että ominaissähkön kulutus on kasvanut hieman edellisestä arvioinnista, joten myös niiden nousun syitä tulisi tarkastella lähemmin. Lyhyellä aikavälillä kehitystoimien kannattavuutta on joskus hankalakin arvioida, mutta etenkin energian hinnan noustessa tulevaisuudessa, nousevat myös säästöt merkittäviksi. Usein energiataloutta parantava ratkaisu pidentää myös rakennusosan tai laitteen teknistä käyttöikää sekä tilamukavuutta, joten niiden kokonaisyöty nousee laskennallista hyötyä suuremmaksi.

## **17.POTENTIAALISET ENERGIANSÄÄSTÖKOHTEET ELEKTRO- NIKKATEHTAALLA**

### **Kohteen kuvaus**

Katselmuksen kohde on taajuusmuuttajia valmistava elektroniikkatehdas. Kiinteistössä on sekä tuotanto- että toimistotiloja. Rakennus on valmistettu vaiheittain vuodesta 1964 alkaen. Rakennuksen pinta-ala on n. 35 000 m<sup>2</sup>, josta on noin n. 40 % toimistotiloja, n. 50 % tuotantotiloja ja n. 10 % muita tiloja.

Energian suurin yksittäinen kulutuskohde on tuotantoprosessi, mutta se jätetään tässä tarkastelun ulkopuolelle. Muita suurimpia elektroniikkatehtaan sähköenergian kulutuskohteita ovat LVI-laitteet, valaistus ja atk- ja toimistolaitteet. LVI-laitteista ilmanvaihtojärjestelmä syö suuren osan laitoksen kuluttamasta lämpö- ja sähköenergiasta.

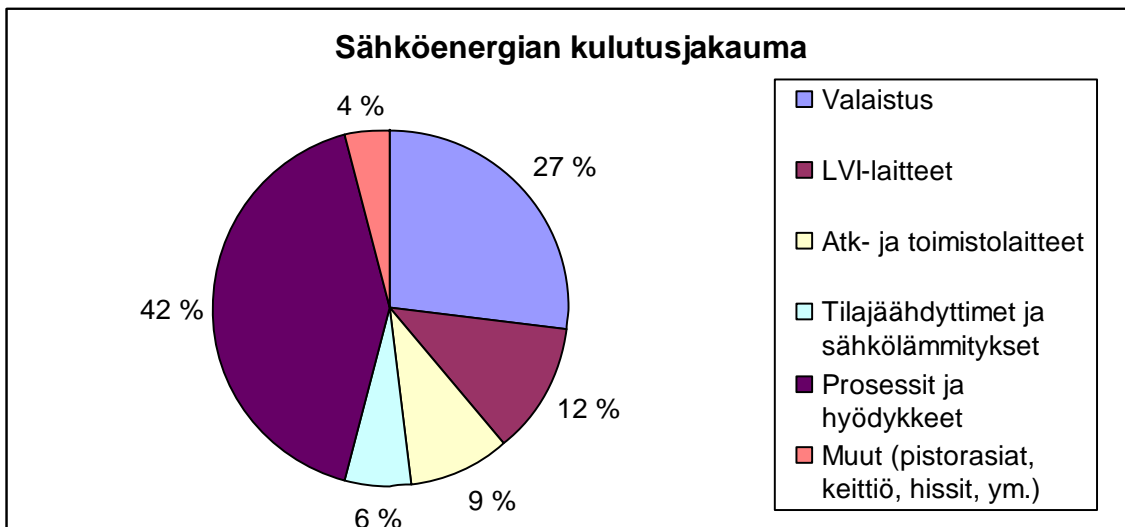
### **Tarkastelun tavoitteet**

Selvityksen tarkoituksena on karkealla tasolla kartoittaa elektroniikkatehtaan energiankulutusta sekä löytää potentiaalisia energiansäästökohteita. Työssä selvitetään kohteen suurimmat energiankulutuskohteet talotekniikan osalta ja esitetään ehdotuksia jatkotutkimuksille. Raportissa ei käsitellä tuotantoprosessin eikä tehdaspalvelujärjestelmien kuluttamaa energiaa. Suoranaisten energiansäästötoimenpiteiden sijaan työssä tuodaan esille kohteita, joita voisi olla hyödyllistä tarkastella lähemmin. Ehdotukset pohjautuvat asioihin, jotka tulivat esille tämän energia-auditoinnin yhteydessä pidetyssä palaverissa sekä kenttäkierroksella vuoden 2008 joulukuussa. Pohjatietona on käytetty myös kohteelle vuonna 2001 tehtyä Motiva-energiakatselmusta.

