

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia
Tutkimusraportti 8

Lappeenranta University of Technology
Faculty of Technology. LUT Energy
Research report 8

Minna Tolvanen, Juha T. Kortelainen

Energiatehokkuuden parantaminen teollisuushalleissa -
Etelä-Karjalan pienten ja keskisuurten konepaja- ja kunnossapitoyritysten energiaoh-
jelma.

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Teknillinen tiedekunta. LUT Energia
PL 20
53851 LAPPEENRANTA

ISBN 978-952-265-006-1 (PDF)
ISSN 1798-1328

Lappeenranta 2010



TIIVISTELMÄ

Minna Tolvanen, Juha T. Kortelainen

Energiatehokkuuden parantaminen teollisuushalleissa - Etelä-Karjalan pienten ja keskisuurten konepaja- ja kunnossapitoyritysten energiaohjelma.

Lappeenranta 2010

35 s.

Teknillinen tiedekunta. LUT Energia.

Tutkimusraportti 8.

ISBN 978-952-265-006-1 (PDF)

ISSN 1798-1328

Työn tarkoituksena on lisätä Etelä-Karjalan pienten ja keskisuurten konepaja- ja kunnossapitoyritysten tietoisuutta energiatehokkuudesta sekä muista niitä koskettavista energia-asioista. Tietoisuuden lisäämiseksi tutkittiin yritysten energiankulutusta ja kulutustapoja. Tutkimusten pohjalta on kehitetty työkalu, energiaohjelma, jonka avulla tutkimuksen kohteena olleet yritykset voivat itse tarkastella omaa energiankulutustaan ja -tehokkuuttaan.

Energiaohjelmaa lähdettiin kehittelemään tutkimuksessa mukana olevan yritysryhmään kuuluvien yritysten haastattelujen pohjalta. Lisäksi muutamiin kohteisiin käytiin tutustumassa energiatehokkuuden mahdollisiin parannuskohtiin paikan päällä. Ohjelma muodostettiin näissä tapahtumissa havainnoitujen tarpeiden pohjalta. Haastattelujen lisäksi tutkimuksessa on käytetty lähteenä myös kirjallisuutta, tärkeimpinä Suomen rakentamismääräyskokoelmat.

Ohjelman testausta varten toteutettiin pilottiprojekti, josta saatiin laskennallisesti lupaavia tuloksia. Lämmöntalteenoton lisääminen teollisuushallin poistoilmaan osoittautui hyväksi tavaksi lisätä pilottiprojektissa mukana olleen yrityksen energiatehokkuutta ja hankkeen takaisinmaksuaika jäi alhaiseksi. Jatkoa ajatellen olisi hyvä, jos ohjelmaa voitaisiin kehittää edelleen samankaltaisten kohteiden avulla enemmän yrityksiä palvelevaksi kokonaisuudeksi.

Hakusanat: energiatehokkuus, pk-yritykset, konepaja- ja kunnossapitoyritykset

ABSTRACT

Minna Tolvanen, Juha T. Kortelainen

Improving energy efficiency of industrial halls - Energyprogramme for small and medium-sized engineering industry and maintenance enterprises

Lappeenranta 2010

35 p.

Faculty of Technology. LUT Energy.

Research report 8.

ISBN 978-952-265-006-1 (PDF)

ISSN 1798-1328

Meaning of this publication is to increase knowledge of energy efficiency and other energy related issues in small and medium-sized engineering industry and maintenance enterprises in South Karelia. To increase knowledge energy consumption and consuming behaviors of the enterprises were studied. A tool has been developed based on these studies. Energyprogramme gives enterprises involved the opportunity to examine their own energy consumption and efficiency by themselves.

Energy programme development was based on interviews and excursions. Excursions were made only in some enterprises and there the possible energy efficiency points of the industrial halls were studied. Programme was formed based on needs that were observed in these events. Besides interviews and excursions literature was also used as an information source. Most important literature source was The National Building Code of Finland.

Pilot project was made to test the programme. Project gave calculatorily promising result. Adding heat recovery to the industrial hall that was examined in the project turned out to be a good way to increase energy efficiency of the whole enterprise that owned it. Also the payback time of the heat recovery system stayed low. It would be good to have more similar objects to work with which could help to develop the energy programme into more helpful completeness in the enterprises point of view.

Keywords: energy efficiency, SMEs, engineering and maintenance enterprises

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	3
2	TILANNEKATSAUS	4
3	ENERGIAOHJELMA.....	5
3.1	Tavoitteet.....	5
3.2	Toimintasuunnitelma	5
4	INVESTOINTILASKENTAMENETELMÄT.....	10
4.1	Takaisinmaksuajan menetelmä.....	11
4.2	Nettonykyarvon menetelmä	11
4.3	Sisäisen korkokannan menetelmä.....	12
4.4	Elinkaarikustannusten arviointi	13
5	PILOTTIPROJEKTI	13
5.1	Lähtötiedot	14
5.2	Rakenteet.....	15
5.2.1	Muutoksen vaikutus.....	20
5.2.2	Tulokset.....	25
5.3	Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto.....	26
5.3.1	Muutoksen vaikutus.....	27
5.3.2	Tulokset.....	31
6	YHTEENVETO.....	32
	LÄHTEET	33

LIITE 1	Nykyarvotekijöitä, Jaksottaisten maksujen nykyarvotekijöitä
LIITE 2	Lähtötietojen keräyslomake
LIITE 3	Epätasaisten ainekerrosten lämmönvastukset, Seinien lisäeristeiden määrä, Katon lisäeristeiden määrä
LIITE 4	Nettonykyarvojen laskenta

1 JOHDANTO

Energian hinnan kallistuessa ja energian saatavuuden tullessa epävarmemmaksi ovat suuremmat yritykset alkaneet panostaa energia-asioihin viime vuosina huomattavasti. Energiatehokkaista laitteista ja rakennuksista on tullut yksi kuumimmista puheenaiheista nykyaikana. Silti monet pienet ja keskisuuret yritykset eivät ole kiinnostuneita omasta energiankulutuksestaan, varsinkaan jos energian ei koeta kuuluvan yrityksen suurimpiin menoeriin. Energiatehokkuuteen panostaminen voi antaa yrityksille suuriakin säästöjä ja kilpailuetuja tulevaisuudessa.

Julkaisu on tiivis läpileikkaus diplomityöstä *Etelä-Karjalan pienten ja keskisuurten konepaja- ja kunnossapitoyritysten energiaohjelma* ja siitä on muodostettu enemmän yrityksiä palveleva julkaisu. Työssä käydään läpi kyseisen yritysryhmän energia-asioiden tilaa, selvennetään erilaisia investointilaskentatapoja, esitellään energiaohjelmaa ja sen käyttömahdollisuuksia sekä esitetään energiaohjelmalla toteutettu pilottiprojekti ja sen tuloksia.

Julkaisun avulla pyritään saamaan yritykset kiinnostumaan energiatehokkuudesta ja sen tarjoamista säästömahdollisuuksista. Julkaisulla halutaan saada yritykset kiinnostumaan oman energiatehokkuuden potentiaalin selvittämisestä ja huomioon ottamisesta päätöksiä tehdessä. Lisäksi yrityksiä halutaan saada enemmän kiinnostuneeksi uusiutuvien energioiden lisäämisen mahdollisuuksien selvittämisestä omassa toiminnassaan. Energiaohjelman käytännön toteutusta varten kerrotaan myös valtiollisista tuista, joilla energiauudistuksia voidaan osittain rahoittaa. Eri kustannuslaskentatapojen esittelyllä pyritään antamaan yrityksille valmiuksia tarkastella hankintojensa kannattavuutta ja takaisinmaksuaikoja myös muilla kuin suoralla takaisinmaksuajalla. Energiaohjelma tarjoaa yrityksille vaihtoehdon tarkastella itse omaa energiankulutustaan ja osittain säästää mahdollisissa konsultointikuluissa.

2 TILANNEKATSAUS

Etelä-Karjalan konepaja- ja kunnossapitoyrityksiltä kerättiin helmikuussa 2010 tietoja puhelimitse yritysten energiankäytöstä, -tehokkuudesta sekä uusiutuvasta energiasta. Kerättyjen tietojen perusteella kartoitettiin alueen yritysten tämän hetkistä energia-asioiden tilaa. Kyselyyn osallistui yhteensä 22 alueen yritystä, joista neljä yritystä halusi osallistua myös jatkotutkimukseen kenttäkierroksen merkeissä. Kenttäkierrokset toteutettiin toukokuussa 2010 ja niissä keskityttiin lähinnä yritysten energiatehokkuuden ongelma-kohtiin.

Yritykset mielsivät energian tärkeäksi osaksi liiketoimintaansa ja energiansäästö sekä uusiutuvat energianlähteet nähtiin positiivisessa valossa. Oman energialaskun kustannuksella ei kuitenkaan oltu valmiita lisäämään uusiutuvien energioiden määrää oman energiankulutuksen osalta. Yleisesti ottaen yritykset olivat joko liittyneet paikalliseen kaukolämpöverkkoon tai sitten yrityksillä oli maakaasukattiloita, joilla niiden lämpö valmistettiin. Sähkön yritykset ottivat valtakunnan verkosta ja omaa sähköntuotantoa ei juuri alueen yrityksillä ollut. Energiatehokkuuden osalta yritykset olivat lähinnä kiinnostuneita lämmönlähteenotosta ja rakenteiden eristyksestä. Muut energiatehokkaat laitteet, kuten korkean hyötysuhteen sähkömoottorit ja taajuusmuuttajat, olivat suurelle osalle yrityksistä tuttuja mutta kiinnostusta niiden käyttöönottoon ei tuntunut olevan.

Syitä energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian kiinnostamattomuuteen alueella voi olla Suomessa myytävän energian halpa hinta verrattuna muuhun Eurooppaan, sekä yritysryhmän energiakustannukset, jotka ovat noin 1–5 % yritysten kokonaiskustannuksista. Lisäksi haastatteluista kävi ilmi, että suurin osa yrityksistä ei tunnu seuraavan energiankustannuksiaan, kulutusta tai energian hintaa lainkaan. Alueen yrityksillä on näin ollen mahdollisuus halutessaan parantaa energia-asioiden hallintaa ja energiatehokkuutta huomattavasti.

3 ENERGIAOHJELMA

Energiaohjelma pohjaa kyselyissä esiin tulleisiin ongelmakohtiin. Suunnitelmaa muodostettaessa määritettiin ohjelman tavoitteet sekä toimintasuunnitelma. Toimintasuunnitelmassa on kehitetty alueen pk-yrityksille tarkoitettu työkalu, jolla he voivat itse seurata energiankulutustaan ja jota voidaan käyttää apuna energiatehokkuuden parannusten suunnittelussa.

3.1 Tavoitteet

Energiaohjelman tavoitteena on lisätä tietoa energia-asioista pk-yrityksissä. Energiaohjelmalla pyritään vaikuttamaan erityisesti yritysten johtajiin ja omistajiin, joita yritetään saada kantamaan vastuuta yritystensä energia-asioista. Energiaohjelman tavoitteena on myös ottaa huomioon tosielämän realiteetit, eikä kaikkea pyritä muuttamaan heti tässä ja nyt. Tärkeintä olisi saada ajattelutavoissa muutos. Tämä voisi olla esimerkiksi uusien hankintojen kohdalla investointimenetelmän vaihdos takaisinmaksuajasta elinkaarikustannuksien laskentaan. Pitkällä tähtäimellä säästyneiden energiakulujen myötä energiatehokkaampi kone tulee halvemmaksi kuin lähtöhinnaltaan halvempi ja enemmän kuluttava kone. Käytännössä ohjelman tavoitteet tähtäävät energian käytön ja kulutuksen vähentämiseen sekä tulevaisuuteen varautumiseen. Energiatehokkuus säästää myös kustannuksia, jolloin yrityksissä syntyy pitkällä tähtäimellä sekä talouden että ympäristön kannalta suotuisia tilanteita. Ohjelmalla pyritään myös parantamaan yritysten kilpailukykyä energianhinnan noustessa.

