

Juho-Petteri Heinänen

RAKENNUSTYÖMAAN ENERGIAANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET

Rakennustekniikan koulutusohjelma

2016



RAKENNUSTYÖMAAN ENERGIANSÄÄSTÖMAHDOLLISUUDET

Heinänen, Juho-Petteri
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Helmikuu 2016
Ohjaaja: Kujala, Mari
Sivumäärä: 48
Liitteitä: 3

Asiasanat: Energiatehokkuus, Työmaatilat, Ilmativiyskoe, yleisvalaistus, sääsuojaus

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ja tutustuttiin rakennustyömaiden rakennettavan kohteen ja työmaatilojen energiatehokkuuteen ja keskeisimpiin toimenpiteisiin niiden parantamisessa. Opinnäytetyön aikana tehtiin useita työmaakäyntejä ja mittauksia, joiden pohjalta opinnäytetyö kirjoitettiin.

Opinnäytetyössä tutustuttiin teoriaan kirjallisuuden avulla. Niiden pohjalta tehtiin ilmativiysmittaukset viidelle eri työmaatilatyypille. Mittauksien pohjalta laadittiin mittausraportit. Keskeisimpänä selvitettiin ilmanvuotoluvun q50 suuruus kussakin työmaatilatyypin kohdalta. Ilmanvuotoluvun suuruus on yhteydessä kohteen energiankulutukseen. Tuloksiksi saatiin, että työmaiden työmaatilojen energiatehokkuuksissa on suuria eroja.

Opinnäytetyössä tarkasteltiin rakennettavassa kohteessa toteutettua valaistusta ja väliaikaisien rakenteiden rakenneratkaisuja. Todettiin, että valaistuksella on suuri merkitys työmaan kokonaisenergiankulutuksessa. Johtopäätöksiksi saatiin, että valaistus ja väliaikaiset aukkosuojat ovat toteutettu energiatehottomasti. Eristämättömän aukon johtumislämpöhäviöstä johtuva energiankulutus on moninkertainen verrattuna, jos rakenne on eristetty.

Saatuja tuloksia vertailtiin kirjallisuudesta, yrityksen sisällä työskentelevien asiantuntijoilta ja internetistä saatuun tietoon ja niiden pohjalta kirjoitettiin opinnäytetyön kirjallinen osio.

Keskeisiksi tuloksiksi saatiin suunnittelun tärkeys valaistuksen ja lämmittämisen osalta, lämmönjakolaitteiden valinta kuhunkin työvaiheeseen tapauskohtaisesti ja niiden oikeanlainen sijoittaminen, ajastettu led-työmaavalojen käyttö sekä aukkosuojien merkitys.

ENERGY SAVING POSSIBILITIES OF THE CONSTRUCTION SITE

Heinänen, Juho-Petteri

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Construction Engineering

February 2016

Supervisor: Kujala, Mari

Number of pages: 48

Appendices: 3

Keywords: Energy efficiency, social premises, air leakage test, general lightning, weather guard

The purpose of this thesis was to investigate and become acquainted with energy efficiency of the sites and social premises and the goal was to improve them. During this final thesis many site visits and air leakage tests were made. Based on those this final thesis was written.

This study begins with theory of the books. Based on the theory five air leakage tests were made for different types of social premises. Measurement reports were made of all of them and the test result for air flow rate q50 was found out. There is connection between air flow rate and energy efficiency of the building.

The next step of this thesis was to make a site visit and observe how the general lightning and weather guards of the gaps were organized. The result of this thesis shows that general lightning has an important role in total energy consumption of the site. The conclusion is that general lightning and weather guards of the gaps were carried out energy inefficiently. The gap without insulation is much more energy inefficient than the gap could be insulated.

This thesis is written by using knowledge of the books, internet and professionals inside the company.

The results of this thesis shows that careful planning of the lightning and heating, using led construction lights and using weather guard have an important role.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	RAKENNUSTEOLLISUUDEN OSUUS ENERGIAN KÄYTTÄJÄNÄ.....	7
2.1	Energiankulutus Suomessa	7
2.2	Suomea koskevat säästötavoitteet energiankulutuksen osalta.....	8
2.3	Opinnäytetyön tavoitteet	8
3	RAKENNETTAVAN KOHTEEN ENERGIATEHOKKUUS	9
3.1	Rakennusten energiankulutus yleisesti ja siihen vaikuttavat tekijät	9
3.2	Lämpö yleisesti	10
3.3	Rakennettavan kohteen lämmitys	10
3.3.1	Kaukolämpö	13
3.3.2	Sähkölämmitys.....	13
3.3.3	Rakennettavan kohteen yleisvalaistus.....	14
3.3.4	Lampputyypit	16
3.3.5	Sääsuojaus ulkovaipassa olevien aukkojen osalta	18
4	TYÖMAATILOJEN ENERGIATEHOKKUUS	22
4.1	Rakenteiden ilmatiiviys	22
4.1.1	Mittausperiaate.....	24
4.1.2	Ilmatiiviyden vaikutus energiankulutukseen	26
4.2	Rakenteiden eristys	28
4.3	Lämmitys ja valaistus.....	30
5	KESKEISIMMÄT TOIMENPITEET ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI	31
5.1	Rakennettavan kohteen lämmitys	31
5.2	Rakennettavan kohteen valaistus	35
5.3	Rakennettavan kohteen sääsuojaus	39
5.3.1	Sääsuojahallin käytöstä muodostuvat kustannussäästöt.....	40
5.3.2	Aukkosuojien vaikutus energiankulutukseen	40
5.4	Jaksottainen lämmitys	42
5.4.1	Ilmalämpöpumppu	43
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	45
	LÄHTEET	47
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Pariisissa hyväksytyn ilmastopimuksen ja energian hinnan vaihtelun myötä myös rakennuslalla ovat ryhdytty uudistuksiin joihin keskeisimpänä kuuluvat energiansäästötoimenpiteet. Syitä hinnan muutoksille ovat olleet kiristynyt verotus sekä energian kulutuksen lisääntyminen. (Teriö & Hämäläinen 2015, 4.)

Rakennusliikkeet kuluttavat suuren määrän energiaa työmaa-aikana. Suurin osa kuuluu itse työmaan ja työmaaparakkien lämmittämiseen ja valaisuun sekä rakenteiden kuivatukseen. Ympäristötietoisuuden kasvaessa ja halu erottua positiivisesti kilpailijoiden joukosta, on saanut suuret rakennusliikkeet panostamaan järkeviin ratkaisuihin energiankäytön osalta. Tätä ilmiötä voidaan kutsua myös energiansäästötoimenpiteiksi. Yleisesti ottaen sana säästäminen on luonut mielikuvan, että jostain joudutaan luopumaan ja näin ollen sen hetkinen tilanne huononisi. Tästä ei kuitenkaan ole ollut kysymys. Kyse on siitä, että tehdään energian käyttöön liittyvät asiat järkevämmiin luoden rahallista säästöä useilla pienillä uudistuksilla ilman, että itsellemme tärkeistä asioista karsittaisiin.

Tämä työ on tehty yhteistyössä NCC Rakennus Oy:n ja Satakunnan ammattikorkeakoulun kanssa. Haluaisin kiittää suuresti opinnäytetyöni ohjaajia Mari Kujalaa ja Joonas Saikkosta sekä NCC:n mittausasiantuntijaa Tommi Aronrantaa. Tässä työssä tutustuttiin rakentamisen energiatehokkuuteen ja selvitettiin mikä on tämän hetkinen tilanne ja missä voitaisiin vielä toimia energiatehokkaammin. Rakennusten energian käyttöön on tehty suuria uudistuksia ja vuoden 2021 jälkeen EU:n sisällä rakennetaan ainoastaan nollaenergiataloja (Rakennusteollisuuden [www-sivut](http://www.sivut.n.d), n.d.). Tämä johtaa siihen, että rakennusalan osuus energian kokonaiskulutuksesta nousee ja tulee asettamaan rakennusalan tarkastelun alaiseksi. Tekemällä asiat nyt energiatehokkaammin työmailla ja luopumalla vanhoista käytännöistä, tulee se osoittautumaan meille eduksi tulevaisuudessa.

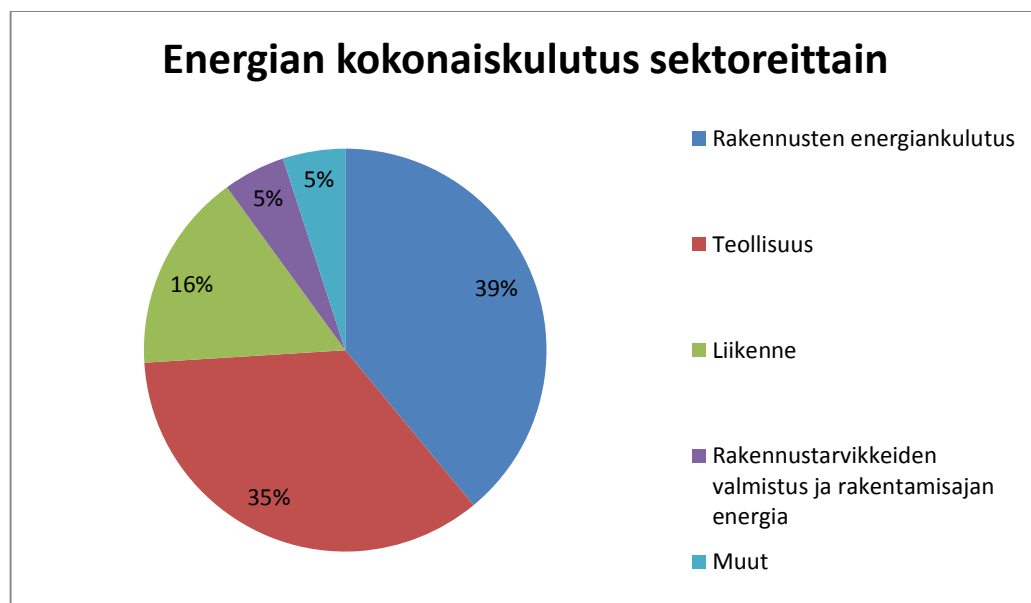
NCC Rakennus Oy:n toiminnassa on jo tapahtunut suuria muutoksia energian käytön osalta. Se näkyy muun muassa uusiutuvan energian käytössä ja lisäksi yritys on luo-

nut kestävän kehityksen strategian, jonka pääpainona on ympäristö. NCC:llä on ympäristöasioissa neljä painopistettä, joista mainittakoon ilmasto ja energia sekä BREEAM ympäristöluokitusjärjestelmä. (NCC Rakennus Oy:n www-sivut 2014.)