### **Energiankulutus ja potentiaaliset säästökohteet**

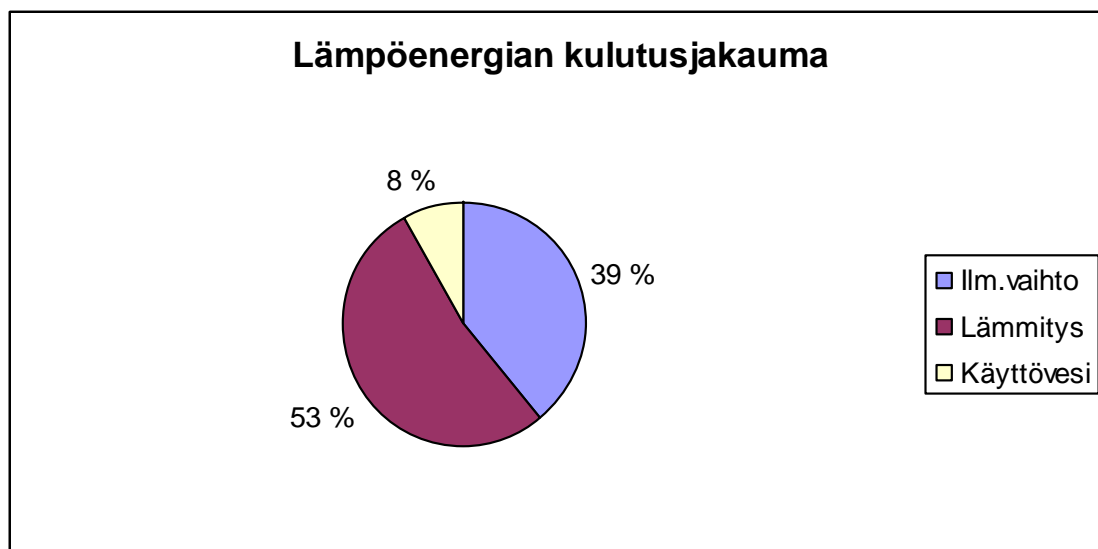
Tutkimuksen tietolähteinä on käytetty kohteen kiinteistövastaavien haastattelua, kenttäkierroksen havaintoja sekä vuonna 2001 kohteelle tehtyä Motiva-energiakatselmusraporttia. Sähkön ja lämmön kulutusta on tarkasteltu EnerKey-energianhallintapalvelun kulutusseurantatiedoista.

Selvittämällä suurimmat sähkön- ja lämmön kulutusryhmät, voidaan löytää potentiaalisimpia kohteita energiansäästöön. Suurimmat yksittäiset sähkön kuluttajat on esitetty kuvassa (17). Jakaumat ovat peräisin aiemmin tehdystä energiakatselmuksesta (Suomalainen et al. 2001). Arviot perustuvat oletettuun tehoon sekä käyttöaikaan.



**Kuva 17.** Sähköenergian kulutusjakauma.

Suurimmat yksittäiset lämpöenergian kuluttajat ovat lämmitys, ilmanvaihto ja käyttövesi. Motivan raportissa (Suomalainen et al. 2001) on esitetty kuva (18) mukainen lämmön kulutuksen jakauma elektroikkatehtaalle. Jakauma perustuu Motiwatti-ohjelmalla laskettuihin arvoihin ja arvioihin.



**Kuva 18.** Lämpöenergian kulutusjakauma.

Alla on esitetty kohteita, joita voisi olla hyödyllistä tarkastella lähemmin. Ehdotukset pohjautuvat asioihin, jotka tulivat esille tämän energia-auditoinnin yhteydessä pidetyssä palaverissa vuoden 2008 joulukuussa sekä vuonna 2001 tehtyyn Motiva-energiakatselmukseen.

### **Ilmanvaihtojärjestelmät**

Auditointipalaverissa ja tehdaskierroksella todettiin, että joissakin ilmanvaihtokohteissa lämmöntalteenotolla voisi saavuttaa energiasäästöjä, jos hukkaan heitetty lämpö hyödynnettäisiin tilojen lämmitykseen keväällä ja syksyllä. Esimerkiksi prosessiin liittyvässä kellarikoestuksessa ei oteta lämpöä talteen. Muun muassa koestuksen konehuoneiden lämmöntalteenoton hyödyntämisestä suositellaan jatkotutkimuksia.



Myös tuloilmakoneiden käyntiaikojen ja asetettujen lämpötila-arvojen tarkastelun avulla voitaisiin löytää säästöpotentiaalia.

### **Lämmitysjärjestelmät**

Alla mainittuja kohteita on tarkasteltu yksityiskohtaisesti vuonna 2001 tehdyssä Motiva-energiakatselmuksessa. Seuraaviin kohteisiin voi suositella jatkotarkastelua/toimenpiteitä:

- lämmönjakelu: putkiston, venttiilien ja pumppujen ja muiden lämmönjakeluun liittyvien komponenttien kunnan tarkastaminen ja tarvittaessa uusiminen
- Lämmönluovutus: onko pattereissa vielä kiertoventtiileitä? -> termostattiventtiilien asennus
- Putkieristysten kunto?
- Sisälämpötilat ja lämmitysjärjestelmän asetusten säätö

### **Valaistus**

Hallissa on aiemmin tehdyn selvityksen perusteella tehty valaistuksen ohjausmuutos. On kuitenkin huomattu, että ohjauksia käännetään käsiasentoon. Valaisimien tarpeetonta käyttöä voisi jatkotutkia.