3.2 Toimintasuunnitelma

Toimintasuunnitelma on kehitelty haastatteluissa ilmenneiden tarpeiden pohjalta. Suunnitelma on pyritty rakentamaan siten, että yritykset voivat itse tehdä kannattavuuslaskelmia energiatehokkuuden parissa ja näin pohtia itse uudistusten mielekkyyttä. Uudistusten toteutuksessa kannattaa yrityksen miettiä ulkopuolisen avun palkkaamista. Toimintasuunnitelma koostuu kuudesta eri vaiheesta, jotka on esitetty kuvassa 1. Eri vaiheista voidaan aina palata takaisin ja miettiä olivatko tehdyt ratkaisut oikeita. Energia-

ohjelma on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaiseksi ja helpoksi toteuttaa. Ohjelmaa käyttäessä kannattaa muistaa, että sillä saadaan aikaan vain suuntaa-antavia arvoja.

Energiaohjelman tarpeellisuutta omalle yritykselle voi pohdiskella esimerkiksi seuraavien kysymysten avulla:

- Ovatko yrityksen lämmityskulut liian suuret?
- Minä vuonna rakennukset ovat rakennettu ja milloin niitä on uusittu?
- Onko rakennuksissa lämmöntalteenottoa esimerkiksi ilmastoinnissa?
- Tarvitaanko kesällä jäähdytystä?
- Ovatko työtavat ja –koneet energiaa säästäviä?
- Onko lähitulevaisuudessa tarvetta uusille laitehankinnoille?
- Onko ilmastointi/lämmitys/valaistus ajastettu?
- Haluaako yritys säästää energiakustannuksissa?

Jos yhteen tai useampaan kysymykseen vastattiin kyllä, kannattaa yrityksen lähteä selvittämään mahdollisia parannuskohteita. Parannuskohteita voisi lähteä etsimään muun muassa näiden asioiden joukosta

Työprosessien mahdolliset energiatehokkuuskohteet:

- Työntekijöiden käyttötottumukset. Opastetaan työntekijöitä säästämään ja kuluttamaan energiaa tehokkaasti. Suljetaan ovet ja hanat vuotojen välttämiseksi sekä sammutetaan valot tiloista poistuessa.
- Lämpökäsittelyuunit. Tukitaan turhat ilmavuodot, vältetään käyttöä sähkönkulutuksen huippuaikaan sekä keskitetään uunien käyttö yhtenäiselle ajanjaksolle.
- Hitsaustapa. Valitaan hitsaustapa työkohteen mukaan ja vältetään paljon energiaa tarvitsevia hitsauslaitteita, kuten MIG/MAG.
- Pintakäsittelyaltaat. Eristetään lämmönkarkailun välttämiseksi ulkopuolelta sekä mahdollisuuksien ja tarpeen mukaan hankitaan altaaseen sopiva kansi.

(Salmela 2010, 19-23)

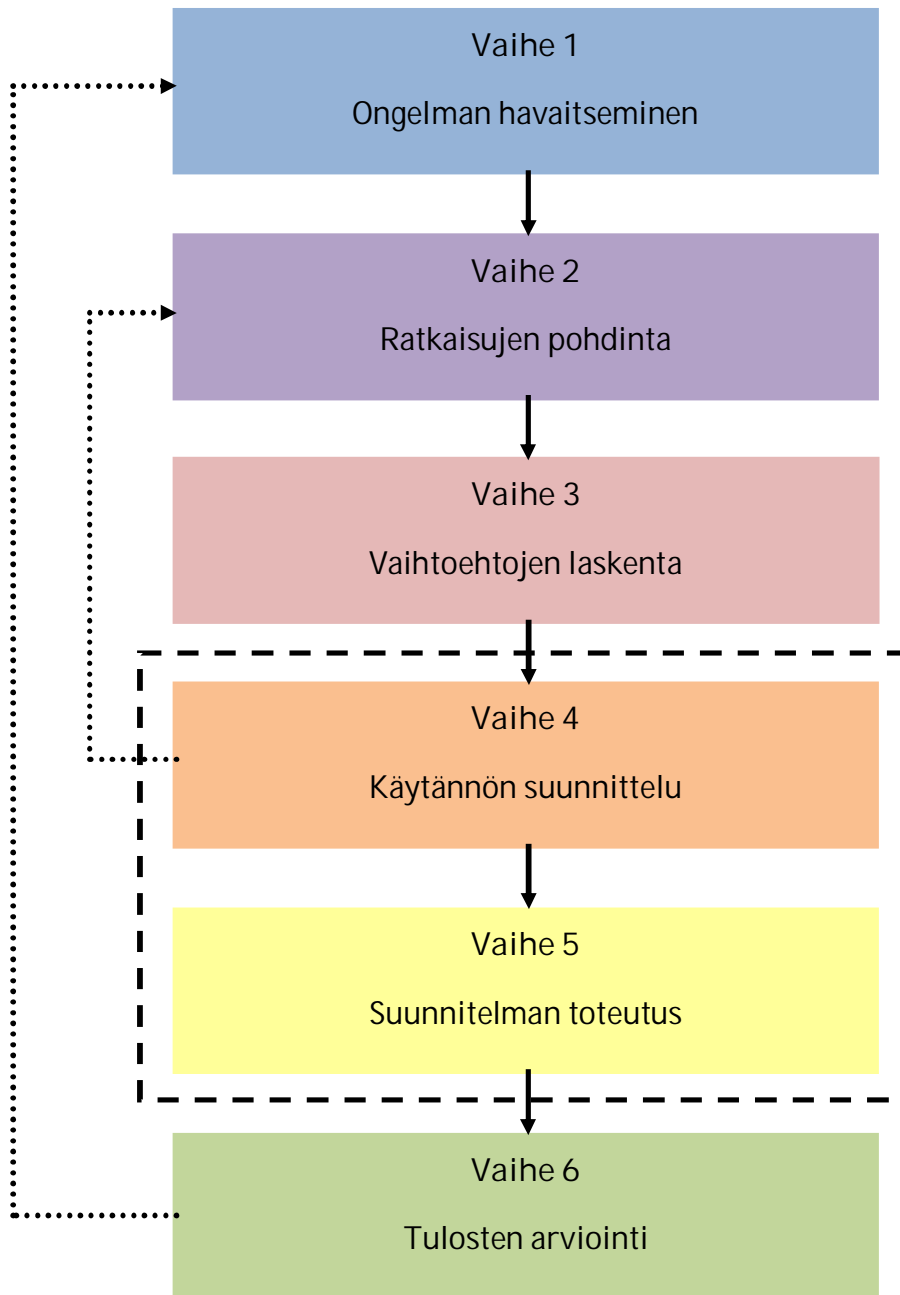
Kiinteistökohtaiset mahdolliset energiatehokkuuskohteet:

- Valaistus. Suunnitellaan tarpeellinen valaistus ja käytetään mahdollisuuksien mukaan kohdevalaisimia. Hyödynnetään luonnonvalo mahdollisimman hyvin sekä huolehditaan valaisinten ja ikkunoiden puhtaana pidosta. Ajustetaan valaistus käyttöaikoja vastaaviksi.
- Lämmitysjärjestelmä. Tarkastellaan onko tiloissa riittävän hyvät eristyksen ja tiivistykset ja tukitaan turhat reiät, vertaillaan lämpöpumppujen hyödyllisyyttä kohteissa sekä vaihdetaan vähän käytettyihin tiloihin paikalliset lämmittimet. Ajustetaan tilojen lämmitys käyttöaikoja vastaaviksi.
- Ilmanvaihto ja ilmastointi. Optimoidaan ilmanvaihto työajan mukaan sekä kohteen tarpeeseen sopivaksi esimerkiksi kohdepoistoilla. Otetaan poistoilmasta lämpö talteen.
- Paineilmajärjestelmä. Säädetään järjestelmä vastaamaan todellista tarvetta. Tukitaan järjestelmän vuotokohdat ja käytetään kompressorin aiheuttama lämpö hyväksi.
- Sähkömoottorit. Tehostetaan käyttöä ja optimoidaan järjestelmä vastaamaan todellista tehon tarvetta. Moottoreihin voidaan harkita käytettäväksi mahdollisuuksien mukaan myös taajuusmuuttajia
- Veden kulutus. Käytetään lämmintä vettä säästeliäästi ja tukitaan mahdolliset vuodot vesijärjestelmässä. Otetaan mahdollisuuksien mukaan lämpö talteen jätevedestä.

(Salmela 2010, 23-27)

Energiaohjelman vaiheet voidaan määritellä seuraavasti:

- 1) Ohjelman ensimmäisessä vaiheessa pyritään hahmottamaan syyt, jotka ovat joltaneet muutostarpeeseen. Tässä vaiheessa tulisi miettiä mitkä asiat vaikuttavat ongelmaan sekä hahmottaa ne asiat, joita on mahdollista parantaa. Ongelmana voi olla esimerkiksi teollisuushallin suuri lämmön kulutus ja sen karkaaminen harakoille. Tähän vaikuttaa muun muassa huono rakennusten eristys tai huonolla hyötysuhteella toimivat lämpökoneet.



Kuva 1. Energiaohjelman vaiheet.

- 2) Toisessa vaiheessa havaitulle muutostarpeelle mietitään korjaus- ja parannusvaihtoehtoja sekä pohditaan ovatko mahdolliset parannukset järkeviä suorittaa. Esimerkiksi lämmönkarkailun yhteydessä voidaan miettiä olisiko rakennuksen lämmöneristys tai mahdollisesti lämmöntalteenotto ilmastoinnista sopiva ratkaisu ongelmaan.

- 3) Kolmannessa vaiheessa lasketaan valittujen parannusten kustannuksia ja takaisinmaksuaikaa. Pyritään valitsemaan vaihtoehto, joka maksimoi hyödyn sekä energiatehokkuuden ja talouden kannalta. Toisin sanoen tarkastellaan saadaanko lisäerityksestä tai lämmöntalteenottolaitteesta riittävästi hyötyä kuluja kohtaan ja kuinka pitkäksi takaisinmaksuaika suurin piirtein venyy.
- 4) Neljännessä vaiheessa tehdään tarkempia suunnitelmia valitun uudistuksen käytännön toteutuksesta. Mahdollisen ulkopuolisen avun palkkaaminen tulee tässä vaiheessa aiheelliseksi, jos yritys haluaa tarkemmat kustannusarviot uudistuksesta. Tässä vaiheessa voidaan myös palata miettimään ongelmalle uusia ratkaisuja, jos valittu vaihtoehto huomataan epäsovinnoksi ratkaisuksi.
- 5) Viides vaihe on valitun uudistuksen toteuttaminen. Jos epäilee oman yrityksen mahdollisuuksia toteuttaa uudistus itse, kannattaa se teettää ammattilaisella. Tällöin varmistetaan työn laadusta sekä mahdollisten kansallisten määräysten noudattamisesta. Jos ulkopuolista urakoitsijaa käytetään apuna, yrityksen olisi hyvä pitää myös oma edustaja mukana projektissa, jotta lopputulos vastaisi haluttua.
- 6) Kuudennessa vaiheessa arvioidaan uudistuksen tulokset ja suoritetaan lopulliset laskelmat energiansäästöistä sekä parannuksen taloudellisista vaikutuksista. Jos haluttuja tuloksia ei ole saavutettu, voidaan palata ensimmäiseen vaiheeseen ja miettiä oliko ongelma määritetty oikein ja miksi tuloksia ei saavutettu.

Energiatehokkuushankkeisiin on olemassa erilaisia tukia ja ohjelmia, jotka parantavat investointien kannattavuutta yrityksen kannalta katsottuna. Esimerkiksi ESCO-hankkeissa ulkopuolinen energia-asiantuntija suorittaa yrityksen toivomia toimenpiteitä ja investointeja energian säästämiseksi. ESCO-hanke on yleensä jatkoa energian käytön tarkasteluille ja se, sekä energiansäästöinvestointi maksetaan säästöillä, jotka energian kulutuksen väheneminen tuottaa. Kun investoinnit on maksettu, alkaa energiansäästö näkyä yrityksen omassa toiminnassa vähentyneinä energialaskuina. ESCO-palveluntarjoaja on vastuussa energiatehokkuuden paranemisesta. ESCO-hankkeisiin on myös mahdollista saada valtiollista tukea. (Lappalainen et al. 2005, 2.)