2 RAKENNUSTEOLLISUUDEN OSUUS ENERGIAN KÄYTTÄJÄNÄ

2.1 Energiankulutus Suomessa

Suomessa energiaa kuluu vuosittain noin 400 TWh. Vuosina 2007 ja 2008 kansantalouden primäärienergiankulutus oli 408 TWh ja 395 TWh. Uusiutuvan energian osuus oli 25 % edellä mainituista luvuista. ‘‘Primäärienergialla tarkoitetaan jalostamatonta luonnosta saatua energiaa kuten vesivoimaa, tuulta, maalämpöä, auringon säteilyä, uraania, hiiltä, turvetta, maakaasua, öljyä ja biopolttoaineita.’’ (Lappalainen 2010,12) Rakennuskannan jokavuotinen 0,5-1 % kasvu on johtanut siihen, että rakennussektori on tänä päivänä merkittävässä asemassa energian loppukäyttäjänä. Suomen kokonaisenergiankulutuksen jakautuminen sektoreittain vuonna 2007 on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Energian kokonaiskulutus sektoreittain 2007 (Lappalainen 2010,12)

2.2 Suomea koskevat säästötavoitteet energiankulutuksen osalta

Suomessa energiaa koskevat tavoitteet määräytyvät kansainvälisten sopimusten sekä ympäristöministeriön asettamien tavoitteiden myötä. Kioton sopimuksessa asetettiin tavoitteet sille, että keskimääräiset kasvihuonekaasupäästöt vuosina 2008- 2012 saataisiin alenemaan vuoden 1990 tasolle. Euroopan Unionin asettama energiansäästön toimenpideohjelman myötä kasvihuonepäästöjä tulisi vähentää ja energiatehokkuutta parantaa vuoden 1990 tasosta 20 % vuoteen 2020 mennessä. Suomelle on ehdotettu tavoitetta, jossa se lisäisi uusiutuvan energiankäyttöä niin, että sen osuus kasvaisi nykyisestä 28 %:sta 38 %:iin vuoteen 2020 mennessä. Varsinkin tuulivoiman ja lämpöpumppujen osuutta tulisi lisätä uusiutuvien energiamuotojen osalta. Samalla energian omavaraisuutta tulisi nostaa ja kokonaiskulutusta pienentää. (Lappalainen 2010,13.)

Energiansäästötavoitteita ohjaa käynnissä oleva ilmastonmuutoksen torjunta. Maapallon keskilämpötila on noussut arviolta 0,8 °C viimeisen 150 vuoden aikana. Maailmanlaajuiset tavoitteet ovat lämpötilan nousun estäminen ja saada kasvihuonekaasut puolittumaan verrattuna vuoden 1990 tasoon vuoteen 2050 mennessä. Ihmisten toiminnalla on suuri merkitys kasvihuonekaasujen tuotossa. Fossiilisten polttoaineiden tuottaman sähkön käytön vähentäminen on yksi ja tärkeä rakentamisen mahdollisuus vaikuttaa päästöjen minimoinnissa. (Climate change 2008, 5.)

2.3 Opinnäytetyön tavoitteet

Opinnäytetyössä kerron rakennettavan kohteen energiatehokkuudesta ja siitä, miten sitä olisi mahdollista parantaa. Työhön liittyen teen ilmativeysmittauksia työmaatiloiille tammi- ja helmikuun 2016 välisenä aikana. Yhteensä mittauksia tehdään 5 kappaletta ja niillä tutkitaan työmaatilojen energiatehokkuutta. Kustakin mittauksesta tulen tekemään mittausraportit ja ne tullaan esittämään opinnäytetyön liitteissä. Opinnäytetyö tulee rajautumaan rakennettavan kohteen lämmitykseen, valaistukseen ja sääsuojaukseen sekä työmaatiloihin. Opinnäytetyön tavoitteena on herätellä ajatuksia energiatehokkuuteen liittyvien uudistuksien osalta. Lähteinä käytetään pääosin suomalaista tietokirjallisuutta. Laskutoimitukset esitetään liitteissä ja niiden tulokset esitetään graafisesti ja numeroin opinnäytetyön kirjallisessa osiossa.

3 RAKENNETTAVAN KOHTEEN ENERGIATEHOKKUUS

3.1 Rakennusten energiankulutus yleisesti ja siihen vaikuttavat tekijät

Työmailla energiaa arvioidaan kuluvan 50- 100 kWh neliötä kohden. Suurin osa noin 70 % energiankulutuksesta aiheutuu lämmityslaitteiden käytöstä. Erilaiset nosto- ja siirtokoneet kuluttavat suunnilleen 20 % ja sosiaalitalat 10 %. Energiankulutus vaihtelee suuresti rakentamisajankohdan mukaan, maantieteellisen aseman mukaan että tuotantotekniikan. Huolellisella suunnittelulla on tärkeä tehtävä. (Lappalainen 2010, 153.)

Rakentamista ohjaavassa maankäyttö- ja rakennuslaissa mainitaan energiatehokkuudesta seuraavanlaisesti:

‘‘Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla suunnitellaan ja rakennetaan energiatehokkaaksi siten, että energiaa ja luonnonvaroja kuluu säästeliäästi’’ (Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012, 117 g §).

Rakennusten energiankulutukseen vaikuttavia tekijöitä voidaan katsoa olevan sen hetkiset sää-olosuhteet, joista huomioidaan keskilämpötilat, paikallinen sijainti, pakkaspäivät, tuulen vaikutus, auringon säteily, ulkoilman kosteus ja sademäärä sekä lumi. Edellä mainittuihin emme pysty käytännössä juuri vaikuttamaan. Halutulla sisäilmastolla on myös suurimerkitys energiankulutuksen kannalta. (Lappalainen 2010,18- 25.)

Rakennuksen rakenteellisilla ominaisuuksilla on myös suuri merkitys energiankulutuksen määrään. Rakennuksen muoto ja koko ja tilankäyttö ovat lähtökohtia, joihin työmaaolosuhteissa ei voida enää juurikaan vaikuttaa. Nämä energiankulutukseen vaikuttavat ratkaisut on tapahduttava jo itse suunnitteluvaiheessa. Rakennuksen vaippaan liittyvät ominaisuudet kuten lämmöneristävyys, ilmanpitävyys ja kylmäsil- lat ovat energiankulutuksen määrittämisen lähtökohtia. (Lappalainen 2010,27- 29.) Kuitenkin tässä työssä en tule perehtymään liiemmin siihen, miten erilaiset rakenteel-

liset suunnitteluratkaisut vaikuttavat energiankulutukseen rakennuksen loppukäyttäjän osalta vaan siihen, mitkä asiat ovat merkityksellisimpiä työmaan näkökulmasta ja siihen mitkä ratkaisut tulevat säästämään energiaa rakentamisen aikana.

3.2 Lämpö yleisesti

Lämmöllä tarkoitetaan atomien tai molekyylien värähtelyä. Lämmöstä puhuttaessa käytetään usein nimitystä siirtyminen. Lämpö voi siirtyä joko johtumalla, säteilemällä tai virtaamalla. (Siikanen 2012, 73.)

Johtumisella eli konduktiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa liike-energia siirtyy molekyylistä toiseen, tällöin puhutaan myös lämmön virtauksesta. Yksinkertaisesti lämpö pyrkii tasoittumaan virtaamalla lämpimästä kylmempään. (Siikanen 2012, 73.)

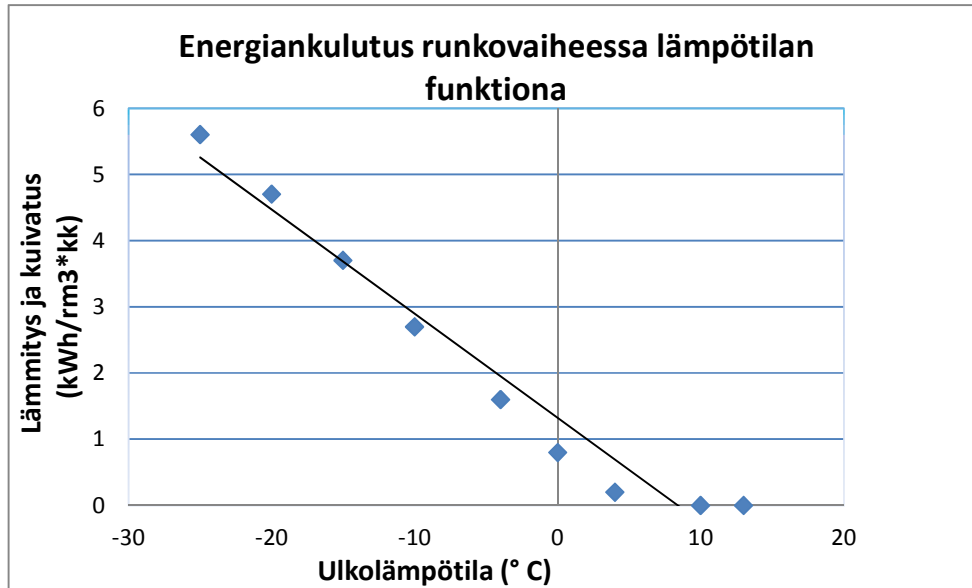
Säteilyllä eli emissiolla tarkoitetaan tilannetta, jossa energia siirtyy sähkömagneettisen aaltoliikkeen välityksellä. Rakennustekniikassa kyse on yleisesti lyhytaaltoisesta auringonsäteilystä, joka läpäisee ikkunan. (Siikanen 2012, 73.)

Virtauksessa eli konvektiossa lämpö siirtyy huoneessa ilmavirtauksen mukana. Virtauksen voi aiheuttaa esimerkiksi ihmisen liike, tuuli tai ilmanvaihto. Tällaisesta tilanteesta käytetään nimitystä pakotettu konvektio. Virtaus voi myös tapahtua luonnollisesti lämpötilan tiheyserojen vaikutuksesta, jolloin puhutaan luonnollisesta konvektiosta. (Siikanen 2012, 73.)

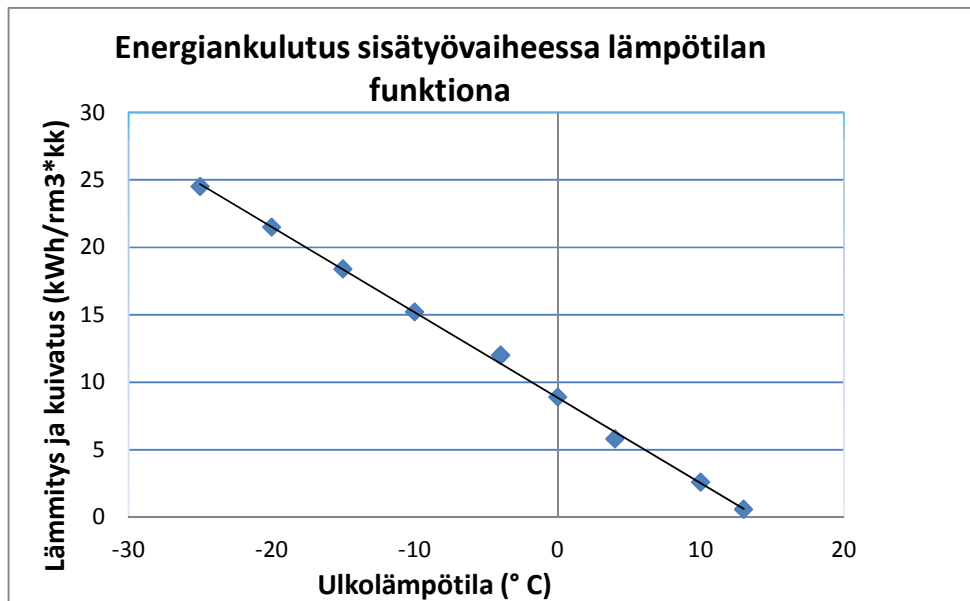
3.3 Rakennettavan kohteen lämmitys

Suuri osa rakentamiseen käytettävästä energiasta kuluu lämmittämiseen. Lämmityksen osuus rakennustyömaalla on noin 70 % kokonaisenergiankulutuksesta. Suurin syy tähän on suomen sääolosuhteet. Jopa yli 50 °C:n lämpötilaerot eri vuodenaikoina kasvattavat suuressa määrin lämmitystarvetta. Tärkein lähtökohta lämmittämisen aloittamiselle on se, että lämmitysjärjestelmä kytketään päälle vasta, kun vaipassa olevat aukot on suojattu. (Teriö & Hämäläinen 2015, 15.) Kaaviossa 1. on esitetty miten ulkolämpötilat vaikuttavat energiankulutukseen rakennuksen runkovaiheessa

lämmityksen ja kuivattamisen osalta. Kaavion mukaan jo $+7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpötilassa ja sitä korkeammassa, runkovaiheen lämmittämiseen ja kuivatukseen ei kuluisi enää energiaa. Kaaviossa 2. on esitetty ulkolämpötilojen vaikutus sisävalmistusvaiheen energiankulutukseen lämmittämisen ja kuivattamisen osalta. Kaavion mukaan $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ulkolämpötilassa ja sitä korkeammassa, sisävalmistusvaiheen lämmittämiseen ja kuivatukseen ei kuluisi enää energiaa. (Ratu 07-3034 1996, 5)