Toimistojen, sosiaalityötilojen ja teknisten tilojen osalta lähempi valaistuksen tarkastelu mm. turhan päällälön suhteen voi olla perusteltu, tai aiemman energiakatselmuksen perusteella tehtyjen muutosehdotusten uudelleenarviointi.

### **ATK ja muut toimistolaitteet**

ATK-päätteiden lukumäärä E-tehtaassa on noin 750 kpl. Toimistoissa on noin 610 päätettä ja loput ovat tuotannossa. ATK-järjestelmästä johtuen päätteet ovat päällä jatkuvasti. Osa näytöistäkin (henkilökunnan mukaan noin 80 %) unohtuu päälle yön ja viikonlopun ajaksi (Suomalainen et al. 2001). Motiva-energiakatselmuksessa on todettu atk-näyttöjen turhan käytön rajoittamisen tuovan merkittävän energiansäästön. Tätä voisi tarkastella uudestaan ja pohtia, millaisin keinoin sen voisi toteuttaa.

Myös muiden toimistolaitteiden valmiustilojen energiankulutusta voisi arvioida, kuten kopiokoneet, printterit, kannettavien tietokoneiden telakat sekä neuvotteluhuoneiden tykit ja LCD-televisiot. Muita esille tulleita energiaa kuluttavia tekijöitä toimisto- ja sosiaalityötiloissa ovat seinään jätetyt kännyköiden laturit, kahviautomaatit ja jääkaapit. Lisäksi pohdittiin trukkien latureiden kuluttamaa energiaa, kun akku on jo ladattu mutta laturin virtaa ei ole kytketty pois.

### **Muut**

Muita esille tulleita asioita olivat mm. *oviaukkojen ilmaverhot*, niiden sähkökäytöt ja ohjaus, sekä ilmaverhojen riittävyys.

Keskusteltiin myös *paineilmajärjestelmästä* ja sen hyötysuhteesta. Tehtaan paineilma kompressorin toimintaa voisi tutkia lähemmin, ja selvittää esimerkiksi mahdollisuus hyödyntää kompressorin jäähdytysilman lämpöenergiaa.

Tehtaan kulutustietoihin tutustuessa kävi myös ilmi, että *veden kulutus* on jatkuvaa, se ei ole koskaan nolla-tasolla. Jatkuvan kulutuksen syy tulisi selvittää, sillä jatkuva kulutus voi johtua vuodosta.

Tässä raportissa esitetty *energiankulutuksen jakauma* on vain arvio, joka perustuu aiemmin tehtyyn Motiva-energiakatselmusraporttiin ja siinä tehtyihin oletuksiin. Tarkempia kulutustietoja voisi selvittää muuntajien tietojen avulla; selvittämällä niiden takana olevaa kulutusta.

## Johtopäätökset

Energian suurin yksittäinen kulutuskohde on tuotantoprosessi, mutta se jätettiin tässä tarkastelun ulkopuolelle. Muita suurimpia elektroniikkatehtaan sähköenergian kulutuskohteita ovat LVI-laitteet, valaistus ja atk- ja toimistolaitteet. LVI-laitteista ilmanvaihtojärjestelmä syö suuren osan laitoksen kuluttamasta lämpö- ja sähköenergiasta. Taulukossa (22) on esitetty kohteita, jotka tässä tarkastelussa nousivat pinnalle potentiaalisina energiansäästökohteina. Esitettyjen kohteiden lähempi tarkastelu voisi olla hyödyllistä.

**Taulukko 22.** Yhteenveto energiankulutuskohteista, joita voisi olla hyödyllistä tarkastella lisää.

Jatkotutkimuskohde	Huomioita
<b>Ilmanvaihtojärjestelmät</b>	
Lämmöntalteenotto koestuksessa	Koestuksen konehuoneiden lämpö johdetaan joissain tapauksissa ulos, esim. kellarikoestuksessa. Poistoilman lämpöä voitaisiin ehkä hyödyntää hallin lämmityksessä. LTO:n liisäämisen mahdollisuus ja kannattavuus vaatisi jatkotutkimuksia.
Ilmanvaihtokoneiden käyntiajat- ja asetukset	Motiva-energiakatselmusraportissa on esitetty säästötoimenpiteenä ilmanvaihdon käyntiaikojen lyhentäminen. Ko. toimenpiteitä voisi uudelleen arvioida.
<b>Valaistus</b>	
Tehdashallin valaistus	Hallissa on aiemmin tehdyn selvityksen perusteella tehty valaistuksen ohjausmuutos. On kuitenkin huomattu, että ohjauksia käännetään käsiasentoon. Valaisimien tarpeetonta käyttöä voisi jatkotutkia.
Toimistojen, sosiaalilojen ja teknisten tilojen valaistus	Onko valaistuksen taso optimaalinen, onko turhaa käyttöä?
<b>ATK ja muut toimistolaitteet</b>	
ATK-päätteet	Onko esim. näyttöjen turhaa päälläpitoa? Tätä voisi selvittää, sekä keinoja vaikuttaa käyttäjien tottumuksiin.
Muut toimistolaitteet	Kopiokoneiden, printtereiden ym. valmiustilojen energiankulutus, turha päälläolo? Käyttötottumukset?
<b>Muut</b>	
Oviaukkojen ilmaverhot	Niiden sähkökäytöt ja ohjaus? Onko ilmaverhoja riittävästi?
Paineilmajärjestelmä	Hyötysuhde, mahdolliset verkoston vuodot, kompressorin jäähdytysilman hyväksikäyttö?
Veden jatkuva kulutus	Kulutustietojen mukaan vedenkulutus ei koskaan nollatasolla, syy tähän?
energiankulutuksen jakauma	Tässä raportissa esitetyt tiedot arvioita, tarkemmat tiedot muuntajien tietojen avulla; selvittämällä niiden takana olevaa kulutusta.