Työ- ja elinkeinoministeriö myöntää tukea erilaisiin energiatehokkuutta lisääviin hankkeisiin. Energiansäästöinvestoinneille tuen suuruus on noin 15–20 % hankkeen kustan-

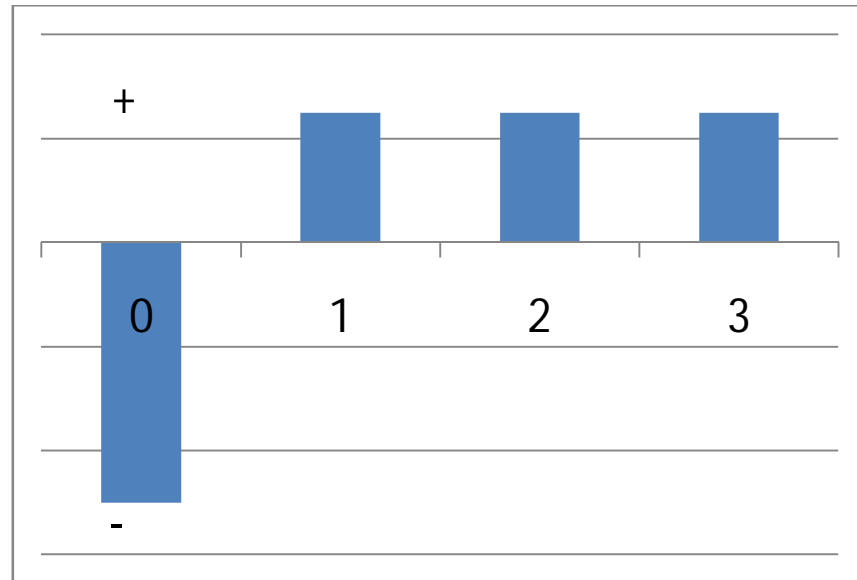
nuksista. ESCO-palveluiden hankkeisiin tuen suuruus on ollut noin 20–25 %. Energia-katselmusten ja –analyysien tuki on yleensä noin 40-50 %. Jokaisen hankkeen tukimäärä arvioidaan erikseen. Energiansäästöinvestointituen saamiselle on olemassa muutamia vaatimuksia, jotka hankkeen tulee täyttää. Hankkeen tulee olla energiaa säästävä ja oikeisiin laskelmiin perustuva. Koulutus, seurannan tehostaminen tai uudisrakentaminen ei ole hyväksyttävää tuen piiriin. Lisäksi hankkeen suora takaisinmaksuaika tulisi olla noin 3-15 vuotta. Tätä pienemmät ajat katsotaan toteutuvan joka tapauksessa riippumatta energiatuen saannista ja ylimeneviä aikoja ei lasketa enää energiainvestoinneiksi johdun kannattavuuden heikkoudesta energiansäästön kannalta. (EK 2009a, b, c.)

4 INVESTOINTILASKENTAMENETELMÄT

Energiaohjelman kohdat 1 ja 2 keskittyvät potentiaalisten energiansäästökohteiden löytämiseen. Kun mahdolliset kohdat on havaittu, ohjelman kohdassa kolme keskitytään tarkastelemaan investointien kannattavuutta taloudellisesti. Energian säästämisen mahdollisuudet voidaan jakaa karkeasti kahteen osaan: niihin, joihin ei tarvitse tehdä investointia, esimerkiksi käyttötottumusten muuttaminen, ja niihin, jotka tätä vaativat. Tässä kappaleessa esitellään muutamia investointilaskentamenetelmiä, joiden avulla voi tarkastella energiansäästökohteiden taloudellista kannattavuutta. Laskelmia tehdessä olisi suositeltavaa käyttää useampaa kuin yhtä menetelmää, sillä tulokset voivat joissakin tapauksissa päinvastaisia, etenkin jos vertaillaan kahden eri investointivaihtoehdon kannattavuutta.

Kaikissa investointilaskentamenetelmissä perusideana on muuntaa energiankulutuksen pienenemisestä aiheutuva energiansäästö rahalliseksi. Muunto tapahtuu kertomalla säästetyn energian määrä energian hinnalla. Laskelmissa tulisi kuitenkin ottaa huomioon energian hinnan epävarmuus. Etenkin pitkän tähtäimen laskelmilla on riski epätarkkuuteen, koska energian hinta vaihtelee jatkuvasti tarjonnan ja lainsäädännön mukaan. Investointilaskentamenetelmistä voi lukea lisää johdon laskentatointa käsittelevistä kirjoista.

Kuva 2 osoittaa tyypillisen investoinnin kassavirrat. Merkitään investointiajankohtaa nolllalla. Energiansäästöinvestoinneissa ajatellaan tulevaisuuden säästöt (kuvassa vuosina 1-3) positiivisina kassavirtoina, joilla on tarkoitus kustantaa investoinnista aiheutuvat kulut.



Kuva 2. Investoinnin tyypilliset kassavirrat

4.1 Takaisinmaksuajan menetelmä

Takaisinmaksuajan menetelmässä ei oteta huomioon minkäänlaista laskentakorkoa, vaan se on yksinkertaisesti investoinnin hinta jaettuna vuosittaisilla energiansäästöillä. Tulokseksi saadaan aika, jossa investointi maksaa itsensä takaisin nykyisellä hintatasolla säätyneiden kustannusten muodossa. Kuvaan 2 suhteutettuna takaisinmaksuaika on se aika, jolloin plussan puolella olevat palkit ovat yhteensä yhtä pitkiä kuin miinuspuolella oleva palkki. Takaisinmaksuaika ei varsinaisesti kuvaa investoinnin kannattavuutta, vaan sen rahoitusvaikutuksia. (Haverila et al 2005, 206.)

4.2 Nettonykyarvon menetelmä

Nettonykyarvon käyttäminen huomioi rahan aika-arvon takaisinmaksuaikaa paremmin, joten sen käyttäminen olisi suositeltavaa investointilaskelmia tehtäessä. Menetelmässä

investoinnin energiansäästöistä tulevat kassavirrat diskontataan yhtälöllä 1 nykyarvoon. Mikäli kassavirtojen nykyarvo on suurempi kuin itse investointi, on hanke kannattava.

Energiansäästöä aiheutuvien kassavirtojen diskonttaaminen nykyarvoon voidaan tehdä kertomalla kassavirta diskonttaustekijällä

$$\frac{1}{(1+i)^n} \quad (1)$$

i = valittu korkokanta (tuotto-odotus)

n = aika vuosina

Mikäli investoinnista aiheutuvan energiasäästön oletetaan olevan sama usean vuoden ajan, voidaan käyttää jaksollisten maksujen nykyarvotekijää, jolla kassavirta kerrotaan kerran.

$$\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2)$$

Molempia nykyarvotekijöitä löytyy taulukoituna liitteestä 1.

Menetelmällä on kuitenkin omat haasteensa, kuten tulevaisuuden kassavirtoja arviointi. Energiansäästöinvestoinneissa kassavirrat riippuvat lähinnä energian hinnasta sekä säästetyn energian määrästä. Myös investoinnin jäännösarvo käytöstä poiston hetkellä voi olla myös haasteellista arvioida. Joillakin investoinneilla voi olla vielä myyntiarvoa pitoajan jälkeen, joten jäännösarvo on laskelmissa positiivinen. Mikäli poistetun investoinnin romuttamisesta tulee maksaa, on jäännösarvo negatiivinen. (Haverila et al. 2005, 199–203.)

4.3 Sisäisen korkokannan menetelmä

Sisäisen korkokannan menetelmässä nettonykyarvon menetelmässä esitetty investoinnin nykyarvo asetetaan nolllaksi ja ratkaistaan se korko, jolla yhtälö pätee. Saatua korkokan-

taa verrataan käytettävään tuotto-odotukseen ja mikäli sisäinen korkokanta on tätä suurempi, on investointi kannattava. Ratkaiseminen voidaan tehdä kokeilemalla erilaisia korkokantoja, ja kätevin tapa tähän on käyttää taulukkolaskentaa. (Haverila et al 2005, 204.)

4.4 Elinkaarikustannusten arviointi

Elinkaarikustannuksia arvioitaessa menetelmä on pitkälti samanlainen kuin nettonykyarvo menetelmä, mutta siinä huomioidaan enemmän kustannusluokkia säästöjen, alkuinvestoinnin ja jäännösarvon lisäksi. Muita kustannuksia tulee muun muassa investoinnin huollosta ja ylläpidosta. Elinkaarikustannusten arviointi soveltuu käytettäväksi erityisesti silloin, kun halutaan verrata kahta eri vaihtoehtoa ja huomioida niiden käyttöönsä aikaiset kustannukset.

5 PILOTTIPROJEKTI

Pilottiprojektissa testattiin energiaohjelman toimivuutta ja helppokäyttöisyyttä. Pilottiprojektiin valittiin Lappeenrannassa sijaitsevan Outotec Filters Oy:n (entinen Larox Oy) omistuksessa oleva kaksiosainen teollisuushalli. Projekti alkoi kartoittamalla hallin energiankulutusta. Hallin huomattiin kuluttavan runsaasti lämpöenergiaa ja haluttiin saada selville voisiko tässä olla yksi energiansäästökohde. Tästä päästiin energiaohjelman ensimmäiseen vaiheeseen. Lämpöä tuntui menevän hukkaan joka puolelta, rakenteiden lävitse, talvella avonaisista ovista sekä ilmanvaihdon mukana. Ohjelman toisessa vaiheessa pohdittiin miten lämpöhäviöt saataisiin kuriin ja päädyttiin vertailemaan sekä rakenteiden lisäeristystä että lämmöntalteenoton lisäämistä hallista tulevaan poistoilmaan. Kolmannessa vaiheessa suoritettiin taloudellisia laskelmia vaihtoehtojen perusteella. Tästä eteenpäin energiaohjelman kohdat 4, 5 ja 6 jäivät yrityksen pohdittaviksi, kannattaako hukkalämmön pienentämiseen panostaa ja tuovatko parannukset yritykselle tarpeeksi taloudellista hyötyä.

5.1 Lähtötiedot

Lähtötietojen perusteella lasketaan alustavat energiansäästömahdollisuudet ja vaihtoehtojen kannattavuus. Taulukossa 4 on esitetty yritykseltä saadut lähtötiedot. Liitteessä 2 on esimerkkilista lähtötietojenkeräämiseen.

Taulukko 4. Pilottiprojektiin valitun hallin lähtötiedot.

Pinta-ala	5 035 m ²
Tilavuus	56 390 m ³
Korkeus	11,2 m
Sisälämpötila	18–22 °C
Vuotuinen lämmitysaika	n. 4 320 h/a
Seinien materiaali	siporex
Seinien paksuus	250 mm
Seinien pinta-ala	n. 3 200 m ²
Ikkunoiden pinta-ala	n. 200 m ²
Katon materiaalit	siporex/ontelolaatta
Katon paksuudet	200–250 mm
Katon pinta-ala	5 035 m ²
Ovien materiaali	pelti
Ovien pinta-ala	n. 200 m ²
Ovien paksuus	n. 60 mm
Ilmanvaihto	syrtäytys ilmanvaihto
Ilmanvaihdon käyttöaika	n. 14 h/päivä
Ilmanvaihdon teho	2 kW
Ilmanlämmitysjärjestelmä	vesi
Ilmanlämmityksen käyttöaika	24 h/päivä
Kohdepoistojen imurien määrä	3 kpl
Kohdepoistojen imurien tehot	1,5 kW
Kohdepoistojen imurien käyttöajat	8 h /päivä
A-hallin tulopuhallin	11,1/5,5 m ³ /s
A-hallin poistopuhallin	11,1/5,5 m ³ /s
B-hallin tulopuhallin	15/7,5 m ³ /s
B-hallin poistopuhallin	12,5/5,5 m ³ /s

5.2 Rakenteet

Lasketaan hallin eri osien U-arvot, rakenteiden kautta häviävä lämpömäärä sekä hallien lämmitykseen tarvittava energiamäärä. Lasketaan myös lisäeristykseen aikaansaama lämpöenergiänsäästö ja tarkastellaan hallin rakenteiden muutoksista aiheutuvia kustannuksia.