Kaavio 1. Rakenteiden työaikaiseen kuivatukseen ja lämmitykseen käytetty energia ulkolämpötilan funktiona (Ratu 07-3034 1996, 5)



Kaavio 2. Sisävalmistusvaiheen kuivatukseen ja lämmitykseen käytetty energia ulkolämpötilan funktiona (Ratu 07-3034 1996, 5)

Rakennettavaa kohdetta lämmitetään rakenteiden ja betonin kuivumisen takia ja, jotta luotaisiin viihtyisät rakennusolosuhteet. (Teriö n.d.) Rakentamista ohjaava maankäyttö- ja rakennuslaki on määritellyt lämmitysjärjestelmän käytöstä seuraavanlaisesti:

“Rakennushankkeeseen ryhtyvän on arvioitava lämmitysjärjestelmää koskeva tekninen, ympäristöön liittyvä ja taloudellinen toteutettavuus, jos uuden tai uusittavan rakennuksen lämmitysjärjestelmäksi ei valita uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käyttöön perustuvaa hajautettua energiahuoltojärjestelmää, yhteistuotantoon perustuvaa lämmitysjärjestelmää, kauko- tai aluelämmitys- tai -jäähdytysjärjestelmää taikka lämpöpumppua vaikka sellainen on saatavilla ja kustannustehokkaasti toteutettavissa” (Maankäyttö- ja rakennuslaki 958/2012, 117 h §).

Lämmitystarve voidaan jakaa rakennusvaiheittain, joita ovat maanrakennusvaihe, perustusvaihe, runkovaihe, täydentävien rakenteiden vaihe ja sisävalmistusvaihe. Maanrakennusvaiheessa lämmitystarve muodostuu perusmaan sulattamisesta ja sen sulana pitämisestä sekä lumen ja jään sulattamisesta. Perustusvaiheessa betonin lämmittäminen ja perustusten sulana pitäminen kattavat suurimman osan lämmityksestä työmaalla. Runkovaiheessa lämmitystä kaipaa itse kohteen lämmittäminen ja

betonin lämmittäminen. Täydentävien rakenteiden vaiheessa työmailla on huomattavasti parannettavaa. Tässä vaiheessa suurin osa julkisivusta on paikoillaan, mutta rakennuksessa on silti suuria aukkoja, jotka suojataan usein liiankin vaatimattomasti. Sisävalmistusvaiheessa rakennus on pääsääntöisesti tiivis. Lämmitystarpeen muodostavat sisätilojen lämmittäminen ja lämmitys ja kuivaus sisävalmistustöissä. (Ratu 07-3032 1996, 1.)

3.3.1 Kaukolämpö

Kaukolämpöä käytetään yleisesti päälämmönlähteenä rakennusaikana, mikäli sitä on saatavilla ja se voidaan järkevästi toteuttaa. Kaukolämmön toiminta perustuu siihen, että kaukolämpöverkon kiertämä kuumavesi lämmittää lämmönsiirtimen avulla rakennuksen lämmitysverkon vettä, joka ohjataan rakennuksen sisällä oleviin lämmönjakolaitteisiin. (Energiateollisuuden www-sivut, n.d.) Yleisimmät lämmönjakolaitteet rakennustyömaalla ovat kiertovesipuhaltimet. (Seppänen 2001, 270).

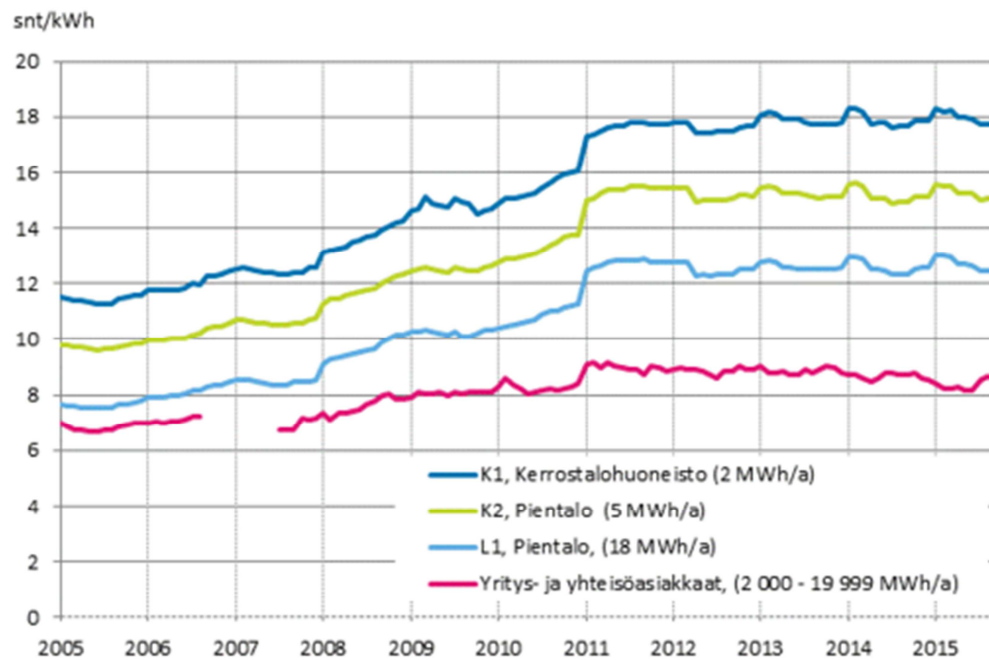
Tärkeintä niin kaukolämmön kuin minkä muun tahansa lämmitysjärjestelmän osalta on, että se säädetään paikan päällä sopivaksi. Tällöin siitä saadaan paras taloudellinen hyöty. Kiertovesipuhaltimien ei ole tarkoitus käydä täydellä teholla ympärivuorokauden vaan lämpötilamittareita tulee seurata säännöllisin ajoin ja tehdä sen myötä mahdolliset muutokset. (Seppänen ym. 2001, 278.)

Kiertovesipuhaltimien asettamisella on myös suuri merkitys kustannustehokkuuden kannalta. Ensimmäistä kerrosta tulee lämmittää tehokkaammin kuin ylintä, johtuen lämmön siirtymisestä ylöspäin. Puhaltimien asettelu ja mitoitus on aina tehtävä kohdekohtaisesti (Ratu 07-3032 1996, 1-5.)

3.3.2 Sähkölämmitys

Sähkölämmitys toteutetaan usein lämpöpattereiden tai lämminilmapuhaltimien avulla. Sähkölämmittäminen soveltuu hyvin pieniin tiloihin, missä lämmitystehontarve on pientä, mutta ei ole järkevä lämmitystapa suurissa kohteissa pienen lämmitystehon takia. Lämmitystehon pienuus johtuu kiinteistön sähköliittymän rajoittamasta

maksimitehosta. Kuitenkin asennuksen helppouden takia ja hinnan ollessa kilpailukykyistä, sähkölämmityksen käyttäminen on hyväksyttävää. (Teriö & Hämäläinen 2015, 15.) Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin on esitetty kuvassa 2. Hinnat sisältävät veron, siirtomaksun ja sähköenergian.



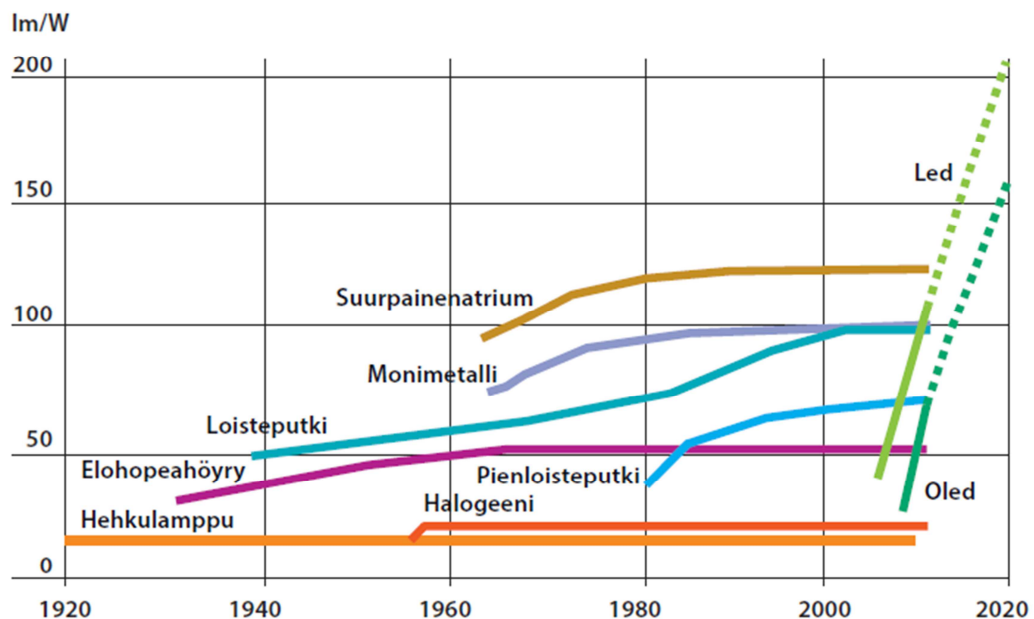
Kuva 2. Sähkön hinta kuluttajatyypeittäin sisältäen veron, siirtomaksun ja sähköenergian (Tilastokeskuksen www-sivut 2015)

3.3.3 Rakennettavan kohteen yleisvalaistus

Suomessa valaistuksen osuus kokonaissähkönkulutuksesta on noin 12 %. Tämän takia energiatehokkuus on noussut yhä tärkeämmäksi valintakriteeriksi lamputyyppejä valittaessa. Valaistus toteutetaan työmailla suorana valaistuksena eli yleisvalaistuksena sekä kohdevalaistuksena. Kohdevalaistusta käytetään, kun yleisvalaistus ei riitä kyseiseen työtehtävään. Työmaiden sisätilojen yleisvalaistuksen ohjearvona on, että sen tulisi olla vähintään 100 luksia (lx) Tähän luksin määrään päästään esimerkiksi ketjuttamalla loisteputkivalaisimet 6 m välein. (Kiurula, Päivärinta & Rasa, 2010, 33.) Luxi ilmaisee kuinka monta lumenia kohdistuu yhdelle neliömetrille (lm/m^2). Lumen kuvaa valon määrää. Valaistusta voidaan toteuttaa erilaisilla lamputyypeillä,

joista mainittakoon työmaan käytön osalta hehkulamput, halogeenilamput, loistelamput, energiansäästölamput, led-valoputket sekä led-valaisimet. Lampun valinnassa tulee huomioida niiden sopivuus eri käyttötarkoituksiin. Lamppujen ominaisuuksia ovat niiden muoto ja koko, sähköteho, valovirta, valotehokkuus, valovirran alenema, valon värilaji, polttoikä, syttymisaika, toimintavarmuus sekä käyttökustannukset. Kokonaiskustannuksia selvitetessä tulee huomioida lampun hankintakustannuksen lisäksi energiakustannukset, polttoikä, hävitys- ja huoltokustannukset. Lamppuja voidaan vertailla keskenään niiden valotehokkuuksien osalta (lm/W). Kuvassa 3. on esitetty valotehokkuuksien kehitys lampputyypeittäin. (RT 75-11118 2013, 1-3;Lappalainen 2010, 76.) Valtioneuvosto on määritellyt asetuksen työmaan valaistukseen liittyen seuraavanlaisesti:

“Rakennustyömaalla sekä erityisesti kulkuteillä on oltava riittävä ja sopiva yleis- ja paikallisvalaistus. Suuria ja äkillisiä valaistuseroja sekä häikäisyä on vältettävä. Valaisimet tulee asentaa siten, että ne eivät aiheuta vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle.” (Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009, 26 §)



Kuva 3. Valotehokkuuksien kehitys lampputyypeittäin (RT 75-11118 2013,2)

3.3.4 Lampputyypit

Hehkulampun käyttö perustuu siihen, että lasikuvun sisällä olevaa lankaa kuumennetaan sähkövirran avulla niin lämpimäksi, että lanka alkaa säteillä valoa. Hehkulampujen valontoistokyky on hyvä, koska sen säteily sisältää kaikkia valon aallonpituuksia eli värejä (Rakennustyömaiden valaistus 1980, 21). Vain 5 % hehkulampun käytämästä energiasta menee valontuottoon, loppu muuttuu lämmöksi. Yleiskäyttöön tarkoitetuista hehkulampuista luovuttiin poistamalla ne markkinoilta 2012 niiden huonon hyötysuhteen takia (RT 75-11118 2013, 6). Hehkulampun ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

Halogeenilamput ovat valoteholtaan, energiatehokkuudelta ja käyttöikänsä tehokkaampia kuin hehkulamput. Halogeenilamput itse asiassa ovat hehkulamppuja, mutta niissä hehkulanka on sijoitettu halogeenikaasutäytteiseen kvartsiputkeen. Halogeenilampujen huonona puoleena on niiden kuumeneminen, jonka takia niitä työmailla ei enää käytetä. Kiristyneet vaatimukset energiatehokkuuden osalta ovat vaikuttaneet siihen, että halogeenilamput tulevat poistumaan markkinoilta 1.9.2016 verkkojännitteisten halogeenilampujen osalta ja 1.9.2018 ympärisäteilevien halogeenilampujen osalta. (Lampputiedon www-sivut, n.d.) Halogeenilampun ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

Loistelampuilla tarkoitetaan pienipaineisia purkauslamppuja. Loistelamput jaetaan yksi- ja kaksikantaisiin loistelamppuihin. Yleisimmät kaksikantaiset loistelamput ovat malliltaan uudempia 7 mm halkaisijaltaan olevia T2-loisteputkia, 16 mm halkaisijaltaan olevia T5-loisteputkia tai vanhempia 26 mm halkaisijaltaan olevia T8-loisteputkia. Niiden tehokkuudet vaihtelevat pituuden mukaan välillä 10 – 80 W. (RT 75-11118 2013, 4; Lampputiedon www-sivut, n.d.) Loistelampujen ominaisuudet on esitetty taulukossa 1.

Energiansäästölamput ovat käytännössä samoja kuin pienloistelamput. Niiden toiminta perustuu lampun sisällä olevassa kaasussa tapahtuvaan sähköpurkaukseen. Niitä pienloistelamppuja, joissa on sisäänrakennettu sytytinlaitteisto ja kierrekanta sanotaan energiansäästölamppuiksi. Tällainen lampputyyppi voidaan asentaa hehkulampun tilalle ilman lisätoimenpiteitä. Energiansäästölamppujen hyvät puolet hehkulamppui-

hin nähden on niiden polttoajan pituus ja energiatehokkuus. Niiden sanotaan olevan lähes kymmenen kertaa pitkäikäisempiä kuin tavalliset hehkulamput ja sähkönkulutus on viidesosa hehkulampan sähkönkulutuksesta. Energiansäästölamput sopivat erinomaisesti yleisvalaistukseen ja tiloihin, joissa on suuri valon tarve. Energiansäästölampan valontuotto on riippuvainen ympäristön lämpötilasta ja ihannelämpötilat ovat tyyppikohtaisia. +25 °C:n lämpötilassa niiden toimivuus on tehokkaimmillaan. Täytyy huomioida myös se, että kaikki energiansäästölamput eivät ole suunniteltu ulkokäyttöön. Jotkin energiansäästölamput syttyvät vielä -20 °C:ssa, mutta niiden valontuotto näin kylmissä olosuhteissa jää alhaiseksi. (Lampputiedon www-sivut, n.d.)

Loisteputket voidaan korvata energiatehokkaammilla led-loisteputkilla. Tämä ei kuitenkaan käy yhtä vaivattomasti, kuin energiansäästölampan vaihto halogeenin tilalle. Led-valoputken asentamiseen loisteputken tilalle edellyttää yleisesti sytyttimen vaihtoa. Vaihtoa hankaloittaa myös led-valoputken pienempi säteilykulma ja tällöin valaisimien sijoittaminen tulee toteuttaa uudelleen. (Lampputiedon www-sivut, n.d.)

Led-lamput ovat markkinoiden uusimpia lamputyyppejä. Niiden vahvuuksina on kehittyvä teknologia, ympäristöystävällisyys, huoltovapaus, hyötysuhde, pitkäikäisyys ja niiden pieni koko. Ledit säteilevät pääasiassa näkyvää valoa, joten ne soveltuvat hyvin kohteisiin, joissa lämpö- tai UV-säteily aiheuttaa haittaa. Led-lamppuja löytyy niin pienois- että verkkojännitteisenä. Myös standardikannoille on olemassa led-lamppuja. Ledin heikkoutena on sen korkea hankintahinta ja huono lämmönsieto. (RT 75-11118 2013, 5.)

Valonlähde	Valotehokkuus (lm/W)	Hyöty polttoikä (h)
Hehkulamppu	8- 15	1000
Loistelamppu	50- 100	10000- 16000
Pienloistelamppu	40- 65	6000- 12000
Halogeenilamppu	12- 35	2000- 4000
LED-valaisin	40- 140	20000- 100000

Taulukko 1. Valonlähteiden ominaisuuksia (RT 75-11118 2013,3-4)

3.3.5 Sääsuojaus ulkovaipassa olevien aukkojen osalta

Rakennusvaiheaikeasta lämmitystä ei tule aloittaa ennen kuin ulkovaipassa olevat aukot ovat suojattu tehokkaasti. Mikäli rakennuksen vaipan aukot eivät ole suojattu, tällöin lämmittäminen ja rakentaminen eivät ole energiatehokasta. Suojaus tulee suunnitella aina kohdekohtaisesti. Kun halutaan suojautua kylmyydeltä, tärkeää on keskittyä pitkään auki oleviin rakenteisiin sekä työmaan kulkuaukkoihin. Esimerkiksi elementtirakentamisessa parhaan tuloksen takaisi, jos ikkunat olisivat asennettu jo tehtaalla. Harvoin näin kuitenkin on, jolloin ennen varsinaisten ikkunoiden asennusta työmaalla ylimääräiseksi, mutta välttämättömäksi tehtäväksi tulee ikkuna-aukkojen suojaus. (NCC:n kosteus- ja olosuhdehallittu rakennustyömaa – opas 2016, 22-27; Teriö & Hämäläinen 2015, 11.)

Aukkosuojauksella on muitakin syitä, kuin energiatehokkuus. Monet työvaiheet, kuten betonointi ja sen kuivuminen vaativat lämpöä. Oikeanlaisella suojauksella varmistetaan, että haluttu lämpötila saadaan pysymään kyseisessä tilassa. Rakenteiden kuivattaminen onnistuu paremmin, kun lämpö saadaan pidettyä niissä tiloissa, joissa sitä tarvitaan. Lumen ja veden aiheuttavat viistosateet ja niiden pääsy rakennusten sisälle lisäävät lämmityksen ja kuivatuksen tarvetta. Aukkosuojat estävät hyvin viistosateiden pääsyn rakennettavaan kohteeseen. Aukkosuojat suojaavat rakennettavaa kohdetta myös tuulelta luoden hyvät työskentelyolosuhteet. (NCC:n kosteus- ja olosuhdehallittu rakennustyömaa – opas 2016, 22-27)

Paras tulos energiatehokkuuden kannalta on, kun aukot suojataan käyttämällä lämmöneristettä. Esimerkiksi eristelevyllä ja vanerilla tehty aukkosuoja on nopea ja edullinen toteuttaa ja usein näitä materiaaleja ei tarvitse edes erikseen hankkia, vaan työmailla nämä ovat yleistä ylijäämätavaraa. Kuvassa 4. on esimerkki hyvin tehdystä väliaikaisesta kulkuovesta. (NCC:n kosteus- ja olosuhdehallittu rakennustyömaa – opas 2016, 27). Rakenteita vertaillen, voidaan laskennallisesti todeta, kuinka paljon eri rakennekerroksen läpi johtuu lämpöä. Liitteessä 3. ovat laskelmat sille, kuinka paljon vanerisen oven läpi johtuu lämpöä verrattuna, jos se olisi eristetty. Rakenteiden tarkemmat tiedot on kerrottu liitteessä 3.



Kuva 4. Työmaan väliaikainen kulkuovi

Seuraavat kaavat on kerätty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osasta C4 Lämmöneristys 2012.

Kaava (1)

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen (R_t) käänteisluku

$$U = \frac{1}{R_t}$$

U = rakennusosan lämmönläpäisykerroin $W/(m^2K)$

R_t = rakennusosan kokonaislämmönvastus m^2K/W

Kaava (2)

Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus (R) lasketaan ainekerroksen paksuutta (d) sekä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa (λ_u) apuna käyttäen

$$R = \frac{d}{A_u}$$

R = ainekerroksen lämmönvastus $m^2 K/W$

d = ainekerroksen paksuus m

A_u = ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo $W/(m K)$

Kaava (3)

Lämmön johtuminen voidaan laskea lämpövirran tiheyden kaavalla

$$q = U(T_2 - T_1)$$

q = lämpövirran tiheys $[W/m^2]$

d = ainekerroksen paksuus m

T_2 = Ulkotilan lämpötila $^{\circ}C$

T_1 = Sisätilan lämpötila $^{\circ}C$

Kun lämpövirrantiheyden kaava kerrotaan pinta-alalla (m^2) ja tunti määrällä (h) saadaan vuorokaudessa rakenteen läpi johtuva lämpö yksikkönä (kWh).

Liitteen 3. tulokseksi saatiin, että pelkällä vanerilevyllä tehdyn oven ($3m^2$) läpi $30^{\circ}C$ lämpötilaerossa johtuu vuorokaudessa 9,4 kWh. Vastaava tulos eristetyllä ovelle on 1,3 kWh vuorokaudessa.

Toinen suojaustapa on kevytpeitteiden käyttö aukkosuojina. Tämä ei ole kovinkaan energiatehokasvaihtoehto, mutta usein käytetty ratkaisu. Niiden käyttö soveltuu silloin, kun rakenne tulee olemaan vain hetken auki. Kevytpeitteitä käytettäessä ne tuli-

si asentaa aina kaksikerroksisesti. Syy tähän on se, että niiden väliin pyritään saamaan ilmatila ja näin niiden eristävyys paranee. (Teriö & Hämäläinen 2015, 11.)