## **18.VALAISTUKSEN OHJAUSMUUTOKSEN ENERGIANSÄÄSTÖVAIKUTUS OPETUSRAKENNUKSESSA**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin tutkinon opinnäytetyöhön (Kakkonen 2010, s.1-37).

### **Kohteen kuvaus**

Tarkastelun kohteena on opetus- ja tutkimusrakennuksen 2. rakennusvaiheen valaistuksen ohjaus. Kyseiseen rakennusvaiheeseen tullaan suorittamaan peruskorjaus, jonka puitteissa myös valaistuksen ohjausjärjestelmää voitaisiin muuttaa energiatehokkaammaksi. Tarkasteltavaan rakennusvaiheeseen kuuluu erilaisia tiloja, kuten toimistohuoneita, opetusluokkia, laboratorioita, käytäviä ja porraskäytäviä sekä aulatiloja.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Työssä selvitetään mahdollisuudet tarkasteltavan kohteen valaistuksen ohjauksessa. Erilaisia ohjaustapoja tarkastellaan energiatehokkuuden näkökulmasta tekemällä kannattavuuslaskelmat erilaisille ohjauslaitteiden investoinneille.

### **Energiansäästötarkastelu**

Työn tarkoituksena on selvittää liiketunnistimiin ja hämäräkytkimiin perustuvan valaistusjärjestelmän edellyttämien muutostöiden kannattavuutta tarkasteltavassa rakennusvaiheessa. Liiketunnistimiin ja hämäräkytkimiin pohjautuvien valaistusjärjestelmien tekniikka kehittyy jatkuvasti. Nykyistä tekniikkaa voidaan kuitenkin pitää tekniseltä tasoltaan riittävänä pidempiaikaisia investointeja ajatellen.

Valaistuksen ohjausmuutosta harkittaessa huomioon on otettava rahallisen kannattavuuden lisäksi myös tehokkaamman valaistusjärjestelmän mukanaan tuomat edut turvallisuudessa ja käytettävyydessä. Energiantehokkaan valaistusjärjestelmän käyttäminen tarkasteltavassa rakennusvaiheessa loisi lisäksi pohjan siirtyä vastaavanlaiseen tekniikkaan myös muissa rakennusvaiheissa. Muutostöiden kannattavuus saadaan selville vertaamalla laskettuja hankintahintoja muutostöiden toimittajan tarjoamiin hintoihin. Peruskorjauksen yhteydessä asennushinnan määrittäminen on huomattavasti vaikeampaa kuin muutostyössä, jossa liiketunnistin tai päivänvalo-ohjain lisätään järjestelmään jälkeenpäin.

### **Johtopäätökset energiansäästöpotentiaalista**

Valaistusjärjestelmän muutostyöt tarkasteltavan kohteen peruskorjauksen yhteydessä tulevat oletettavasti laskemaan energiankulutusta energiatehokkaampien valaisimien ansiosta vaikkei ohjaukseen tehtäisi oleellisia muutoksia. Kuitenkin ohjauksen tehostaminen aikaisempaa kehittyneemmällä tekniikalla laskisi energiankulutusta edelleen. Suoritetun laskennan tuloksista voidaan todeta energiankulutuksen vähenemisestä aiheutuvien säästöjen olevan huomattavia jo esimerkiksi yhden toimiston tai luokkahuoneen osalta. Suurin säästöpotentiaali luokkahuoneissa ja toimistoissa muodostuu pääosin ohjauksesta, sillä tehokkaalla ohjaukselle voidaan saavuttaa useamman kymmenen prosentin säästöt energiankulutuksessa.

## **19.PROSESSIHÄVIÖIDEN HYÖDYNTÄMINEN ELEKTRONIikka- TEHTAAN ILMANVAIHDOSSA**

Tämä tiivistelmä perustuu Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla tehtyyn kandidaatin tutkinon opinnäytetyöhön (Sinkkonen 2010, s.1-31).