U-arvo ilmaisee sen lämpövirran, joka siirtyy rakenteen läpi. Käytännössä mitä pienempi U-arvo rakenteella on, sitä tehokkaampi on sen lämmöneristys. Ympäristöministeriön julkaiseman Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C4 (2003, luku 2) löytyy valmiita yhtälöitä U-arvon laskentaan. Lähtötietojen perusteella saadaan laskettua seinien, katon ja ovien U-arvot yhtälöllä

$$U = 1/R_T \quad (3)$$

$$U = \text{lämmönläpäisykerroin} \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \right]$$

$$R_T = \text{rakennusosan kokonaislämmönvastus ympäristöstä ympäristöön} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right].$$

Kun oletetaan rakennusosien rakennekerrokset tasapaksuiksi ja tasa-aineisiksi sekä lämmön siirtyvän rakennekerrokseen nähden kohti suoraan voidaan R_T laskea yhtälöllä

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_m + R_g + R_b + R_{q1} + R_{q2} + \dots + R_{qn} + R_{se} + R_j \quad (4)$$

$$R_{si} = \text{sisäpuolinen pintavastus} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1}, R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} \dots R_m = \frac{d_m}{\lambda_m}, \text{ jossa}$$

$$d_1, d_2, \dots, d_m = \text{rakennekerroksen 1, 2, .. m paksuus [m]}$$

$$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m = \text{rakennekerroksen 1, 2, ...m normaaliin lämmönjohtavuus} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$R_g = \text{rakennusosassa olevan ilmakerroksen lämmönvastus} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$R_b = \text{maan lämmönvastus} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$R_{q1}, R_{q2}, \dots, R_{qn}$ = ohuen ainekerroksen 1, 2, ..., n lämmönvastus $\left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$

R_{se} = ulkopuolinen pintavastus $\left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$

R_j = epätasaisen rakennekerroksen j lämmönvastus, jossa

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a \cdot \lambda_{aj}}{d_j} + \frac{f_b \cdot \lambda_{bj}}{d_j} + \dots + \frac{f_n \cdot \lambda_{nj}}{d_j}, \text{ jossa}$$

f_a, f_b, \dots, f_n = epätasa-rakenteisessa rakennekerroksessa j olevan osa-alueen

a, b, \dots, n = suhteellinen osuus rakennekerroksen kokonaispinta-alasta

$\lambda_{aj}, \lambda_{bj}, \dots, \lambda_{nj}$ = rakennekerroksen a, b, ... n normaalin lämmönjohtavuus $\left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$

Suomen rakentamismääräyskokoelman osasta C4 löytyy lueteltuna laskennassa tarvittavia rakennusaineiden normaalisia lämmönjohtavuuksia sekä muita laskennassa tarpeellisia lämmönvastuksia. Laskettaessa epätasaisia materiaaleja, kuten eristevilloja ja niihin liittyviä koolauksia otetaan R_j huomioon. Tasalaatuksia pintoja, kuten siporexia, laskettaessa R_j :n voi jättää pois laskuista.

Alapohja, eli tässä tapauksessa lattia, jätetään pois tarkastelusta, koska suuria koneita ja muita laitteita on hankala lähteä siirtelemään mahdollisen alapohjaremontin alta ja energiaohjelman tarkoituksena on pitää sekä laskenta että toteutus mahdollisimman helppona. Seinämateriaalina käytetty siporex käsitellään tässä karkaistuna kevytbetonina, jonka normaalin lämmönjohtavuus on $0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$. Sisä- ja ulkopuoliset pinnanvastukset R_{si} ja R_{se} ovat $0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$ ja $0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$, koska seinien oletetaan olevan pystysuoria. Lisäksi oletetaan että seinät eivät sisällä tuulirakoja eivätkä ohuita ainekerroksia. Maanvastaisien rakenteiden vastusarvoja käytetään lähinnä laskettaessa maanpintaa vasten olevaa alapohjaa, joten sekin jätetään huomioimatta seinien laskennassa. Seinien U-arvoksi saadaan näin ollen

$$U_{\text{seinät}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,25 \text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,461 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hallin katto voidaan olettaa tasakatoksi, koska hallin pinta-ala vastaa katon pinta-alaa. Katon materiaalit ovat siporexia, paksuus 250 mm, sekä ontelolaatta, joka on teräsbetonista valmistettu laatta. Koska ontelolaatalle ei ole määritelty Suomen rakentamismää-

räyskokoelmassa C4 normaalista lämmönjohtavuutta, voidaan arvoksi olettaa $0,17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$, joka vastaa 200 mm ontelolaatan normaalista lämmönläpäisykerrointa. Ontelolaatan oletetaan sisältävän myös tuuletettu ilmatila, ohut eriste sekä lämmöneriste, jotka ovat huomioitu ontelolaatan lämmönläpäisykertoimessa. (Isover.) Sisäpuoliseksi pintavas-
tukseksi $0,10 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$, koska katto luovuttaa lämpöä ylöspäin ja ulkopuoliseksi $0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$. Oletetaan, että katon päällä on ruostumaton teräs pelti, jonka paksuus on 0,006 m ja lämmönjohtavuus $17 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$. Lisäksi oletetaan, että muita lämmönvastuksia ei ole. Tällöin katon U-arvoksi saadaan

$$U_{\text{katto}} = \frac{1}{0,10 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,25\text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,20\text{m}}{0,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,006\text{m}}{17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 0,301 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Hallin ovien materiaaliksi on ilmoitettu pelkkä pelti, jota käsitellään tässä ruostumatto-
mana teräksenä. Hallin sisä- ja ulkopuoliset lämmönvastukset voidaan olettaa samoiksi kuin seinällä. Täten ovien U-arvoksi tulee

$$U_{\text{ovet}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,06\text{m}}{17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + 0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}} = 5,76 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Ikkunoiden U-arvoa laskettaessa käytetään yhtälöä

$$U_{\text{ikkunat}} = \frac{A_{\text{valoaukko}} \cdot U_{\text{valoaukko}} + A_{\text{karmi}} \cdot U_{\text{karmi}} + \Psi_g \cdot l_g}{A_{\text{valoaukko}} + A_{\text{karmi}}} \quad (5)$$

$$A_{\text{valoaukko}} = \text{valoaukon pinta-ala} [\text{m}^2]$$

$$U_{\text{valoaukko}} = \text{valoaukon lämmönläpäisykerroin} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$A_{\text{karmi}} = \text{karmi- ja puiteosan projektiopinta-ala ikkunan lasituksen tasossa} [\text{m}^2]$$

$$U_{\text{karmi}} = \text{karmi- ja puiteosan lämmönläpäisykerroin} \left[\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right]$$

$$\Psi_v = \text{valoaukon reunan viivamainen lisäkonduktanssi} \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$$

$$l_v = \text{valoaukon reunaan muodostuvan viivamaisen kylmäsilän pituus} [\text{m}].$$

Valoaukon U-arvo määritetään puolestaan yhtälöllä

$$U_{\text{valoaukko}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{se}} + \sum \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum R_{\text{sj}}} \quad (6)$$

d_j = lasin tai läpinäkyvän ainekerroksen j paksuus [m]

λ_j = lasin tai läpinäkyvän ainekerroksen j lämmönjohtavuus $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]$

R_{sj} = lasivälin j lämmönvastus $\left[\frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}} \right]$

ja karmi- ja puiteosien U-arvo yhtälöllä

$$U_{\text{karmi}} = \frac{1}{R_{\text{si}} + R_{\text{se}} + \frac{\beta \cdot d}{\lambda_n}} \quad (7)$$

β = todellisuudessa moniulotteisen lämpövirtauksen huomioon ottava korjaus-kerroin 0,7

d = karmi- ja puiteosan keskimääräinen paksuus [m]

λ_n = karmi- ja puiteaineen normaalin lämmönjohtavuus $\left[\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}} \right]$.

Lähtötiedoissa on annettu ikkunoiden pinta-aloiksi yhteensä 200 m². Oletetaan ikkunoiden olevan kaksilasiset ja väliaineen olevan ilmaa. Lisäksi oletetaan karmien materiaaliksi puu ja piirin mitoiksi 1 m x 200 m ja pystykarmit 2 m välein eli karmien yhteispituudeksi tulisi 501 m. Oletetaan myös ikkunalasien paksuus 4 mm:ksi ja lasivälin paksuus sekä karmien- ja puiteosien paksuus samaksi kuin seinän paksuus eli 250 mm. Ilman emissiviteetin arvioidaan olevan 0,4. Sisä- ja ulkopuoliset pintavastukset ovat samoja kuin seinällä, koska ikkunat ovat pystysuorassa. Normaalin lämmönjohtavuus on lasille 1,0 $\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}$. Tällöin valoaukon U-arvoksi saadaan

$$U_{\text{valoaukko}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}} + 0,04 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}} + \frac{0,04\text{m}}{1,0 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + \frac{0,04\text{m}}{1,0 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} + 0,290 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}}} = 1,85 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}}$$

Karmien U-arvo puolestaan voidaan arvioida olevan

$$U_{\text{karmi}} = \frac{1}{0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \frac{0,7 \cdot 0,25 \text{m}}{0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}}} = 0,614 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Oletetaan karmien projektiopinnan paksuuden olevan 0,05 m paksu ja ikkunoiden pinta-alan olevan 200 m² sisältäen karmit. Karmi- ja puiteosien projektiopinta-alaksi sekä ikkunan pinta-alaksi saadaan näin ollen

$$A_{\text{karmi}} = (200\text{m} \cdot 1\text{m}) - (199,9\text{m} \cdot 0,9\text{m}) + 101 \cdot (1\text{m} \cdot 0,05\text{m}) = 25,14\text{m}^2$$

$$A_{\text{valoaukko}} = 200\text{m}^2 - 25,14\text{m}^2 = 174,86\text{m}^2$$

Ikkunalle voidaan nyt laskea suuntaa antava U-arvo

$$U_{\text{ikkunat}} = \frac{174,86\text{m}^2 \cdot 1,85 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} + 25,14\text{m}^2 \cdot 0,614 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} + 0,04 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 501\text{m}}{174,86\text{m}^2 + 25,14\text{m}^2} = 1,79 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Saatujen U-arvojen perusteella voidaan laskea rakennuksen eri osien aiheuttamat lämpöhäviöt yhtälöllä

$$\Phi = UA(T_s - T_u) \quad (8)$$

Φ = rakennusosan lämpöhäviö [W]

T_s = sisälämpötila [K]

T_u = ulkolämpötila [K].

(Seppänen 2001, 102.)