4 TYÖMAATILOJEN ENERGIATEHOKKUUS

4.1 Rakenteiden ilmatiiviys

Rakennusmääräyskokoelman osassa D3 rakennusten energiatehokkuus on määritelty ilmanpitävyyden osalta seuraavanlaisesti:

“Sekä rakennusvaipan että tilojen välisten rakenteiden tulee olla niin ilmanpitäviä, että vuotokohtien läpi tapahtuvat ilmavirtaukset eivät aiheuta merkittäviä haittoja rakennuksen käyttäjille, rakenteille tai rakennuksen energiatehokkuudelle. Erityistä huomiota tulee kiinnittää rakenteiden liitosten ja läpivientien suunnitteluun sekä rakennustyön huolellisuuteen. Rakenteisiin on tarvittaessa tehtävä erillinen ilmansulku” (Suomen RakMK D3 2012, 5).

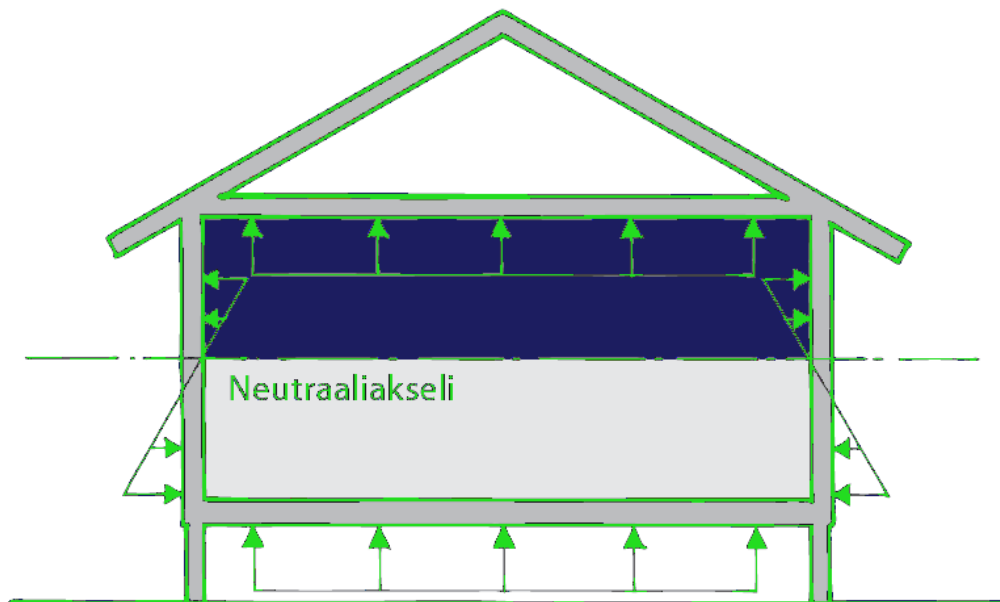
Rakenteen ilmatiiveydellä tarkoitetaan sitä miten hyvin rakenne estää haitallisen ilmanvaihtuvuuden eri kerrosten välillä. Rakennusten ilmatiiveyttä on alettu mittaamaan kaikissa uusissa rakennuksissa energiatodistuksen myötä. Vaihtoehtona mittaukselle on ilmoitusmenettely, jossa rakennukselle annetaan talotyypikohtainen lukuarvo. Rakennuksen ilmatiiviyden katsotaan olevan osa rakennusten energiatehokkuutta. Usein rakennusten tiiveys ja ilmatiiveys sekoitetaan keskenään. Tiiveydellä tarkoitetaan vesihöyryn kulkeutumista rakenteen läpi. Tästä käytetään myös nimitystä vesihöyryn diffuusio. Ilmatiiveydellä mitataan sitä, miten rakenne vastustaa ilman liikettä rakenteiden läpi. Mikäli rakennuksen vaipassa on ilmanvuotokohtia, voi sisäilman kosteus diffuusion vaikutuksesta kulkeutua ilmavirtausten mukana rakenteen vuotaviin kylmiin osiin, joihin se kondensoituu ja pahimmassa tapauksessa aiheuttaa kosteusvaurion. Kondensoitumisella tarkoitetaan vesihöyryn tiivistymistä. Tämän edellytyksenä on, että kylmän rakenneosan lämpötila on alhaisempi, kuin ilman kastepistelämpötila. Tässä tilanteessa kastepisteellä tarkoitetaan rakennuksen sisällä olevaan rakenneosaa, jonka alhaisen lämpötilan takia vesihöyry tiivistyy vedeksi. Toinen tärkeä syy ilmatiiveyden parantamiselle on viihtyvyyden lisääminen. Ilmatiiveyden parantamisen myötä, myös vedontunne vähenee. (Paloniitty 2012, 7-13.)

Ilmatiiveydellä siis mitataan rakennuksen vaipan läpäisevää ilmavirtausta. Vaipalla tarkoitetaan rakennuksen niitä osia, jotka erottavat rakennuksen ulkoilmasta. Tärkeimpiä kohtia ilmatiiveyden osalta ovat liitoskohdat. Liitoskohdiksi voidaan katsoa kuuluvan ikkunat, ovet, hormien liitokset sekä rakenteiden liitokset. (Paloniitty 2012, 7-13.)

Paine- ja lämpötilaerot sisä- ja ulkoilman välillä aiheuttavat rakennuksissa konvektiota eli ilman liikettä. Lämpötilaerojen osalta puhutaan luonnollisesta konvektiosta ja paine-erojen osalta pakotetusta konvektiosta. Pakotettua konvektiota voi aiheuttaa ilmanvaihtojärjestelmä, tuuli ja savupiippuvaikutus. (Siikanen 2012, 74- 75.)

Savupiippuvaikutus johtuu yksinkertaisuudessaan huonetilan lämpenemisestä. Kun ilman lämpötila kasvaa, sen tiheys pienenee. Lämmin ilma pyrkii nousemaan ylöspäin ja tämä aiheuttaa huoneen yläosaan ylipainetta, kun samaan aikaan huoneen alaosassa vallitsee alipaine. Näiden välissä, jossa sisäilmanpaine on sama kuin ulkoilmanpaine kutsutaan neutraaliakseliksi. Vaikka savupiippuvaikutuksen aiheuttamat paine-erot ovatkin pieniä, niin niillä katsotaan olevan merkitystä rakennuksen lämpö- ja kosteustekniseen toimintaan syystä, että ilmiö on pysyvä. (Paloniitty 2012, 7-13; Siikanen 2012, 74- 75.)

Neutraaliakselin sijainti on riippuvainen ilmanvaihtokanavista, avonaisista ikkunoista ja ulko-ovista sekä huoneen aukotuksista. Neutraaliakselin tulisi sijaita huoneen keskimääräistä korkeutta korkeammalla, jotta varmistettaisiin tilan alipaineisuus. Alipaineistetusta tilasta poistuu enemmän ilmaa, kuin mitä sinne tulee. Tällöin rakennus toimii kosteusteknisesti oikein. Tilannetta, jossa neutraaliakseli sijaitsee tilan keskimääräistä korkeutta alempana, tulisi välttää. Tällaisessa tilanteessa tilassa vallitsee ylipaine ja näin rakennus toimii kosteusteknisesti väärin. (Siikanen 2012, 74.) Kuvassa 5. on esitetty neutraaliakselin vaikutus tilassa olevan ilman liikkeisiin. Kuvasta 5. on nähtävissä, että neutraaliakselin yläpuolinen ilma pyrkii liikkumaan kohti rakenteita ja näin ollen mahdollistaa ilmassa olevan vesihöyryn kulkeutumisen rakenteisiin. Neutraaliakselin alapuolinen alue toimii päinvastoin, eikä näin aiheuta kosteusrasitusta rakenteille.



Kuva 5. Neutraaliakselin sijainti huoneen keskikorkeudella (Siikanen 2012, 74)

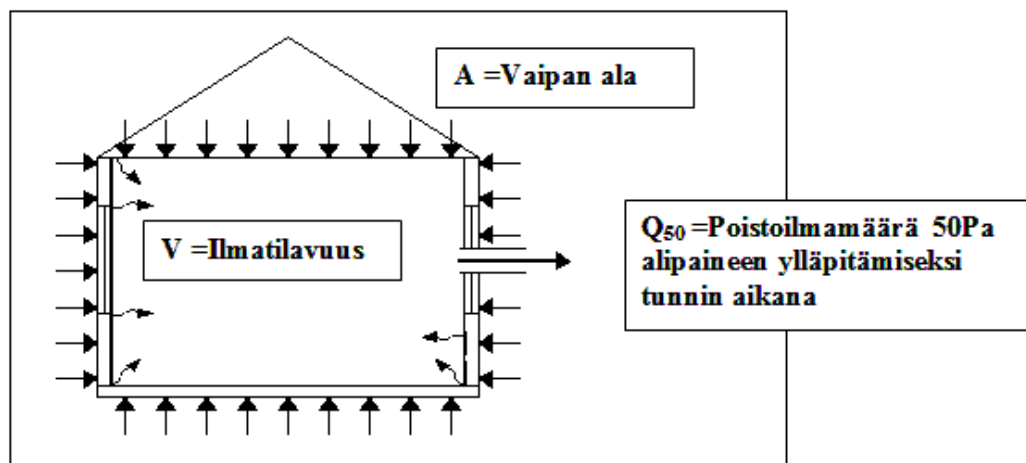
4.1.1 Mittausperiaate

Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D3 rakennusten energiatehokkuus on annettu vähimmäisarvot ilmanvuotoluvulle.

“Rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} saa olla enintään 4 ($m^3/(hm^2)$). Ilmanvuotoluku voi ylittää arvon 4 ($m^3/(hm^2)$), jos rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut huonontavat merkittävästi ilmanpitävyyttä” (Suomen RakMK D3 2012, 5).

Mittaus suoritetaan paine-eromenetelmällä, jossa koneellisesti aiheutetaan paine-ero sisä- ja ulkoilman välille. Tässä menetelmässä käytetään oveen tai ikkunaan asennettavaa puhallinta. Mikäli kyseessä on tilavuudeltaan suuri rakennus, käytetään rakennuksen omaa ilmanvaihtolaitteistoa. Paine-eron suuruus on 50 Pascalia. Mittaus suoritetaan vähintään viidellä eri paine-erolla ja lasketaan kuinka suuri ilmamäärä tarvitaan pitämään paine-ero. Mittauksesta saadaan vuotoilmakäyrä ja 50 Pascalin paine-eroa vastaava ilmamäärä. Ennen mittauksia tulee olla laskettuna tilan ilmatilavuus ja vaipan ala. Kun 50 Pascalin paine-eroa vastaava ilmamäärä jaetaan ilmatilavuudella,

niin saadaan selville ilmanvuotoluku n_{50} . Saman ilmamäärän jakaminen vaipan alalla antaa tulokseksi ilmanvuotoluvun q_{50} . Ilmanvuotoluku n_{50} kertoo kuinka monta kertaa tilan ilmatilavuus vaihtuu tunnissa vaipan olevien vuotoreikien kautta. Yksikkönä luvulle n_{50} on 1/h. Mikäli suunnitelmissa halutaan käyttää parempaa, kuin 4,0 1/h arvoa ilmanvuotoluvulle täytyy se laskennallisesti osoittaa. Ilmanvuotoluku q_{50} kertoo vaipan keskimääräistä vuotoilmavirtaa tilanteessa, jossa tilaan on aiheutettu 50 Pascalin paine-ero. Yksikkönä q_{50} luvulle on $[m^3/(h \cdot m^2)]$. (Paloniitty 2012, 14-29.)