### **Kohteen kuvaus**

Katselmuksen kohde on taajuusmuuttajia valmistava elektroniikkatehdas. Tarkastelussa selvitetään prosessien hukkalämmön hyötykäytön mahdollisuutta tehtaassa ilmanvaihdossa. Tutkittavat tilat olivat taajuusmuuttajien vanhennustestaukseen liittyviä moottori- ja testaustiloja, kaiken kaikkiaan tutkittavia kohteita on 13 kappaletta. Tarkastelussa perehdytään kolmen eri tuotteen valmistuslinjoihin sekä taajuusmuuttajien vanhennusjärjestelmään. Moottorituloihin on sijoitettu monia suuria sähkömoottoreita ja generaattoreita, joten tiloissa voi syntyä suuria hukkalämpökuormia, jos linjan käyttöaste on suuri. Testaustiloja ovat mm. vanhennustilat, jossa taajuusmuuttajia testataan pitämällä niitä ympäristöä korkeammassa lämmössä siten, että niiden lämpötila nousee korkeaksi. Tehtaalle jäi vielä monia tiloja, joita tutkimukseen ei sisällytetty.

### **Tarkastelun tavoitteet**

Työn tarkoituksena on tutkia elektroniikkatehtaassa ilmanvaihdon energiataloutta ja mahdollisuutta löytää energiasäästöjä hyödyntämällä prosessihäviöitä. Tutkimuksessa pyritään kartoittamaan, miten elektroniikkatehtaassa poistoilmavirtojen sisältämää energiaa voitaisiin käyttää hyödyksi. Lisäksi tutkitaan, kuinka tehtaassa suurta jäähdytystarvetta talvella ja varsinkin kesällä voitaisiin pienentää, ja näin vähentää jäähdytyksen energiakustannuksia. Työssä arvioidaan tutkittavissa kohteissa syntyvää hukkalämpötehoa ja sen rahallista merkitystä.

### **Energiasäästötarkastelu**

Joidenkin moottoritulojen jäähdytysilmanvaihdosta löydettiin lisätarkastusta vaativia seikkoja hukkalämmön talteenoton suhteen. Esimerkiksi tuotteen 1 valmistuslinjan moottorituloista 2 ja taajuusmuuttajien vanhennus – järjestelmän konehuoneesta 1 kaikki syntyneet häviöt johdetaan ulos ilman lämmön talteenottoa kaikkina vuodenaikoina. Lisäksi lisäkanavien rakentaminen tuotteen 1 – linjan moottorituloon 1 saattaa olla perusteltua.

Havaitut epäkohdat ja suositellut toimenpiteet/jatkotutkimuskohteet on esitelty taulukoissa (23, 24, 25 ja 26). Useassa tapauksessa havaitut epäkohdat eivät ole suoranaisia suunnitteluvirheitä, vaan tietoisia valintoja. Tämä johtuu siitä, että rakennusvaiheessa kaikki energian säästöön tähtäävät toimenpiteet eivät olleet kannattavia, tai sopivia järjestelmiä ei tuolloin ollut saatavilla. Esimerkiksi tuotteen 1 – linjan moottoritulo 2:n ja vanhennusjärjestelmän konehuone 1:n tapauksessa lisäkanavan rakentaminen olisi vaatinut palopeltien asentamista, joita ei kyseessä oleviin kanaviin ollut saatavilla tilojen rakentamisen aikaan.

Toinen säätötoimenpiteiden tekemättä jättämiseen vaikuttava tekijä lienee energian hinta. Kun tehtaassa tiloja suunniteltiin, ei häviötehojen arvo ollut riittävän suuri, jotta lisäkanavat olisi kannattanut rakentaa. Tänä päivänä tilanne saattaa olla joidenkin tilojen osalta toisin. Lisäksi energian hinnan nouseva trendi saattaa tehdä nyt vielä kannattamattomat investoinnit kannat-

taviksi tulevaisuudessa. Tästä syystä olisi ehkä syytä tutkia lisää tämän energia-auditoinnin esiin tuomia mahdollisuuksia.

Työn laskentaosuudessa arvioitiin karkeasti syntyneiden häviöiden hintaa ja sitä, kuinka paljon häviöiden hyötykäytöllä voitaisiin säästää. Tutkittavien kohteiden moottoritilojen häviömääräksi karkealla arviolla saatiin noin 1,3 MW ja häviöiden rahalliseksi arvoksi 656 000 €. Tarkempien arvojen saamiseksi tulisi selvittää moottoreiden kuluttamat tehot ja käyntiajat konekohtaisesti. Vaikka työssä tehty arvio on vain suuntaa antava, antaa se hyvän kuvan häviötehojen suuruusluokasta, eli siitä kuinka merkittävästä rahallisesta summasta on kyse. Tämän hetkinen taloudellinen tilanne ja sen mukanaan tuomat säästöpainheet huomioon ottaen voidaan sanoa, että häviötehojen hyödyntämisen mahdollisuuksia kannattaa tutkia lisää.