Oletetaan sisälämpötilaksi keskiarvo annetuista lähtötiedoista eli 20 °C. Hallia lämmitetään lämmityskaudella noin 4 320 h, jolloin viikonloppuisin ja kesäkaudella lämmitys on pois päältä. Hallin lämmitykseen tarvittava energia voidaan laskea lämmityskauden keskimääräisen ulkoilman lämpötilan, 0 °C, avulla (RakMK D5 2007, 56). Hallin kokonaislämpöhäviö saadaan sijoittamalla yhtälöön 6 ulkolämpötilan paikalle 0 °C ja laske-
malla rakennusosien lämmönhäviöt yhteen

$$\Phi_{\text{seinät,tod.}} = 0,461 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 3200\text{m}^2(20 - 0)\text{K} = 29504\text{W}$$

$$\Phi_{\text{katto,tod.}} = 0,301 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 5035\text{m}^2(20 - 0)\text{K} = 30310,7\text{W}$$

$$\Phi_{\text{ovi,tod.}} = 5,76 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 200\text{m}^2(20 - 0)\text{K} = 23040\text{W}$$

$$\Phi_{\text{ikkuna,tod.}} = 1,79 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \cdot 200\text{m}^2(20 - 0)\text{K} = 7160\text{W}$$

$$\Phi_{\text{halli,tod.}} = (29504 + 30310,7 + 23040 + 7400)\text{W} = 90014,7\text{W}.$$

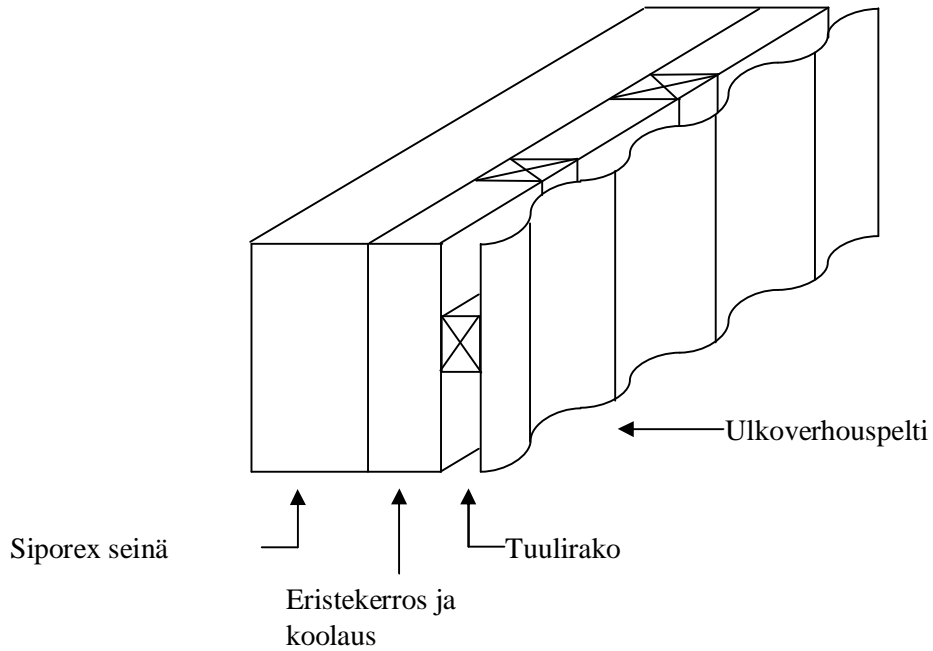
Näin ollen todelliseksi vuosittaiseksi lämmitysenergian tarpeeksi saadaan

$$Q_{\text{halli,tod.}} = 90014,7\text{W} \cdot 4320\text{h} = 389900304\text{Wh} = 388,9\text{MWh}.$$

5.2.1 Muutoksen vaikutus

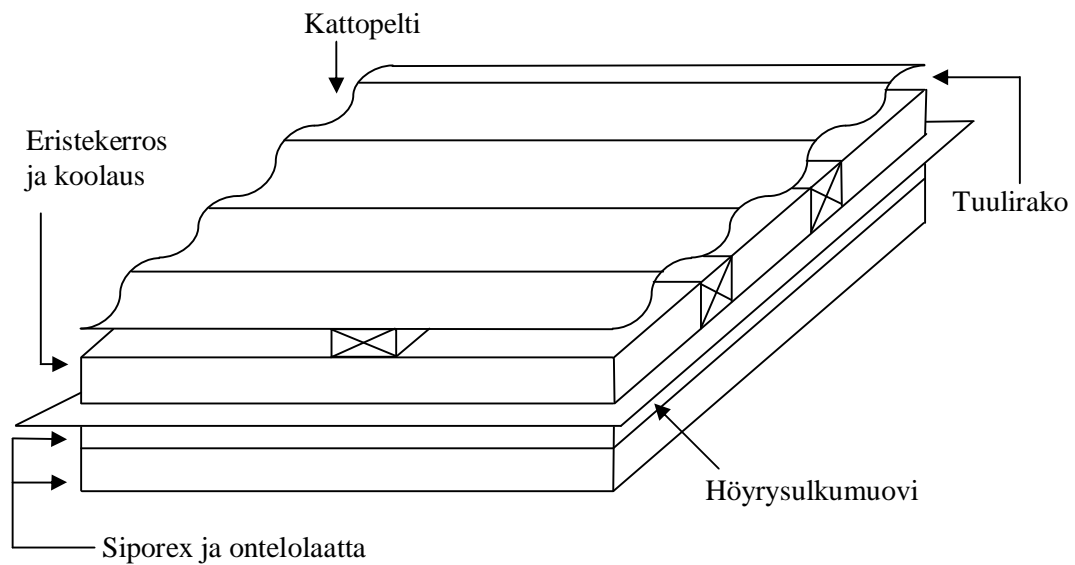
Kun todellinen vuosittainen lämmitysenergian tarve tiedetään, voidaan verrata kuinka paljon rakenteelliset muutokset vähentävät tuota lämmitysenergian tarvetta. Tässä tapauksessa keskitytään tarkastelemaan vain seinien ja kattorakenteen muutosta, koska ne olivat laskelmien mukaan suurimmat lämpöhäviön aiheuttajat ja niistä oli tarkimmat tiedot saatavilla.

Seinien materiaali on siporexia ja ne voidaan lisäeristää kummalta puolelta tahansa. Ulkopuolisessa eristyksessä täytyy varmistua siitä että kosteus pääsee haihtumaan sisäpuolelta tai jättää tuulirako eristevillan ja ulkopinnan väliin. Ulkopuoliseen eristykseen, kuuluu sisältäpäin lähtien siporex seinä, eristevilla ja koolaus, tuulirako sekä ulkoverhous. Seinän poikkileikkaus on esitelty kuvassa 3. (H+H 2010, 8.)



Kuva 3. Seinämän ja katon poikkileikkaukset lisäeristyksen jälkeen.

Katon lisäeristys toteutetaan myös ulkopuolelta. Siporexin ja ontelolaatan päälle asennetaan höyrönsulku, eristevilla ja kattopelti kuvan 4 osoittamalla tavalla. Höyrönsulku estää rakennekosteuden tiivistymisen lisäeristeisiin. (H+H 2010, 6, 7.) Ilmarako tulee samalla tavalla kuin seinärakenteessa. Oletetaan vanha kattopelti siirrettäväksi eristyksen päälle, joka myöskään ei vaikuta lisäeristyksen jälkeisiin U-arvoihin.



Kuva 4. Seinämän ja katon poikkileikkaukset lisäeristyksen jälkeen.

Uusien U-arvojen laskennassa ei oteta huomioon tuulirakoa tai ulkoverhouspeltiä, koska tuulirako eristekerroksien ja ulkoverhouksessa käytettävien peltien välissä on suurempi kuin $15 \text{ cm}^2/\text{m}$. Lisäksi tarkastelussa käytetään ulkopuolisina pintavastuksina sisäpuolisia pintavastuksia suositusten mukaan. (RakMK C4 2003, 17.) Vertaillaan eri valmistajien eristevilloja ja paksuuksia. Seinä- ja kattopinnan uudet U-arvot saadaan laskettua yhtälöiden 1 ja 2 avulla. Taulukossa 9 on luettuna uusia lisäeristyksen laskentaan käytettyjä arvoja. Eristevillana on käytetty Paroc eXtraa ja sille on määritelty λ_d -arvo, joka antaa pehmeiden eristeiden osalta noin 20 % paremman λ -arvot kuin Rakentamismääräyskokoelmassa C4 määritelty λ_n -arvo. Kyseinen eriste on kuitenkin CE-merkitty tuote, joten laskuissa käytetään valmistajan ilmoittamaa tarkempaa arvoa. (Paroc a.) Höyrysulku luetaan ohueksi aineeksi, jonka lämmönvastus on Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 (2003, luku 5) mukaan $0,02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$. Rakennusaineet lasketaan ilman arvonnalisäveroa.

Taulukko 5. Lisäeristekerrosten arvoja. (Paroc b 2010, 4; PRP 2008; Tamminiemen Saha ja Höylä. 2010; Taloon.com)

Lisäeriste	paksuus [m]	leveys [m]	$\lambda_d \left[\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \right]$	Hinta [€/m ²]
Paroc eXtra	0,100	0,565	0,036	6,25
	0,125	0,565	0,036	7,6
	0,15	0,565	0,036	9,19
	0,175	0,565	0,036	10,84
	0,200	0,565	0,036	12,45
Lauta	0,100	0,020	0,12	0,55 €/m
	0,125	0,020	0,12	0,72 €/m
	0,15	0,020	0,12	0,85 €/m
	0,175	0,020	0,12	1 €/m
	0,200	0,020	0,12	1,14 €/m
Ilmarako	0,02	-	-	-
Höyrysulku	0,0002	3	-	1,89
Profiili 20 A, Hard Coat -pinnoite	0,0006	-	-	7,87

Liitteessä 3 on laskettu epätasaisen rakennekerroksen eli eristevillan ja lautakoolauksen lämmönvastukset eri eristelaaduille ja paksuuksille. Niiden avulla voidaan laskea U-arvot seinien ja katon kolmelle eri lisäeristystyypille.

$$U_{P100,seinät} = \left(0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left(\frac{0,25\text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + 2,573 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)^{-1} = 0,207 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{P125,seinät} = \left(0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left(\frac{0,25\text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + 3,216 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)^{-1} = 0,183 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{P150,seinät} = \left(0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left(\frac{0,25\text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + 3,859 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)^{-1} = 0,158 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{P150,katto} = \left(0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left(\frac{0,25\text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + \left(\frac{0,2\text{m}}{0,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + 3,859 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)^{-1} = 0,138 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{P175,katto} = \left(0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left(\frac{0,25\text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + \left(\frac{0,2\text{m}}{0,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + 4,502 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)^{-1} = 0,127 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U_{P200,katto} = \left(0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + \left(\frac{0,25\text{m}}{0,125 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + \left(\frac{0,2\text{m}}{0,17 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} + 5,145 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,02 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} + 0,1 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \right)^{-1} = 0,117 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Kun tiedetään U-arvot, voidaan rakenteiden vuosittaiset lämpöhäviöt määrittää sijoittamalla U-arvot alkuperäisten U-arvojen tilalle. Taulukkoon 6 on kerätty todellisen lämmityskauden aikaisten alkuperäisten ja lisäeristyksellisen seinän ja katon lämpöhäviöitä,

niitä vastaavia lämpöenergian tarpeita sekä niistä koitua vuotuinen lämmitysenergian säästö.

Taulukko 6. Alkuperäisen ja lisäeristyksellisten seinien lämpöarvoja.

	Malli	U-arvo [$\frac{W}{m^2 \cdot K}$]	Φ [kW]	Lämmitysenergian tarve [MWh]	Vuotuinen säästö [MWh]
Seinät	Alkuperäinen	0,461	29,5	127,5	-
	Paroc 100	0,207	13,2	57,2	70,2
	Paroc 125	0,183	11,7	50,5	77,0
	Paroc 150	0,158	10,5	45,2	82,3
Katto	Alkuperäinen	0,301	30,3	130,9	-
	Paroc 150	0,138	13,9	60,0	71,0
	Paroc 175	0,127	12,7	55,1	75,9
	Paroc 200	0,117	11,8	50,9	80,0

Lisäeristyksellisen seinän kokonaishinta muodostuu tarvittavasta määrästä eristevillaa, koolauslaudoista, ilmarakoon käytettävistä laudoista sekä ulkoverhouspellistä. Katon hinta puolestaan koostuu höyrysulkumuovista, eristevillasta, koolauslaudoista sekä ilmarakoon käytettävistä laudoista. Koska katon muotoa ei tiedetä, laskennassa käytetään katon pinta-alan neliötä, jolloin katon sivuksi saadaan 71,0 m. Oletetaan lisäksi, että tuulirakossa olevia lautoja laitetaan noin 1,5 m välein. Liitteestä 2 löytyy lisäeristeiden määrien laskenta.