Kuva 6. Vaipan tiiviysmittauksen periaate (Paloniitty 2012,29)

q₅₀ -luku	Selite
yli 4	Poikkeukselliset rakenteelliset ratkaisut
≤ 4	Vähimmäisvaatimus kaikille uudisrakennuksille
2	Laskennassa käytettävä vertailuarvo
≤ 1	Määräysten suositusarvo

Taulukko 2. Määräyksistä koostuva raja-arvo-taulukko (Paloniitty 2013,156)

Taulukosta 2. nähdään raja-arvot uudisrakentamiselle. Taulukoiden arvoja voidaan käyttää vertailuarvoina opinnäytetyöni laskuissa.

4.1.2 Ilmatiiviuden vaikutus energiankulutukseen

Laskennallisesti on osoitettu, että ilmanvuotoluvun kasvaessa yhdellä kokonaisella luvulla sen vaikutus energiankulutukseen on 4 % nostava. (NCC Rakennus Oy:n www-sivut 2015)

Seuraavat kaavat on kerätty Suomen Rakentamismääräyskokoelman osasta D3 2012 ja D5 2012, joilla saadaan laskettua vuotoilman lämmitykseen tarvittava energia.

Kaava 1

Vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia $Q_{vuotoilma}$

$$Q_{vuotoilma} = H_{vuotoilma} \frac{(T_s - T_u)\Delta t}{1000}$$

$Q_{vuotoilma}$ = vuotoilman lämmityksen tarvitsema energia kWh

$H_{vuotoilma}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö, W/K

T_s = sisäilman lämpötila, °C

T_u = ulkoilman lämpötila, °C

Δt = ajanjakson pituus, h

1000 = kerroin, jolla suoritetaan laatumuunnos kilowattitunneiksi (Suomen RakMK D5 2012, 10).

Kaava 2

Vuotoilman ominaislämpöhäviö $H_{vuotoilma}$

$$H_{vuotoilma} = \rho_i \times c_{pi} \times q_{v'}_{vuotoilma}$$

$H_{vuotoilma}$ = vuotoilman ominaislämpöhäviö, $\frac{W}{K}$

ρ_i = ilmantiheys, 1,2 kg/m³

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

$q_{v'}$ = vuotoilma vuotoilmavirta, $\frac{m^3}{s}$ (Suomen RakMK D3 2012, 6).

Kaava 3

Vuotoilman vuotoilmavirta q_v

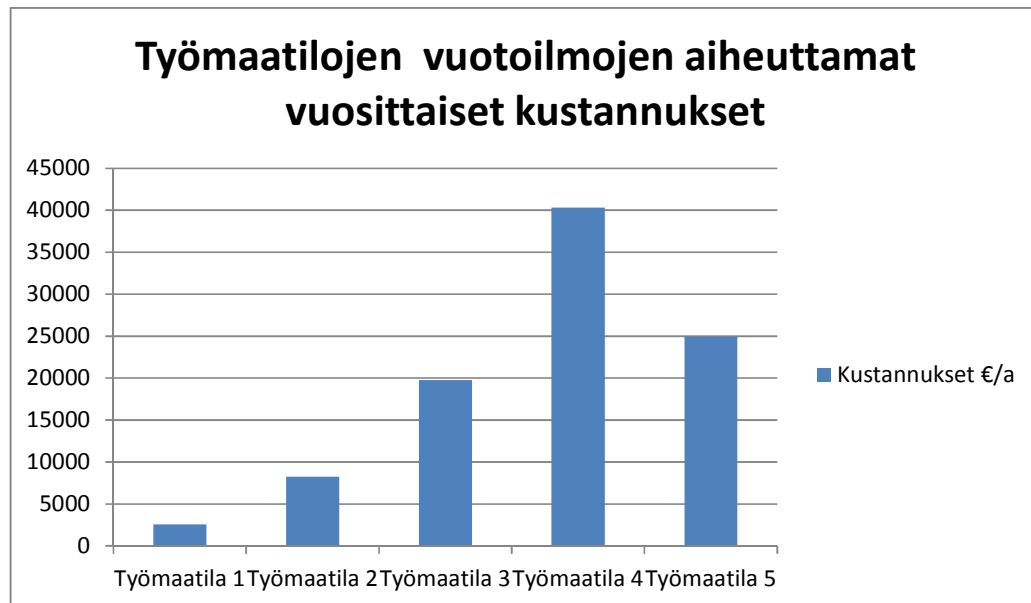
$$q_{v,vuotoilma} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \left(\frac{q_{50}}{3600 \times X} \right) \times A_{vaiippa}$$

$X = \text{kerroin}$: yksikerroksisille rakennuksille 35, kaksikerroksisille rakennuksille 24, kolmi- ja neli- kerroksisille 20 ja niitä suuremmille 15. (Suomen RakMK D3 2012, 9). Laskennat ovat esitetty liitteessä 1.

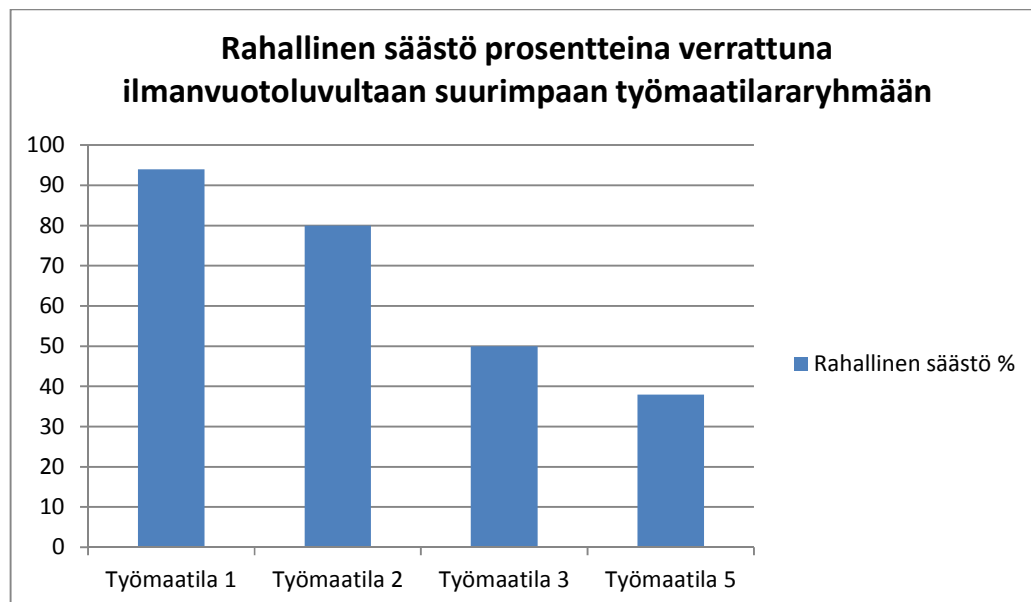
Tilaryhmät	Ilmanvuotoluku q50	Ilmavuodoista aiheutuneet kustannukset €/a/elementti
Työmaatila 1	0,69	3,2
Työmaatila 2	2,1	10,3
Työmaatila 3	5,98	24,7
Työmaatila 4	11,93	50,4
Työmaatila 5	7,1	31,2

Taulukko 3. Mittauksista saadut tulokset tilaryhmittäin

Taulukon 3. tulokset eivät anna realistista kuvaa siitä, kuinka paljon työmaatilojen hallitsemattomat vuotoilmat vaikuttavat työmaan energiakustannuksiin. Tarkastellaan asiaa koko NCC Rakennus Oy:n osalta. Arvioidaan, että NCC:llä Suomessa on käynnissä 100 työmaata, joiden kesto on keskimäärin vuosi. Työmaatilaelementtejä oletetaan olevan 8 kappaletta jokaista työmaata kohden. Yhteensä Työmaatilaelementtejä on tällöin 800 kappaletta. Vuotoilman vaikutus energiankulutukseen koko organisaation osalta on esitetty kaaviossa 3.



Kaavio 3. Työmaatilojen hallitsemattomien vuotoilmojen kustannukset vuosisatasolla 800 työmaatilana osalta, jos käytössä olisi kyseessä oleva työmaatilatyyppe



Kaavio 4. Työmaatilaryhmiän rahallinen säästö prosentuaalisesti verrattuna ilmanvuotoluvulta suurimpaan työmaatilararyhmään 4

4.2 Rakenteiden eristys

Viiden NCC:llä yleisimmän käytössä olevien erilaisen työmaatilaelementtien lämmöneristys on toteutettu kahdella tapaa, jotka ovat polyuretaanieristys ja mineraalivilla eristys. Tämä ilmenee liitteessä 1.

Mineraalivillaeristeet jaetaan kahteen tyyppiin, jotka ovat pehmeät eristeet ja jäykät eristeet. Ne on valmistettu epäorgaanisista kuiduista ja orgaanisista sideaineista. Yleisimpinä mineraalivillaeristeinä on kivi- ja lasivillat. Niiden huokoinen rakenne ja paikalla pysyvän ilma ovat perusta mineraalivillojen lämmöneristävyyden alhaiselle lämmönjohtavuudelle. Lämmönjohtavuudella tarkoitetaan sitä, kuinka materiaali johdtaa lämpöä. Lämmönjohtavuuden tunnuksena on lambda-arvo (λ) ja sen yksikkönä on (W/mK). Mitä alhaisempi lambda-arvo on, sitä parempi se on lämmöneristeen kannalta. Hyvän lämmöneristävyyden katsotaan säästävän rakennuksen käytössä aiheutuvaa lämmitysenergiaa, joka on moninkertainen verrattuna tuotteen valmistukseen käytettävään energiamäärään. (RT 36-10689 1999, 4.)

Mineraalivillaeristeen lämpimällä puolella täytyy käyttää höyrynsulkua johtuen siitä, että sen vesihöyrynläpäisevyys on melko suurta. Kosteuspitoisuus mineraalivillalla on <0,5 % sen kuivapainosta, joka on 15- 300 kg/m³. Mineraalivillan kastuminen vaikuttaa heikentävästi sen lämmöneristyskykyyn ja lisää kosteusvaurioriskiä. Jäykät mineraalivillaeristeet soveltuvat käytettäväksi ilman tuulensuojalevyä, mutta pehmeiden mineraalivillojen yhteydessä se on välttämätöntä. Tuulensuojalevyllä estetään haitallinen ilmanliike rakenteeseen. (RT 36-10689 1999, 4.)

Polyuretaanieristeen toimivuus perustuu sen umpisolurakenteeseen sekä eristeen soluissa oleviin kaasuihin. Umpisolurakenteensa ansiosta sillä on muita eristemateriaaleja pienempi vesihöyrynläpäisevyys. Pääraaka-aineina ovat polyoli, isosynaatti ja ponneaine. Polyuretaanieristeillä saadaan aikaan ohuempia rakennepaksuuksia kuin esimerkiksi mineraalivillalla. Polyuretaanin muita ominaisuuksia on sen hyvät puristus-, leikkaus-, ja vetolujuudet sekä keveys ja muodon pysyminen. Polyuretaanieristettä käytetään levyinä, jotka voivat olla pinnoitettu tuotteesta riippuen muovipintaisella paperilla, alumiinifoliolla, teräsohutlevyllä tai rakennuslevyllä. (Siikanen 2001, 268; Pullola 2000, 703.)