Työssä todettiin myös, että parhaassakaan mahdollisessa tapauksessa kaikkea syntyvää hukkaenergiaa ei voida ottaa talteen, ja talteen saadun energiayksikön arvo ei vastaa häviöenergiayksikön arvoa. Välttämättömät häviöt johtuvat siitä, että lämpöä voidaan ottaa talteen vain silloin, kun tehdashallissa on lämmityksen tarvetta, eli käytännössä vain talvella. Talteen otetun energian ja häviöenergian hinnan ero taas johtuu siitä, että häviötehot on tuotettu sähköllä, ja talteen otetulla energialla korvataan sähköä halvempaa kaukolämpöenergiaa. Näin ollen joka tapauksessa menetetään sähköenergiayksikön ja kaukolämpöenergiayksikön välinen hintaero. Häviötehojen hyödyntämistä voitaisiin kuitenkin parantaa, jos hallitilan kiertoilmakoneiden käyttöä voitaisiin hallita paremmin lämmityskaudella. Tästä syystä olisi järkevää selvittää tarkemmin miten kiertoilmakoneet nykyisessä järjestelmässä toimivat ja voitaisiinko niiden käyttöä rajoittaa lämmön talteenoton lisäämiseksi.

Yhteenvedona elektroniikkatehtaan taajuusmuuttajien vanhennukseen kuuluvien tilojen ilmanvaihdon osalta voidaan sanoa, että mitään hälyttäviä virheitä ei järjestelmissä ole. Monissa kohteissa olisi kuitenkin mahdollisuus säästää ja siksi lisätutkimuksia kannattaisi toteuttaa tehtaan häviöiden hyödyntämiseen liittyen. Taulukoissa (23, 24, 25 ja 26) on esitetty yhteenvedo huomionarvoisista seikoista tutkituissa kohteissa. Taulukoissa on myös esitetty ehdotukset ongelmien korjaamiseksi.

**Taulukko 23.** Yhteenvedo tuotteen 1 valmistuslinjasta. (Sinkkonen 2009)

<b>TUOTTEEN 1 VALMISTUSLINJA</b>				
<b>Tutkittava kohde</b>	<b>Havaitut epäkohdat</b>	<b>Mahdolliset ratkaisut</b>	<b>Muutoksissa otettava huomioon</b>	<b>Muutoksen kannattavuus</b>
<i>Moottoritila 1</i>	Nykyisessä häviötehojen talteenotossa syntyy hallitilaan ilmavirtojen epätasapaino, mikä lisää vuotoilmojen määrää.	Lisäkanavien lisääminen hallitilasta tuloilmapuhaltimien imupuolelle.	Kanavien lisäksi tulee asentaa säätöpellit, joilla säädetään ulkoilman ja halli-ilman suhdetta. Kanavien sijoittelussa voi tulla tilaongelmia.	Muutos on lisätutkimuksen arvoinen. Lisähyötynä lämmön talteenoton lisäksi on mahdollisuus säästää sopivan lämpöinen (ei liian kylmä) jäähdytysilma moottoreille talvella.
<i>Moottoritila 2</i>	Nykyisessä järjestelmässä kaikki häviötehot johdetaan ulos kaikkina vuoden aikoina.	Moottoritilassa lämmenneen jäähdytysilman puhaltaminen halliin.  Uusien kanavien rakentaminen.	Moottoritila ja hallitila ovat eri palotilaa, joten tilojen välille tarvitaan palopelti. Lisäksi kanavaan tulee asentaa äänen-	Moottoritilassa syntyy suuri häviöteho, joten tarkempien laskelmien tekeminen on järkevää. Investointina muutos ei ole kovin

			vaimennin, jotta moottoreiden melu ei leviä tehdashalliin.	kallis.
<i>Testauskaapit</i>	Testauskaapeilta Thermanet -järjestelmälle menevä kanava ei ole eristetty.	Kanavien eristäminen	Eristämisestä olisi hyötyä vain kesäaikaan.	Syntyneet lisälämpötehot ovat niin pieniä, että kanavan eristämiseen ei ole kannattavaa ryhtyä.
<i>Vedenjäähdytys</i>	Ei havaittuja epäkohtia.	Ei mainittavaa	Ei mainittavaa	Käsitellään pieniä tehoja, joten muutokset eivät ole kannattavia.

**Taulukko 24.** Yhteenveto tuotteen 2 valmistuslinjasta. (Sinkkonen 2009)

<b>TUOTTEEN 2 VALMISTUSLINJA</b>				
<b>Tutkittava kohde</b>	<b>Havaitut epäkohdat</b>	<b>Mahdolliset ratkaisut</b>	<b>Muutoksissa otettava huomioon</b>	<b>Muutoksen kannattavuus</b>
<i>Muuntajat</i>	Muuntajat aiheuttavat hallitilaan lämpöhäviöitä, jotka kesäaikana lisäävät jäähdytyksen tarvetta hallitilassa.	Sähkötilan ja poistoilmakanavan rakentaminen	Ei mainittavaa	Ei kannata ajatella muutoksia, koska lämmityskautena häviöistä on hyötyä ja tehot ovat suhteellisen pieniä.
<i>Vanhennustila</i>	Vanhennuksesta tulevat laitteet jäähtyvät tilaan, jota joudutaan jäähdyttämään.	Erillisen jäähtymistilan rakentaminen, poistoilmakupu tai laitteiden pitäminen pidempään vanhennustilassa voi ratkaista ongelman.	Jäähdytystilan ja poistoilmakuvun rakentaminen aiheuttaa ilmataseeseen epätasapainoa. Viipymäajan kasvattaminen voi vaikuttaa koko prosessiin.	Lisärakenteiden rakentaminen ei välttämättä kannattavaa, mutta viipymäajan kasvattaminen on lisätutkimisen arvoinen (vähentää myös vanhennustilan lämmityksen energian tarvetta).
<i>Moottoritila</i>	Tilan ilmavirta on säädetty kuristus-säädöllä. Puhaltimessa ei ole taajuusmuuttajaa.	Taajuusmuuttajan asentaminen puhaltimeen.	Virtausta säätevien säätöpeltien toimintaa joudutaan todennäköisesti muuttamaan.	Muutos kannattaa, koska taajuusmuuttajan asentaminen on yritykselle pieni kustannus. Tämä on myös imagokysymys.