Kaukolämmön hinta MWh:a kohden puolestaan vaihtelee sen mukaan, kuinka paljon kaukolämpöä kulutetaan. Mitä suurempi kuluttaja, sitä pienempi on lämmön hinta. Lappeenrannassa sijaitseva yritys ostaa kaukolämpönsä Lappeenrannan Energia Oy:ltä, jonka kaukolämmön tämänhetkinen myyntihinta suurille kuluttajille on 60,82 €/MWh. (Energiateollisuus 2010.) Arvonlisäverot ovat edelleen jätetty pois tarkastelusta. Taulukossa 7 esitetään seinien ja katon lisäeristyksestä aiheutuvat kustannukset, eristyksestä johtuvat säästöt vuosittain sekä suorat takaisinmaksuajat ilman työkustannuksia. Nettonykyarvomenetelmällä laskettuna voidaan tarkastella olisivatko lisäeristykset kannat-

tavia, jos ajatellaan eristysten jälkeen hallien olevan toiminnassa 20 vuotta ja korkokanta valitaan 5 %. Liitteessä 4 on esitetty nettonykyarvojen laskenta.

Taulukko 7. Seinien lisäeristekerrosten hintoja.

Seinät	Hinta alv. 0 % [€]	Säästö [€a]	Takaisinmaksu- aika [a]	Nettonykyarvo [20 v., 5 %]
Paroc eXtra, 100	48 700	4 272	11,4	4539
Paroc eXtra, 125	53 762	4 681	11,5	4574
Paroc eXtra, 150	59 432	5 004	11,9	2929
Katto				
Paroc eXtra, 150	61 629	4 317	14,3	-7830
Paroc eXtra, 175	70 913	4 614	15,4	-13 412
Paroc eXtra, 200	79 931	4 866	16,4	-19 290

5.2.2 Tulokset

Seinien lämmöntarvetta määrittäessä oletettiin lähtöarvoissa saatujen seinien pinta-alan poislukevan valmiiksi ikkunoiden osuuden. Ovien ja ikkunoiden lämpöhäviön laskennassa oli paljon oletuksia ja esimerkiksi ovet tuskin ovat 60 mm pelkkää peltiä, vaikka näin lähtötiedoissa kerrottiin. Ovien ollessa täyttä peltiä, kannattaa ne vaihtaa eristysten sisältäviin oviin.

Halvin seinien lisäeristysvaihtoehto oli 100 mm paksuinen eristematto. Asentamalla tämä vaihtoehto seiniin, yritys saisi vuosittain 4 272 € säästöt ja suora takaisinmaksuaika nykyisillä lämmönhinnoilla olisi alle 12 vuotta. Halvimmaksi katon lisäeristysvaihtoehdoksi puolestaan muodostui 150 mm paksuinen eristys, josta saisi 4 317 € vuosittaiset säästöt ja joka olisi maksettu hieman yli 14 vuodessa. Nettonykyarvolla 20 vuoden pitoajalla ja viiden prosentin korkokannalla laskettuna hallien seinien lisäeristäminen tulisi kannattavaksi. Katon lisäeristäminen puolestaan vaatisi vielä pidemmän hallien pitoajan ollakseen kannattavaa.

Laskenta antaa suurpiirteisiä arvoja siitä, kuinka kannattavaa lisäeristäminen olisi. Laskennassa ei huomioitu mm. toteutuksen työkuukustannuksia, koska niitä on vaikea arvioida. Tällä hetkellä rakentajilla on halpaa työvoimaa tarjolla, mutta työtuntien tai urakan hinta voi lähteä jyrkkäänkin nousuun. Lisäksi energian hinta tulee todennäköisesti nousemaan lähiaikoina, joka puolestaan pienentää lisäeristykseen takaisinmaksuaikoja.

5.3 Ilmanvaihto ja lämmöntalteenotto

Ilmanvaihdon puolelta selvitetään ilmanvaihdon lämpöenergiähäviötä. Lisäksi tutkitaan lämpöenergian kulutuksen muutosta, kun systeemiin lisätään LTO-kone sekä lasketaan koneen aikaan saamat säästöt lämmönkulutuksessa. Tutkittava halli on jaettu kahteen osaan, A- ja B-halliin. Molemmilla puolilla on omat tulo- ja poistoilmalaitteensa. Ilmanvaihdon lämpöhäviö voidaan laskea yhtälöllä 7

$$\Phi = \rho_i \cdot c_{pi} \cdot q_{v,poisto} \cdot t_d \cdot t_v \cdot r \cdot (1 - \eta_a) \cdot (T_s - T_u) \quad (9)$$

ρ_i = ilman tiheys 1,2 kg/m³

c_{pi} = ilman ominaislämpökapasiteetti 1000 $\frac{Ws}{kgK}$

$q_{v,poisto}$ = poistoilmavirta [m³/s]

t_D = ilmanvaihdon keskimääräinen vuorokautinen käyntiaikasuhde [h/24h]

t_v = ilmanvaihdon viikoittainen käyntiaikasuhde [vrk/7vrk]

r = ilmanvaihdon vuorokautisen käyntiajan huomioon ottava muuntokerroin

η_a = ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde tai keskimääräinen hyötysuhde laskentajaksolta

T_s = sisäilman lämpötila [°C]

T_u = ulkoilmanlämpötila [°C].

(RakMK D5 2007, 22).

Koska hallissa ei ole lähtötilanteessa lämmöntalteenottoa poistoilmasta, käytetään yhtälössä vuosihyötysuhteena arvoa 0. Näin ollen termi $(1 - \eta_a)$ voidaan jättää pois laskennasta. Ilmanvaihdon vuorokautisen käyntiajan huomioon ottava muuntokerroin, r , on

tässä tapauksessa 0,93, koska ilmanvaihto on päällä noin 14 tuntia päivääkaan. (RakMK D5 2007, 25). Oletetaan hallien sisälämpötiloiksi annettujen lähtötietojen keskiarvo eli 20 °C. Ilmanvaihdon ilmaa lämmitetään 4 320 tuntia vuosittain. Työajan ulkopuolinen aika, viikonloput ja kesäkauden ilmanlämmitys, jäävät siis pois lämmityksen piiristä. Laskettaessa lämmityskauden aikaista energian tarvetta, voidaan mitoittavana ulkolämpötilana pitää 0 °C (RakMK D5 2007, 56). Hallin ilmanvaihdon lämmityksestä johtuva todellinen kokonaislämpöhäviö saadaan sijoittamalla yhtälöön 7 ulkolämpötilan paikalle 0 °C ja laskemalla A- ja B-hallien todelliset lämpöhäviöt yhteen

$$\Phi_{A\text{-halli,tod.}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{KgK}} \cdot 11,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{14\text{h}}{24\text{h}} \cdot \frac{5 \text{vrk}}{7 \text{vrk}} \cdot 0,93 \cdot (20 + 0)\text{K} = 103230\text{W}$$

$$\Phi_{B\text{-halli,tod.}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{KgK}} \cdot 12,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{14\text{h}}{24\text{h}} \cdot \frac{5 \text{vrk}}{7 \text{vrk}} \cdot 0,93 \cdot (20 + 0)\text{K} = 116250\text{W}$$

$$\Phi_{\text{Yhteensä,tod.}} = 103230\text{W} + 116250\text{W} = 219480\text{W}.$$

Näin ollen todellisiksi vuosittaisiksi lämmitysenergiatarpeiksi saadaan

$$Q_{A\text{-halli,tod.}} = \frac{103230\text{W} \cdot 4320\text{h}}{1000000} = 446,0\text{MWh}$$

$$Q_{B\text{-halli,tod.}} = \frac{116250\text{W} \cdot 4320\text{h}}{1000000} = 502,2\text{MWh}$$

$$Q_{\text{Yhteensä,tod.}} = 446,0\text{MWh} + 502,2\text{MWh} = 948,2\text{MWh}.$$

Kohdepoistojen poistoilmavirrat voivat vaihdella suuresti riippuen hallissa tehtävistä töistä, kohdepoistojen sijainnista sekä niiden käytön määrästä. Poistoilmaan siirtyvää lämpöä täten ei pystytä laskemaan, koska ei tiedetä kohdepoistojen poistoilmavirtoja edes likimain. Tämän takia imurit jätetään pois lämmöntalteenottotarkastelusta.

5.3.1 Muutoksen vaikutus

Talteenotettu lämpö tullaan johtamaan ulkoa otettuun tuloilmaan. Valitaan tarkasteluun regeneratiivinen, eli lämpöä varaava ja pyörivä lämmönsiirrin. Oletetaan, että hallista

poistettava ilma suodatetaan valmiiksi. Laskenta säilytetään yksinkertaisena eikä siihen huomioida muuta kuin itse LTO-koneisto ja sen kustannukset. Lämmöntalteenoton sisältävän ilmaston lämpöhäviöt saadaan laskettua yhtälöllä 7 ja ottamalla huomioon myös termi $(1 - \eta_a)$. Valitaan tarkasteluun Fläkt Woodsin Regoterm –lämmönsiirrin, joka on mitoitettu $11,5 \text{ m}^3/\text{s}$ poistoilmavirrälle (Grönholm, sähköpostiviesti 5.8.2010). Taulukossa 8 on eritelty lämmönsiirtimen arvoja. Regoterm-lämmönsiirtimen lämpötilahyötysuhde on laskettu kesä- ja talvikauden keskiarvoista.

Taulukko 8. Lämmönsiirtimien tietoja (Grönholm, sähköpostiviesti 5.8.2010; Fläkt Woods, 2).

Lämmönsiirrin	Lämpötilahyötysuhde [%]	Moottorin nimellisteho [W]	Ajosysteemi	Hinta alv. 0 % [€]
Regoterm	78,8	750	EMS-VVX 6	n. 10 000 +työ

Lämpötilahyötysuhteen avulla voidaan määrittää laitteen vuosihyötysuhde yhtälöllä

$$\eta_a = 0,6 \cdot \eta_t \quad (10)$$

η_t = ilmanvaihdon lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde, kun tulo- ja poistoilmavirta ovat yhtä suuret tai suhde on vähintään 0,6

(RakMK D5 2007, 22-23).

Regoterm –laitteen kanssa ilmanvaihtojen lämpöhäviöiksi jäävät

$$\Phi_{\text{regoterm,A-halli}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{KgK}} \cdot 11,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{14\text{h}}{24\text{h}} \cdot \frac{5 \text{ vrk}}{7 \text{ vrk}} \cdot 0,93 \cdot (1 - 0,6 \cdot 0,784) \cdot (20 - 0)\text{K} = 54670,6 \text{ W}$$

$$\Phi_{\text{regoterm,B-halli}} = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1000 \frac{\text{Ws}}{\text{KgK}} \cdot 12,5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \frac{14\text{h}}{24\text{h}} \cdot \frac{5 \text{ vrk}}{7 \text{ vrk}} \cdot 0,93 \cdot (1 - 0,6 \cdot 0,784) \cdot (20 - 0)\text{K} = 61566 \text{ W}$$

$$\Phi_{\text{regoterm,yhteensä}} = (54670,6 + 61566)\text{W} = 116236,6 \text{ W}.$$

Regoterm –lämmönsiirrinten kanssa ilmanvaihdot kuluttaisivat lämpöenergiaa näin ollen

$$Q_{\text{regoterm,A-halli}} = \frac{54670,6\text{W} \cdot 4320\text{h}}{1000000 \frac{\text{W}}{\text{MWh}}} = 236,2\text{MWh}$$

$$Q_{\text{econovent,B-halli}} = \frac{61566\text{W} \cdot 4320\text{h}}{1000000 \frac{\text{W}}{\text{MWh}}} = 266,0\text{MWh}$$

$$Q_{\text{regoterm,yhteensä}} = (236,2 + 266,0)\text{MWh} = 502,1\text{MWh},$$

jolloin kaukolämmön lämpöenergiaa säästyisi

$$Q_{\text{regoterm,A-halli,säästö}} = 446,0\text{MWh} - 236,2\text{MWh} = 209,8\text{MWh}$$

$$Q_{\text{regoterm,B-halli,säästö}} = 502,2\text{MWh} - 266,0\text{MWh} = 236,2\text{MWh}$$

$$Q_{\text{regoterm,yhteensä,säästö}} = 209,8\text{MWh} - 236,2\text{MWh} = 446,0\text{MWh}.$$

Toisaalta LTO-laite tarvitsee toimiakseen sähköenergiaa. Pyörivän lämmönsiirtimen toimiessa kuluva moottorin sähköenergia voidaan laskea yhtälöllä 9

$$W_m = P_m \cdot \Delta t \quad (11)$$

P_e = moottorin sähköteho [kW]

Δt = lämmönsiirtimen käyttöaika ajanjaksolla [h]

(RakMK D3 2010, 36).