Polyuretaanieristeitä käytetään rakennuksen vaipan lämmön- ja lisälämmöneristeenä sekä routaeristeenä. Polyuretaanieristeen lämmönjohtavuus on noin kolmasosa ilman lämmönjohtavuudesta. Lämmönjohtavuus (λ) vaihtelee välillä 0,024- 0,030 W/mK. Polyuretaanieristeillä on hyvä kosteudensietokyky. 100 % suhteellisessa kosteudessa (RH) vettä imeytyy ainoastaan 0,2 tilavuusprosenttia. Käytettäessä polyuretaania

eristeenä rakenne ei tarvitse erillistä höyrynsulkua eikä myöskään tuulensuojaa. Polyuretaanin käyttö eristeenä mineraalivillan sijasta takaa varmemman tiiviyden. Syy siihen on se, että yksi tärkeä työvaihe, höyrynsulun asennus, jää kokonaan pois. (Pullola 2000, 704.)

Muita ominaisuuksia polyuretaanieristeellä on sen lujuusomaisuudet, lämmönsietokyky, palotekniset ominaisuudet, kestävyysomaisuudet ja terveydelliset ominaisuudet. Polyuretaanin puristuslujuus vaihtelee välillä 100- 250 KPa ja vetolujuus välillä 150- 250 KPa. Jatkuva lämmönsietokyky normaaleilla tuotteilla vaihtelee -40 ° C:sta +100 ° C:seen. Erikoistuotteilla voidaan käyttää -180 ° C:sta +130 ° C:seen. Polyuretaani on palava tuote, jonka syttymislämpötila on +300 ° C. Polyuretaanille on myönnetty pintamateriaalien puhtain päästöluokka M1. (Pullola 2000, 704.)

4.3 Lämmitys ja valaistus

Työmaatilat lämmitetään pääosin 800- 1500 W sähköpattereiden avulla työmaatilar ryhmästä riippuen. Uutuutena työmaatiloihin ovat tulleet ilmalämpöpumput, kuitenkin niiden käyttö on tarkoitettu pääsääntöisesti kesäisin jäähdyttämiseen. Jäähdytyskäytössä ilmalämpöpumppu syö niitä säästöjä, joita talven aikana ilmalämpöpumpun käytöllä lämmityksessä on säästetty. Jäähdytystoimintoa tulisi käyttää vain silloin, kun on todellinen tarve. (Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö 2012, 5.) Osassa työmaatiloista on erilliset kuivaushuoneet ja osassa erilliset 2 kW:n kuivauskaapit. Kuivaushuoneissa lämmitys on toteutettu työmaatilán omalla lämpöpatterilla tai erillisellä pienemmällä 3 kW:n sähkölämmittimellä.

Työmaatilojen valaistus on toteutettu suurimmaksi osaksi loisteputkivalaisimilla. Työmaatilar ryhmästä riippuen valaistus kytkeytyy joko liiketunnistimen avulla tai tavanomaisella seinään sijoitetulla katkaisijalla.

5 KESKEISIMMÄT TOIMENPITEET ENERGIA TEHOKKUUDEN PARANTAMISEKSI

5.1 Rakennettavan kohteen lämmitys

Rakennettavan kohteen väliaikainen lämmitys tulee suunnitella ja toteuttaa huolella. Tarkoituksena on, että lopullinen lämmitysjärjestelmä saataisiin toimintakuntoon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa, jotta rakennukseen saadaan mahdollisimman tasainen lämpötila. (Ratu 07-3032 1996, 1-5.) Tavoitteena on järjestää lämmitys niin, että se tukee rakennuksen jokaista työvaihetta luoden samalla suotuisat olosuhteen työntekijöille. Liian usein kuulee tai törmää tilanteeseen, jossa rakennuksessa on lämmitysjärjestelmä kytketty päälle, runkoa nostetaan, mutta kuitenkin vaippa ei ole tiivis. Ikkunoita ei ole asennettu eikä niiden kohdille ole tehty aukkosuojia. Tarkoituksena ei ole kuitenkaan lämmittää ulkoilmaa. Lisäksi oikeanlaisen lämmitystavan valinta on oleellista. Taulukossa 4. on esitetty betonin lämmittämiseen kuluva energia eri lämmitysratkaisujen avulla. Taulukosta on helppo todeta, että ilman lämmittäminen on tehottomin ratkaisu betonin kuivumisen kannalta.

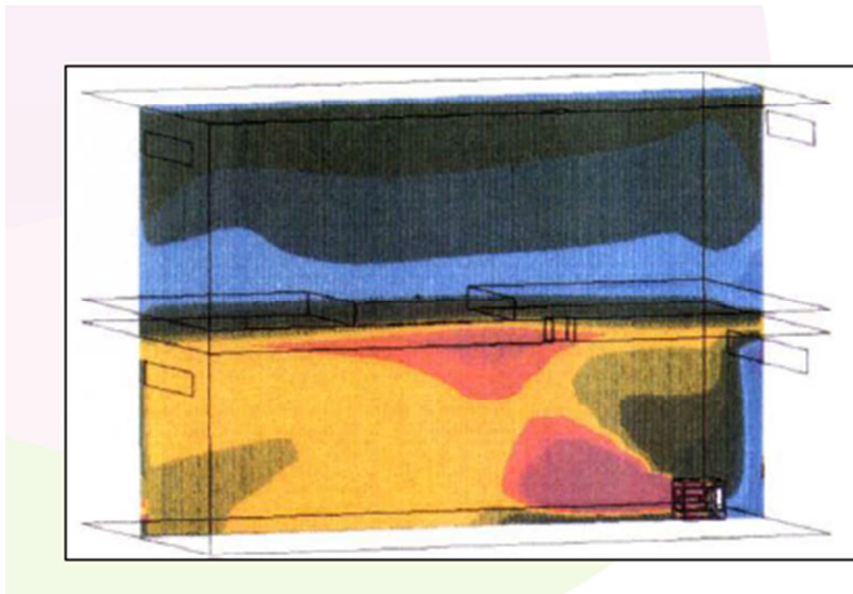
Menetelmä	Energiankulutus kWh/betoni-m³	Betonin kovettumisaika vrk
Lankalämmitys	60...100	1...3
Kuumailmalämmitys	150...500	2...5
Infrapunalämmitys	90...180	1...3
Muottilämmitys	50...100	1...3

Taulukko 4. Eri lämpökäsittelymenetelmien energiankulutus (Ratu C8-0377 2010, 5)

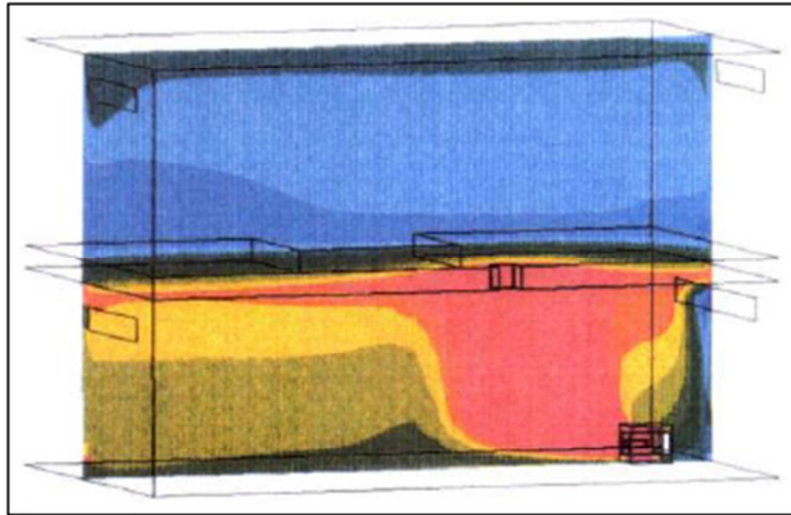
Rakennuksen lämmittämiseen kuluva energia on vaikea arvioida etukäteen, koska ulkolämpötiloja ei tiedetä. Mitoitus perustuu tilastoihin, laskelmiin, vertailuihin ja aikaisemmilta työmailta saatuihin kokemuksiin. Tärkeää on, että valittu lämmitysjärjestelmä toimisi äärimmäisissäkin olosuhteissa. (Ratu 07-3032 1996, 1-5.)

Tehokas lämmitys saadaan aikaan, kun tehdään huolelliset ennakkovalmistelut. Ennakkovalmisteluita ovat muun muassa lämmöntarpeen määrittely, käytettävien laitteiden valinta, tarvittavat laskelmat, käyntiaikojen määrittely, rakenteiden huolellinen tiivistäminen ja eristäminen, oikeanlainen kohdistus, sijainti, lämmityslaitteiston säätö ja lämpötilojen mittaus. (Ratu 07-3032 1996, 1-5.)

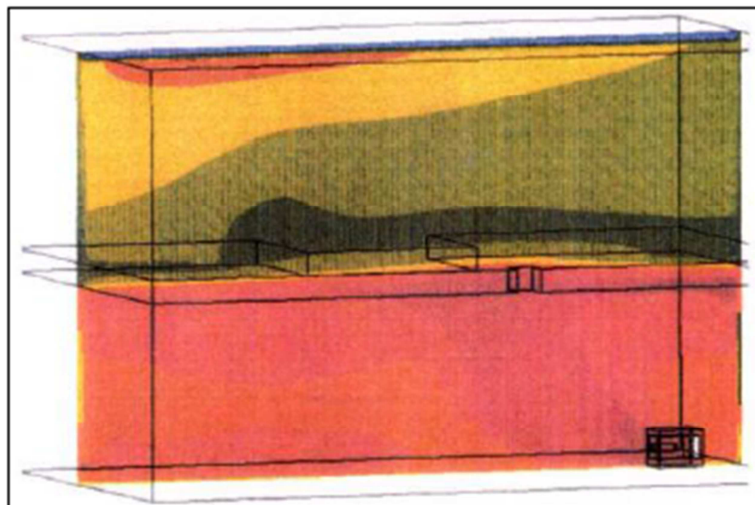
Rakennettavassa kohteessa lämmitystarve on yleensä jatkuva. Lämmittimien suuntauksella ja säädöllä on suuri merkitys rakenteiden kuivumisella ja rakentamisen energiatehokkuudella. (Ratu 07-3032 1996, 1-5.) Vaipassa olevien aukkojen vaikutus lämmitykseen on osoitettu kuvissa 7., 8. ja 9. Kuvissa tilat ovat kahdessa kerroksessa ja välipohjassa on porrasaukko.