**Taulukko 25.** Yhteenvedo tuotteen 3 valmistuslinjasta (Sinkkonen 2009)

<b>TUOTTEEN 3 VALMISTUSLINJA</b>				
<b>Tutkittava kohde</b>	<b>Havaitut epäkohdat</b>	<b>Mahdolliset ratkaisut</b>	<b>Muutoksissa otettava huomioon</b>	<b>Muutoksen kannattavuus</b>
<i>Vanhennustila</i>	Vanhennetut laitteet luovuttavat lämpöä jäähdytettävään tilaan.	Ei mainittavaa	Ei mainittavaa	Viipymäaika on valmiiksi pidempi kuin valm.linjalla 2, joten muutokset eivät kannata.
<i>Moottoritila</i>	Merkittäviä epäkohtia ei havaittu.	Ei mainittavaa	Ei mainittavaa	Järjestelmään ei ole tarve tehdä muutoksia.
<i>Jarrukäytöt ja linjakäytöt</i>	Suuret sähkölaitteet aiheuttavat hallitilaan suurehkoja lämpöhäviöitä.	Erillisen sähkötilan ja poistoilmajärjestelmän rakentaminen.	Ei mainittavaa	Lämpöhäviöistä on haittaa vain kesäaikana. Lämmityskautena häviöistä on hyötyä. Muutokset ovat kalliita, joten ne eivät kannata.
<i>Valvomo</i>	Nykyinen jäähdytys saattaa jäädä laitteiden mahdollisen lisäämisen jälkeen alitehoiseksi.	Järjestelmän tehostaminen tai uuden asentaminen.	Tilassa on herkkiä sähkölaitteita, joten tuloilman tulee olla riittävän puhdasta.	Jos laitteita lisätään, muutos kannattaa jotta laitteet eivät ylikuumentaisi.

**Taulukko 26.** Yhteenvedo taajuusmuuttajien vanhennus –järjestelmästä (Sinkkonen 2009)

<b>TAAJUUSMUUTTAJIEN VANHENNUSJÄRJESTELMÄ</b>				
<b>Tutkittava kohde</b>	<b>Havaitut epäkohdat</b>	<b>Mahdolliset ratkaisut</b>	<b>Muutoksissa otettava huomioon</b>	<b>Muutoksen kannattavuus</b>
<i>Vanhennustila</i>	Tilasta vuotaa ilmaa ulos todella paljon rikkiäisistä luukuista. Tämä aiheuttaa lämpöhäviöitä hallitilaan ja vanhennustilan lämpötilan laskun haluttua alemmas.	Uusitaan rikkinäiset luukut.	Ei mainittavaa	Lämpöhäviöiden hallintaan saannin lisäksi muutoksella saadaan prosessi toimimaan suunnitellulla tavalla (tilan lämpötila saadaan nostettua lähemmäs suunniteltua). Korjaus on halpa ja siksi kannattava toteuttaa.
<i>Konehuone 1</i>	Nykyisellä järjestelmällä menetetään kaikki moottoreiden tuottamat häviötehot.	Tulo- ja poistoilmakanaviin asennettava kanava ja säätöpellit, jotka imisivät jäähdytysilman hallitilasta ja palauttaisivat ilman takaisin hallitilaan.	Muutoksesta on hyötyä vain lämmityskautena. Moottoritila ja hallitila ovat eri palotilaa, joten palopelti tarvitaan. Lisäksi tarvitaan äänenvaimennin.	Asennuskustannukset eivät ole kovin korkeita ja alun perin muutos jätetty tekemättä palopeltien puutteen vuoksi. Nyt muutos saattaisi olla kannattava. Vaatii lisälaskelmia.