Saatujen tietojen perusteella Regoterm –lämmönsiirtimien moottorien vuotuisiksi sähkönkulutukseksi molemmissa halleissa sekä yhteiseksi kulutukseksi saadaan

$$W_{\text{regoterm,A,B-halli}} = 0,750\text{kW} \cdot 4320\text{h} = 3240\text{kWh}$$

$$W_{\text{regoterm,yhteensä}} = 3240\text{kWh} \cdot 2 = 6480\text{kWh}.$$

Käytetään ilmanvaihdossa hukkaan menevän lämmön hinnan laskentaan samaa arvoa kuin rakenteissa eli 60,82 €/MWh. Hallien hukkalämpö kustantaa vuosittain näin ollen

$$\text{A-halli: } 446,0\text{MWh} \cdot 60,82 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 27123\text{€}$$

$$\text{B-halli: } 502,2\text{MWh} \cdot 60,82 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} = 30544\text{€}$$

Yhteensä: $27123\text{€} + 30544\text{€} = 57667\text{€}$.

Kun ilmanvaihtoihin lisätään Regoterm –lämmönsiirrin, lämmöntarve vähenee vuosittain A-hallissa 209,8 MWh, B-hallissa 236,2 MWh ja yhteensä 446,0 MWh. Rahallisesti tämä tarkoittaisi

A-halli: $209,8\text{MWh} \cdot 60,82 \text{€}/\text{MWh} = 12759\text{€}$

B-halli: $236,2 \text{MWh} \cdot 60,82 \text{€}/\text{MWh} = 14368\text{€}$

Yhteensä: $12759\text{€} + 14368\text{€} = 27126\text{€}$.

säästöjä vuosittain. Lämpöhäviöistä johtuvat taloudelliset menetykset putoaisivat näin ollen noin kolmanneksen. Sähkönkulutus puolestaan lisääntyisi uusien LTO-laitteiden myötä. Sähkön hinnaksi voidaan käyttää arviota 0,0225 €/kWh. Näin ollen Econovent –lämmöntalteenotto lisäisi sähkönkulutuksen vuosittaista hintaa

A- ja B-hallit: $3240\text{kWh} \cdot 0,0225 \text{€}/\text{kWh} = 72,90\text{€}$

Yhteensä: $72,90\text{€} \cdot 2 = 145,80\text{€}$,

Lisäämällä Regoterm –lämmönsiirrin osaksi ilmanvaihtoa ja LTO-laitteistoa saataisiin todelliseksi vuosittaisiksi rahallisiksi säästöiksi

A-halli: $12759\text{€} - 72,90\text{€} = 12686\text{€}$

B-halli: $14368\text{€} - 72,90\text{€} = 14295\text{€}$

Yhteensä: $27126\text{€} - 145,80\text{€} = 26981\text{€}$.

Takaisinmaksuaika voidaan määrittää jakamalla LTO-laitteiston hinta vuosittaisilla säästöillä. Taulukossa 9 on esitetty Regotermiin takaisinmaksuajat sekä ilman työtä että sisältäen työn. Asennustyön hinta tulisi olemaan noin 3 800 €, kun alv. on 0 % (Holm, sähköpostiviesti 5.8.2010). Nettonykyarvomenetelmällä laskettuna voidaan tarkastella olisivatko LTO-laitteet kannattavia, jos ajatellaan niiden olevan toiminnassa 1,5 vuotta ja korkokanta valitaan 5 %. Liitteessä 4 on esitetty nettonykyarvojen laskenta.

Taulukko 9. Regoterm –lämmönsiirtimen takaisinmaksuaikoja.

	A-halli	B-halli	Yhteensä
Takaisinmaksuaika, alv. 0 %, ei sis. asennusta [a]	0,78	0,70	0,74
Takaisinmaksuaika, alv. 0 %, sis. asennuksen [a]	1,09	0,97	1,02
Nettonykyarvo alv. 0 % [1,5 v., 5%]	4105	6376	10481

5.3.2 Tulokset

Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton kannattavuuslaskennassa ei otettu huomioon muuta kuin pyörivät lämmönsiirtimet ja niiden moottorit. Kaiken muun tarvittavan oletettiin olevan jo olemassa, kuten suodattimet ja puhaltimet. Mitä enemmän ilmanvaihdon uudistukseen lisätään osia, sitä suuremmaksi kokonaishinta ja takaisinmaksuaika muodostuvat.

Jos yrityksen nykyisiin ilmanvaihtosysteemeihin lisättäisiin Regoterm –lämmönsiirrin, ilman lämmityksen tarvitsema energia vähenisi noin 47 %. Regoterm –lämmönsiirrintä käytettäessä hallien yhteenlaskettu energian tarve vähenisi 446,0 MWh vuodessa ja vuosittain rahaa säästyisi 26 981 € A- ja B-hallien yhteenlasketut LTO-laitteiston takaisinmaksuajat asennuksineen ja ilman arvonnalisäveroa olisi hieman yli vuoden. Nettonykyarvolla laskettuna puolentoista vuoden pitoajalla ja viiden prosentin korkokannalla laskettuna LTO-laitteiden lisääminen ilmanvaihtoon olisi kannattavaa. Tosiasiassa laitteiden pitoaika on paljon suurempi, jolloin laitteiden hankinta on vielä kannattavampaa.

6 YHTEENVETO

Lähtökohtana tutkimukselle oli kehittää Etelä-Karjalan pienille ja keskisuurille konepaja- ja kunnossapitoyrityksille energiaohjelma, jolla ne voisivat parantaa omaa energiatehokkuuttaan. Energiankulutus ei ole tutkimuksessa mukana olleen yritysryhmän suurimpia menoeriä juoksevista kustannuksista, joten myöskään kiinnostus energiatehokkuuteen ja energia-asioiden parantamiseen ei ole kovin suurta yritysryhmässä. Päämääränä oli lisätä tietoisuutta energia-asioista varsinkin yritysten johdon parissa, jolloin yritysten energiatehokkuus otettaisiin huomioon yritysten menojen vähennyksiä mietittäessä.

Energiaohjelma on muodostettu yritysten omien tarpeiden pohjalta. Yritysryhmää tutkittiin haastatteleamalla sekä tekemällä kenttäkierroksia muutamissa yrityksissä. Tutkimuksissa kävi ilmi, että energiatehokkuus ei ole kovinkaan suuressa osassa yrityksissä ja parannettavaa löytyy monesta paikasta. Lisäksi hankintojen kohdalla yritykset käyttivät harvoin muuta kuin suoraa takaisinmaksuaikaa tarkastellessaan uusia hankintoja. Tämän vuoksi yritykset päätettiin tutustuttaa myös muihin vaihtoehtoihin investointilaskelmiin, jotka voivat tietyissä tilanteissa arvioida tarkemmin investoinnin kannattavuuden kuin suora takaisinmaksuaika. Lopuksi energiaohjelman prototyyppiä testattiin pilottiprojektissa, josta saatiin lupaavia tuloksia.

Pilottiprojektia voidaan pitää onnistuneena, koska siitä saatiin laskennallisesti hyviä tuloksia. Kyseessä olevaan teollisuushalliin kannattaisi ehdottomasti harkita lämmöntalteenoton lisäämistä poistoilmasta. Tällä tavoin ilman lämmitykseen tarvittavaa energiaa voitaisiin säästää vuosittain melkein 450 MWh. Lisäksi laitteet maksaisivat itsensä takaisin noin vuodessa, jonka jälkeen laitteet säästäisivät vuosittain yli 25 000 €. Pilottiprojektin tärkeimpänä tuloksena voidaankin pitää sitä, että se osoittaa kuinka helposti energiatehokkuudella saadaan suuriakin säästöjä aikaan. Energiaohjelman kehittymisen kannalta olisi tärkeää saada lisää samankaltaisia testauskohteita, jolloin sitä voitaisiin kehittää edelleen paremmin yrityksiä palvelevaksi kokonaisuudeksi.

LÄHTEET

EK. 2009a. Yritysten energiaopas – Energiatuen suuruus. Elinkeinoelämän keskusliitto. [Internet-sivusto]. [Päivitetty 13.1.2010]. [Viitattu 23.6.2010]. Saatavissa: http://www.ek.fi/yritysten_energiaopas/fi/energiatuet_saastoinvestoinnit/energiatuen_suuruus.php

EK. 2009b. Yritysten energiaopas – Säästöinvestointi, ensimmäinen seulonta. Elinkeinoelämän keskusliitto. [Internet-sivusto]. [Päivitetty 13.1.2010]. [Viitattu 23.6.2010]. Saatavissa: http://www.ek.fi/yritysten_energiaopas/fi/energiatuet_saastoinvestoinnit/ensimmainen_seulonta.php

EK. 2009c. Yritysten energiaopas – Energiansäästöinvestoinnit, toinen seulonta. Elinkeinoelämän keskusliitto. [Internet-sivusto]. [Päivitetty 13.1.2010]. [Viitattu 23.6.2010]. Saatavissa: http://www.ek.fi/yritysten_energiaopas/fi/energiatuet_saastoinvestoinnit/toinen_seulonta.php

Energiateollisuus. 2010. Kaukolämmön hinnat tyyppitaloissa eri paikkakunnilla – Kaukolämmön hinnat 1.1.2010. [Internet-sivusto]. [Päivitetty 10.3.2010]. [Viitattu 29.7.2010]. Saatavissa: <http://www.energia.fi/fi/tilastot/kaukolampotilastot/kaukolammonhinta>

Fläkt Woods. Pyörivä Lämmönsiirrin – REGOTERM/TURBOTERM – EURA. 3 s. [PDF]. [Viitattu 5.8.2010]. Saatavissa: <http://www.flaktwoods.fi/da0ea49e-f1d7-4a4e-be16-71499e1a5b95>

Grönholm Jorma. 2010. Myynnin tulosityksikönjohtaja. Fläkt Woods Oy. Re: Palaute, Ilmankäsittelykoneet. [Yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Minna Tolvanen. Lähetetty 5.8.2010. klo 10.47 (GMT +0200). Liitetiedosto: ”flok00-20100805104513.pdf”.

Haverila Matti J. et al. 2005. Teollisuustalous. 5.painos. Tampere: Infacts Oy. 499 s. ISBN 951-96765-5-4

H+H. 2008. Hallirakennusten rungon ja vaipan perustyypit sekä suunnittelumoduulit. [PDF]. [Viitattu 21.7.2010]. Saatavissa: http://www.hplush.fi/c/document_library/get_file?folderId=64606&name=DLFE-2894.pdf

Holm Christer. 2010. Myyntipäällikkö. Munters Oy. Econovent lämmönsiirrin. [Yksityinen sähköpostiviesti]. Vastaanottaja: Minna Tolvanen. Lähetetty 5.8.2010 klo 9.36 (GMT +0200). Liitetiedosto: "05.08.2010.PDF".

Isover. Rossipohja, ontelolaatta. Isover Saint-Gobain. [Verkkosivusto]. [Viitattu 19.7.2010]. Saatavissa: <http://www.isover.fi/fi/Erist%C3%A4minen/Rakenneratkaisuja/Uudisrakentaminen/Alapohja/Rossipohja+ontelolaatta/>

Lappalainen Iris et al. 2005. Energiatehokkuutta ja säästöä; ESCO-palvelu – vaivaton ja varma tapa säästää. Helsinki: Motiva Oy. 8 s. [PDF]. [viitattu 22.6.2010]. Saatavissa: http://www.motiva.fi/julkinen_sektori/tuet_ja_rahoitus/esco-palvelu/esco-palvelu_kaytannossa

Salmela Elina. 2010. Kasvihuonekaasupäästöjen vähentämismahdollisuudet konepajateollisuudessa. Kandidaatin tutkinnon opinnäytetyö. Lappeenrannan teknillinen yliopisto, ympäristötekniikan koulutusohjelma. Lappeenranta. 34 s. [PDF]. [Viitattu 2.9.2010]. Saatavissa: <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/63616/nbnfi-fe201009082409.pdf?sequence=3>

Paroc a. Pientaloerustämisen U-arvot. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 26.7.2010]. Saatavissa: http://www.paroc.fi/channels/fi/do-it-yourself/products+and+constructions/u_arvot/default.asp

Paroc b. 2010. Rakennuseristeet – Tehtaan hinnasto 15.6.2010. Paroc Oy Ab. 26 s. [PDF]. [Viitattu 26.7.2010]. Saatavissa:

http://www.paroc.com/spps/Finland/BI_attachments/Paroc%20Rakennuseristehinnasto15062010.pdf

PRP. 2008. Katto- ja seinäpellit (alv 22%). Pohjanmaan Rakennuspelti Oy. [PDF]. [Päivitetty 25.4.2008]. [Viitattu 26.7.2010]. Saatavissa:

<http://www.prp.fi/static/KATTO-%20JA%20SEINAPELLIT%20HINNASTO.pdf>

Seppänen Olli. 2001. Rakennusten lämmitys. 2.painos. Jyväskylä: Suomen LVI-liitto ry. 443 s. ISBN 951-98811-0-7

Suomen rakentamismääräyskokoelma C3. 2010. Lämmöneristys – Määräykset. Ympäristöministeriö. 7 s. [PDF]. [Viitattu 19.7.2010]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/pdf/normit/1919-C3s.pdf>

Suomen rakentamismääräyskokoelma C4. 2003. Lämmöneristys – Ohjeet. Ympäristöministeriö. 24 s. [PDF]. [Viitattu 19.7.2010]. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/pdf/normit/1931-C4s.pdf>

Suomen rakentamismääräyskokoelma D5. 2007. Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta – Ohjeet. Ympäristöministeriö. 71 s. [PDF]. [Viitattu 22.7.2010]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>

Taloon.com. 2010. Höyrysulkumuovi. [Verkkokauppa]. [Viitattu 27.7.2010]. Saatavissa: <http://kauppa.taloon.com/PublishedService?file=page&pageID=9&itemcode=JJ-38-51xvtu>

Tamminiemen Saha ja Höylä. 2010. Hinnasto 1.7.2010. [PDF]. [Viitattu 26.7.2010]. Saatavissa: <http://www.tamminiemi.com/hinnasto/HINNASTO.pdf>

Nykyarvotekijöitä

Aika, vuosina

Korkokanta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 %	0,99	0,98	0,971	0,961	0,951	0,942	0,933	0,923	0,914	0,905	0,896	0,887	0,879	0,87	0,861
2 %	0,98	0,961	0,942	0,924	0,906	0,888	0,871	0,853	0,837	0,82	0,804	0,788	0,773	0,758	0,743
3 %	0,971	0,943	0,915	0,888	0,863	0,837	0,813	0,789	0,766	0,744	0,722	0,701	0,681	0,661	0,642
4 %	0,962	0,925	0,889	0,855	0,822	0,79	0,76	0,731	0,703	0,676	0,65	0,625	0,601	0,577	0,555
5 %	0,952	0,907	0,864	0,823	0,784	0,746	0,711	0,677	0,645	0,614	0,585	0,557	0,53	0,505	0,481
6 %	0,943	0,89	0,84	0,792	0,747	0,705	0,665	0,627	0,592	0,558	0,527	0,497	0,469	0,442	0,417
7 %	0,935	0,873	0,816	0,763	0,713	0,666	0,623	0,582	0,544	0,508	0,475	0,444	0,415	0,388	0,362
8 %	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681	0,63	0,583	0,54	0,5	0,463	0,429	0,397	0,368	0,34	0,315
9 %	0,917	0,842	0,772	0,708	0,65	0,596	0,547	0,502	0,46	0,422	0,388	0,356	0,326	0,299	0,275
10 %	0,909	0,826	0,751	0,683	0,621	0,564	0,513	0,467	0,424	0,386	0,35	0,319	0,29	0,263	0,239
11 %	0,901	0,812	0,731	0,659	0,593	0,535	0,482	0,434	0,391	0,352	0,317	0,286	0,258	0,232	0,209
12 %	0,893	0,797	0,712	0,636	0,567	0,507	0,452	0,404	0,361	0,322	0,287	0,257	0,229	0,205	0,183
13 %	0,885	0,783	0,693	0,613	0,543	0,48	0,425	0,376	0,333	0,295	0,261	0,231	0,204	0,181	0,16
14 %	0,877	0,769	0,675	0,592	0,519	0,456	0,4	0,351	0,308	0,27	0,237	0,208	0,182	0,16	0,14
15 %	0,87	0,756	0,658	0,572	0,497	0,432	0,376	0,327	0,284	0,247	0,215	0,187	0,163	0,141	0,123

Jaksottaisten maksujen nykyarvotekijöitä

Aika, vuosina

Korkokanta	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 %	0,99	1,97	2,941	3,902	4,853	5,795	6,728	7,652	8,566	9,471	10,37	11,26	12,13	13	13,87
2 %	0,98	1,942	2,884	3,808	4,713	5,601	6,472	7,325	8,162	8,983	9,787	10,58	11,35	12,11	12,85
3 %	0,971	1,913	2,829	3,717	4,58	5,417	6,23	7,02	7,786	8,53	9,253	9,954	10,63	11,3	11,94
4 %	0,962	1,886	2,775	3,63	4,452	5,242	6,002	6,733	7,435	8,111	8,76	9,385	9,986	10,56	11,12
5 %	0,952	1,859	2,723	3,546	4,329	5,076	5,786	6,463	7,108	7,722	8,306	8,863	9,394	9,899	10,38
6 %	0,943	1,833	2,673	3,465	4,212	4,917	5,582	6,21	6,802	7,36	7,887	8,384	8,853	9,295	9,712
7 %	0,935	1,808	2,624	3,387	4,1	4,767	5,389	5,971	6,515	7,024	7,499	7,943	8,358	8,745	9,108
8 %	0,926	1,783	2,577	3,312	3,993	4,623	5,206	5,747	6,247	6,71	7,139	7,536	7,904	8,244	8,559
9 %	0,917	1,759	2,531	3,24	3,89	4,486	5,033	5,535	5,995	6,418	6,805	7,161	7,487	7,786	8,061
10 %	0,909	1,736	2,487	3,17	3,791	4,355	4,868	5,335	5,759	6,145	6,495	6,814	7,103	7,367	7,606
11 %	0,901	1,713	2,444	3,102	3,696	4,231	4,712	5,146	5,537	5,889	6,207	6,492	6,75	6,982	7,191
12 %	0,893	1,69	2,402	3,037	3,605	4,111	4,564	4,968	5,328	5,65	5,938	6,194	6,424	6,628	6,811
13 %	0,885	1,668	2,361	2,974	3,517	3,998	4,423	4,799	5,132	5,426	5,687	5,918	6,122	6,302	6,462
14 %	0,877	1,647	2,322	2,914	3,433	3,889	4,288	4,639	4,946	5,216	5,453	5,66	5,842	6,002	6,142
15 %	0,87	1,626	2,283	2,855	3,352	3,784	4,16	4,487	4,772	5,019	5,234	5,421	5,583	5,724	5,847

Lähtötietojen keräyslomake

Rakennus:		
Pinta-ala		m ²
Tilavuus		m ³
Korkeus		m
Sisälämpötila (mitattu tai arvioitu)		°C
Lämmitysaika		h/a
Rakenteet:		
Seinät		
-materiaalit		
-paksuudet		mm
-pinta-ala		m ²
Ikkunat		
-pinta-ala		m ²
-lasivälin paksuus/lasien lukumäärä		mm/lkm
-karmien materiaalit		
Katto		
-materiaalit		
-paksuudet		mm
-pinta-ala		m ²
Ovet		
-materiaalit		
-pinta-ala		m ²
-paksuus		mm
Ilmanvaihto:		
Ilmanvaihto vai ilmastointi		
-käyttöaika		h/päivä
-teho		kW
-ilmavirta		l/s
Ilmanvaihdon lämmitysjärjestelmä		
-käyttöaika		h/päivä
-teho		kW
Kohdepoistot		
-kuinka monta		kpl
-tehot		kW
-käyttöajat		h/päivä
Poistoilmansuodattimet		
Tuloilman kanavien sijainti		
Poistoilman kanavien sijainti		
Lämmöntalteenotto:		
Käyttöaika		h/päivä
Vuosihyötysuhde tai		
Lämpötilahyötysuhde		

Epätasaisten ainekerrosten lämmönvastukset, R_j

$$f_{\text{eriste}} = \frac{0,565\text{m}}{(0,565+0,02)\text{m}} = 0,966 \quad f_{\text{lauta}} = \frac{0,02\text{m}}{(0,565+0,02)\text{m}} = 0,034$$

Paroc eXtra:

$$R_{\text{Paroc},100} = \left(\frac{0,9666}{0,100\text{m} \cdot 0,036 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,0342}{0,100\text{m} \cdot 0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} = 2,573 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Paroc},125} = \left(\frac{0,9666}{0,125\text{m} \cdot 0,036 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,0342}{0,125\text{m} \cdot 0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} = 3,216 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Paroc},150} = \left(\frac{0,9666}{0,150\text{m} \cdot 0,036 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,0342}{0,150\text{m} \cdot 0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} = 3,859 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Paroc},175} = \left(\frac{0,9666}{0,175\text{m} \cdot 0,036 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,0342}{0,175\text{m} \cdot 0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} = 4,502 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{\text{Paroc},200} = \left(\frac{0,9666}{0,200\text{m} \cdot 0,036 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} + \frac{0,0342}{0,200\text{m} \cdot 0,12 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}} \right)^{-1} = 5,145 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Seinien lisäeristeiden määrä:

$$\text{Eriste: } \frac{0,565\text{m}}{0,565\text{m}+0,02\text{m}} \cdot 3200\text{m}^2 = 0,966 \cdot 3200\text{m}^2 = 3091\text{m}^2.$$

$$\text{Koolaus: } \frac{285,7\text{m}}{(0,565+0,02)\text{m}} \cdot 11,2\text{m} = 5470\text{m}.$$

$$\text{Tuulirako: } 285,7\text{m} \cdot \frac{11,2\text{m}}{1,5\text{m}} = 2133\text{m}.$$

Katon lisäeristeiden määrä:

$$\text{Eriste: } \frac{0,565\text{m}}{0,565\text{m}+0,02\text{m}} \cdot 5035\text{m}^2 = 0,966 \cdot 5035\text{m}^2 = 4863\text{m}^2.$$

$$\text{Koolaus: } \frac{71,0\text{m}}{(0,565+0,02)\text{m}} \cdot 11,2\text{m} = 8607\text{m}.$$

$$\text{Tuulirako: } 71,0\text{m} \cdot \frac{71,0\text{m}}{1,5\text{m}} = 2283\text{m}.$$

Nettonykyarvojen laskenta

Seinät:

$$\text{Paroc 100: } 4272 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{20}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}} - 48700\text{€} = 4538,6\text{€}$$

$$\text{Paroc 125: } 4681 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{20}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}} - 53762\text{€} = 4573,6\text{€}$$

$$\text{Paroc 150: } 5004 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{20}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}} - 59432\text{€} = 2928,9\text{€}$$

Katto:

$$\text{Paroc 150: } 4317 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{20}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}} - 61629\text{€} = -7829,6\text{€}$$

$$\text{Paroc 175: } 4614 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{20}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}} - 70913\text{€} = -13412,4\text{€}$$

$$\text{Paroc 200: } 4866 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{20}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{20}} - 79931\text{€} = -19289,9\text{€}$$

LTO-laite

$$\text{A-halli: } 12686 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{1,5}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{1,5}} - 13800\text{€} = 4105,4\text{€}$$

$$\text{B-halli: } 14295 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{1,5}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{1,5}} - 13800\text{€} = 6376,4\text{€}$$

$$\text{Yhteensä: } 26981 \frac{\text{€}}{\text{a}} \cdot \frac{(1+0,05)^{1,5}-1}{0,05 \cdot (1+0,05)^{1,5}} - 27600\text{€} = 22568,8\text{€}$$