## LÄHTEET

- Almeida, et. Al., 2003. Market transformation of energy-efficient motor technologies in the EU, in Energy Policy, No 31, Elsevier. s. 563-575
- Aranto Niina. 2010. Pumppauskohteen energiatehokkuuden optimointi. Tutkimusraportti. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 9 s.
- Aranto Niina. 2009. Kemikaalipumppujen energiatehokkuuden optimointi. Tutkimusraportti. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 23 s.
- Aranto Niina. 2008. Raportti energia-auditoinnista teollisuusalueen vesilaitoksella. Tutkimusraportti. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 16 s.
- Europa. 2008. The Kyoto protocol. [verkkodokumentti]. [viitattu 1.5. 2009]. Saatavissa: <http://ec.europa.eu/environment/climat/kyoto.htm>
- Fenmer Oy. Fendoor-liuskaverho [verkkodokumentti]. Viitattu 18.11.2009. Saatavissa: <http://www.fenmer.com/suomi/liuskav.htm>
- International Energy Agency, Energy Technology Perspectives 2008. [Verkkodokumentti]. [viitattu 1.5. 2009]. Saatavissa: [http://www.iea.org/Textbase/techno/etp/ETP\\_2008\\_Exec\\_Sum\\_English.pdf](http://www.iea.org/Textbase/techno/etp/ETP_2008_Exec_Sum_English.pdf)
- Kakkonen Ville. 2010. Lappeenrannan teknillisen yliopiston 2. rakennusvaiheen valaistus – ohjaus, ryhmittely ja sijoitus. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), energiatekniikan koulutusohjelma. 37s.
- Karjalainen Satu. 2010. Toimistorakennuksen energiankulutustarkastelu. Erikoistyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 25s.
- Karvonen Lassi, Sorsa Reetta. 2009a. Raportti jäteveden pumppaamon energia-auditoinnista. Erikoistyö, ympäristötekniikan erikoistyöt – kurssilla. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 11 s.
- Karvonen Lassi, Sorsa Reetta. 2009b. Energiatarkastelu teollisuushallille. Erikoistyö, ympäristötekniikan erikoistyöt – kurssilla. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 20 s.
- Kosonen Ella. 2010. Toimistorakennuksen energiankulutustarkastelu. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 36 s.



Mertanen Maria. 2010. Energia-auditointipalveluprosessin kehittäminen. Pro gradu – tutkielma. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), kauppatieteiden osasto. 112 s.

Motiva Oy. 2009a. Lämpöenergian rakennustyyppikohtaisia ominaiskulutuksia raportoidussa palvelusektorin rakennuskannassa. [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/1964/lampo.pdf>

Motiva Oy. 2009b. Energiakatselmoijan käsikirja, osa 2 luku 5: Halliovet [verkkodokumentti]. Viitattu 18.11.2009. Saatavissa: <http://www.motiva.fi/extranet/energiakatselmoijat>. Vaatii käyttäjätunnukset.

Motiva Oy. 2009c. Sähköenergian rakennustyyppikohtaisia ominaiskulutuksia raportoidussa palvelusektorin rakennuskannassa. [verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.motiva.fi/files/1965/sahko.pdf>

Motiva Oy. 2003. CO<sub>2</sub> – päästökertoimet. [verkkojulkaisu]. [viitattu 20.1.2010]. Saatavissa: [www.motiva.fi/files/1418/Energiakatselmusten\\_CO2-ohje.pdf](http://www.motiva.fi/files/1418/Energiakatselmusten_CO2-ohje.pdf)

Mäkelä Eero. 2010. Muoviteollisuuden yrityksen energiakatselmuksen. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), energiatekniikan koulutusohjelma. 63 s.

Piipponen Henri. 2010. Lämpöenergian säästöpotentiaali kunnan omistamissa kiinteistöissä. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 31 s.

Rantula Heikki. 2010. Energiatehokkuuden parantaminen Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), sähkötekniikan koulutusohjelma. 118 s.

Rossi Mikael. 2010. Energiansäästömahdollisuudet valaistuksessa tehtaalla. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 35 s.

Sinkkonen Anssi. 2009. Prosessihäviöiden hyödyntäminen elektroniikkatehtaan ilmanvaihdossa. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), energiatekniikan koulutusohjelma. 50 s.

Stålhandske Kim. 2010. Valaistuksen energiansäästömahdollisuudet voimalaitoksella. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), energiatekniikan koulutusohjelma. 37 s.

Suomalainen Lauri, Kiuru Tomi, Antikainen Petri, Höglund Nils. 2001. Motiva-energiakatselmusraportti. Vantaa: KUPARI Solutions Oy. 78 s.

Suomi Ulla, Hietaniemi Janne, Hellgren Matti. 2004. Yksittäisen kohteen CO<sub>2</sub>-päästöjen laskeutushjeistus sekä käytettävät CO<sub>2</sub>-päästökertoimet. Motiva Oy, kesäkuu 2004. S. 11.

Tainio Pasi. 2010. Kunnan kiinteistöjen energiansäästöpotentiaali. Diplomityö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), energiatekniikan koulutusohjelma. 108 s.

Tapanen Anssi. 2010. Sähköenergian säästöpotentiaali kunnan omistamissa kiinteistöissä. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 32 s.

Taskinen Eero. 2009. Energiankulutuksen vähentäminen jäähdytyspiirin pumppausprosessissa. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto (LUT), ympäristötekniikan koulutusohjelma. 28 s.

Tuviala Antti. 2009. Marketing of Lappeenranta University of Technology energy auditing services. Diplomityö. Lappeenranta. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, tuotantotalouden koulutusohjelma. 100 s.