Kuva 7. Tilan lämpötilajakauma tilanteesta, jossa tilaan on asennettu 8 kW:n Lämmitin ja vaipan aukot ovat tiivistämättä. (Ratu 07-3032 1996,6)

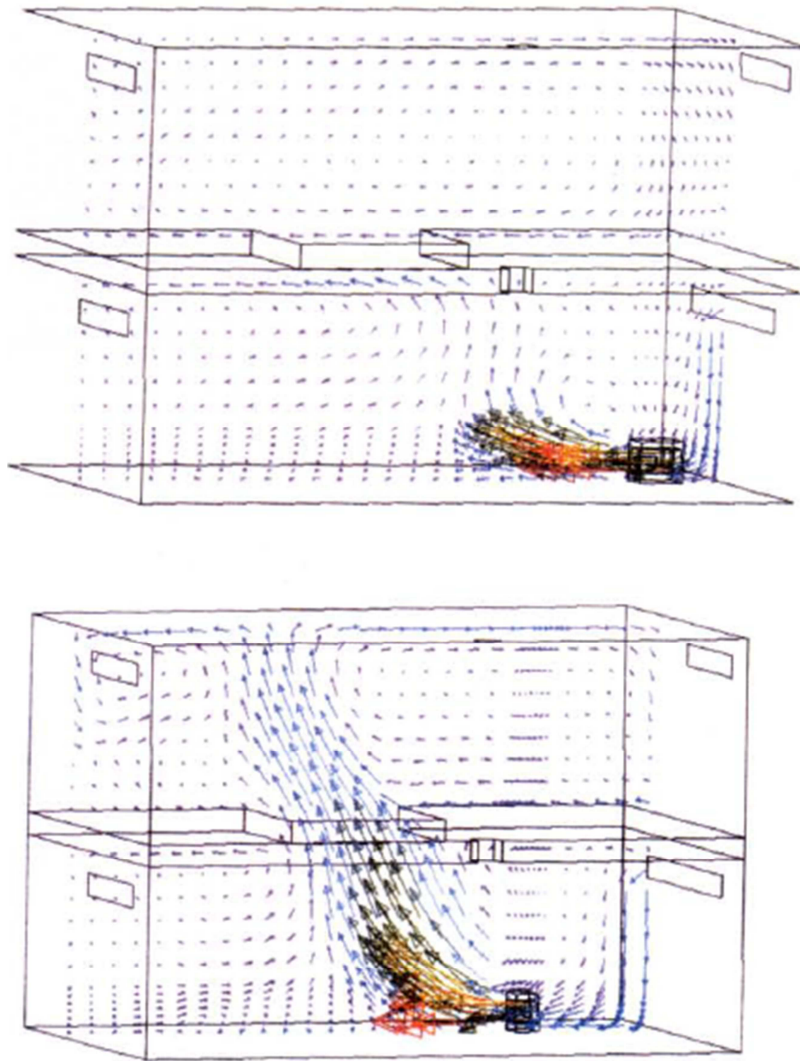


Kuva 8. Tilan lämpötilajakauma tilanteesta, jossa tilaan on asennettu 15 kW:n lämmitin ja vaipan aukot ovat tiivistämättä. (Ratu 07-3032 1996,6)



Kuva 9. Tilan lämpötilajakauma tilanteesta, jossa tilaan on asennettu 8 kW:n Lämmitin ja vaipan aukot ovat tiivistetty. (Ratu 07-3032 1996,6)

Edelliset kuvat osoittivat, kuinka suuri merkitys tiiveydellä on. Kuvista pystyy toteamaan, että pienempikin lämmitin riittää, mikäli vaippa on hyvin suojattu. Tiiveyden lisäksi myös suuntauksella ja sijainnilla on suuri vaikutus tilojen lämmitykseen. Lämmittimien taakse jää aina kylmempi tila ja, jos vaippa ei ole huolella tiivistetty lämmittimien taakse jäävän tilan lämpötila laskee lähelle ulkolämpötilaa. (Koskenvesa 1999, 702-705.) Kuvassa 10. on osoitettu, kuinka suuntaus ja sijainti vaikuttavat kaksikerroksisen tilan lämmitykseen, jos lämmitin sijaitsee alemmassa tilassa.



Kuva 10. Suuntauksen ja sijainnin vaikutus tilojen lämmitykseen. (Ratu 07-3032 1996,8)

Lämmittimien osalta tulee muistaa, että useammalla pienempitehoisella lämmittimellä taataan tasaisempi lämmöntuotto ja parempi hyöty, kuin yhdellä suuritehoisella. Kerrosten välisiä lämpötiloja tasaa se, että lämmittimet sijoitetaan esimerkiksi lähelle porraskäytävää. (Koskenvesa 1999, 704-705.)

Sisälämpötilan tulee olla riittävä, jotta taataan rakenteiden kuivuminen, betonin kovettuminen ja hyvät työskentelyolosuhteet. Hyvät edellytykset kuivumiselle on $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Lämpötilan kohotessa yli $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$:n työskentely alkaa käydä epämiellyttäväksi. Rakennettavan kohteen kerroksissa tulee olla lämpötila- ja kosteusmittareita, joita tulee seurata päivittäin. Mittareita tulisi olla vähintään 2 kappaletta kerrosta

kohti. Pinta-alaltaan suurissa kohteissa tarvitaan useampi mittari. Toinen voidaan asentaa rakennettavaan tilaan ja toinen esimerkiksi porrashuoneeseen. Mittareiden luku voidaan ajoittaa esimerkiksi aamulle, työnjaon yhteyteen. (NCC:n kosteus- ja olosuuhdehallittu rakennustyömaa – opas 2016, 53.)

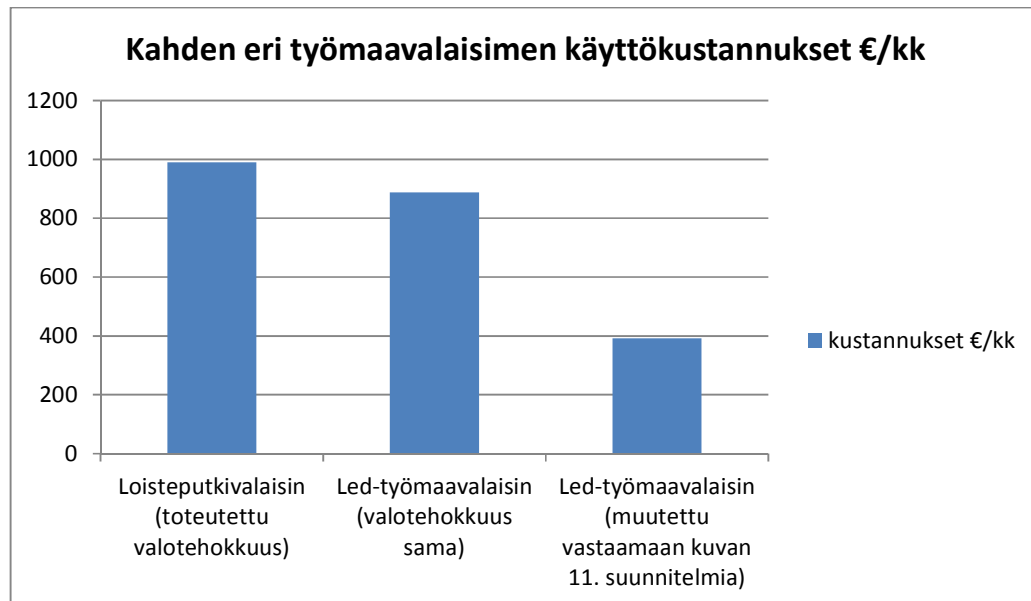
5.2 Rakennettavan kohteen valaistus

Valaistuksen osalta energiansäästö saadaan suunnitteluvaiheen- ja käyttövaiheen aikana tehdyistä järkevistä valinnoista. Suunnittelun osalta valojen oikeanlainen sijoittaminen ja hyötysuhteeltaan hyvien lampputyyppeiden valinta on lähtökohta energiatehokkaalle valaistukselle. Käytön osalta valaistuksen polttoaika ratkaisee, kuinka paljon valaistus kuluttaa energiaa. Työmaan valaistuksesta tulee tehdä aina valaistus-suunnitelma. Valaistussuunnitelmassa selvitetään sekä ulko- että sisävalaistuksen tarve. Erityisesti on suunniteltava kulku- ja kuljetustöiden sekä työalueiden ja -pisteiden yleisvalaistus sekä tarvittava työkohdevalaistus. Suuria ja äkillisiä valaistuseroja sekä häikäisyä on vältettävä. (Lappalainen 2010, 78; NCC Rakennus – Pro3.)

Valaistuksen käytössä tulee huomioida se, että valaistusta käytetään vain, kun sille on tarvetta. Työmaan kaikkia valoja ei tarvitse pitää päällä ympäri vuorokautta, vaan osa tulisi sammuttaa töiden päättyessä ja kytkeä taas uudelleen, kun työt aloitetaan. Päivänvalolla voidaan usein korvata osa keinotekoisesta valaistuksesta. Yleisvalaistus voidaan kytkeä keskukseen, jossa on ajastin ja näin ollen valaistuksen ohjaus tapahtuu automaattisesti. Valaistusta voidaan ohjata kellonajan mukaan, liiketunnistimilla tai päivänvalon mukaan (Lappalainen 2010, 78; RT 75-10569 1995, 7.)

Erään työmaan valaistus oli toteutettu 130 kpl 2x58W loisteputkilla. Tällaisen valaisimen valotehokkuus (Airam T8 58W loisteputki) on 10400 lm. Liitteessä 2 on esitetty laskelma siitä kuinka paljon tulisi rahallista säästöä käyttökustannuksien osalta, jos valaistus toteutettaisiin Led-työmaavalaisimille (MBerg 230V 24W). Laskut osoittivat, että mikäli muutos tehtäisiin, jouduttaisiin lamppujen määrää kasvattamaan 130 valaisimesta 563 valaisimeen, jotta valotehokkuus pysyisi samana. Säästöä kertyisi 1237 €/a sähkön energian hinnassa, kun sähkön hinta on 0,09 €/kWh.

Kaaviossa 5. on esitetty, kuinka valaistuksen suunnittelu vaikuttaa valaistuksen käyttökustannuksiin.

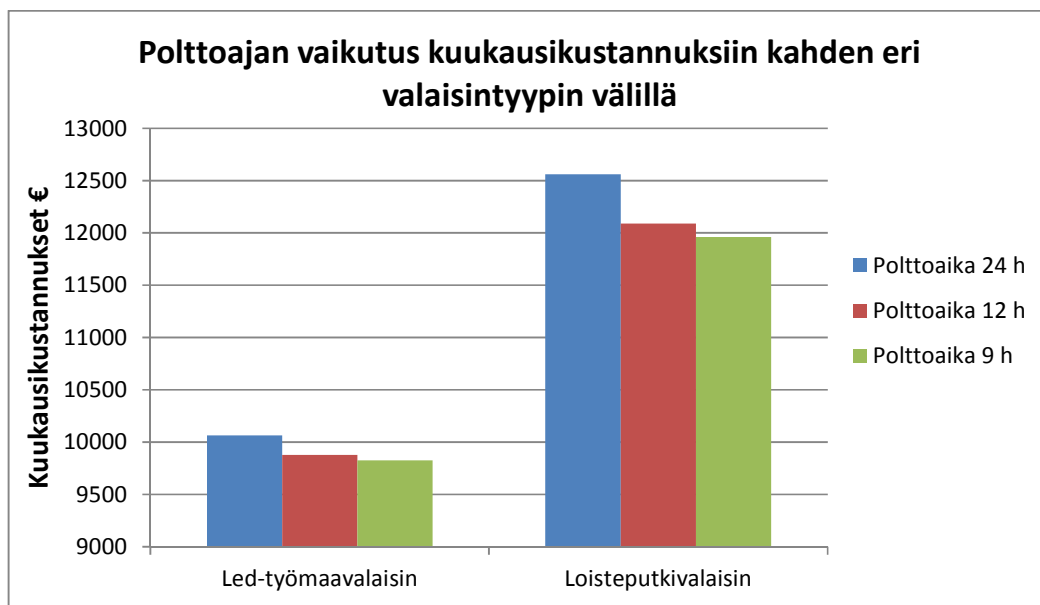


Kaavio 5. Kahden eri työmaavalaisintyyppin käyttökustannukset kuukaudessa eri valotehokkuuksilla polttoajan ollessa 24 tuntia vuorokaudessa

Kaaviosta 5. voidaan nähdä, että tämän hetken kuukausikustannuksen kyseisellä valaistuksella on noin 1000 euroa. Mikäli valaistus toteutetaan led-valaisimilla ja valotehokkuutta ei muute, niin kustannukset putoavat vain 150 euroa kuukautta kohden. Kun valaistus vaihdetaan led-valaisimiin ja tehdään valaistussuunnitelma, niin kuukausikustannukset putoavat 390 euroon.

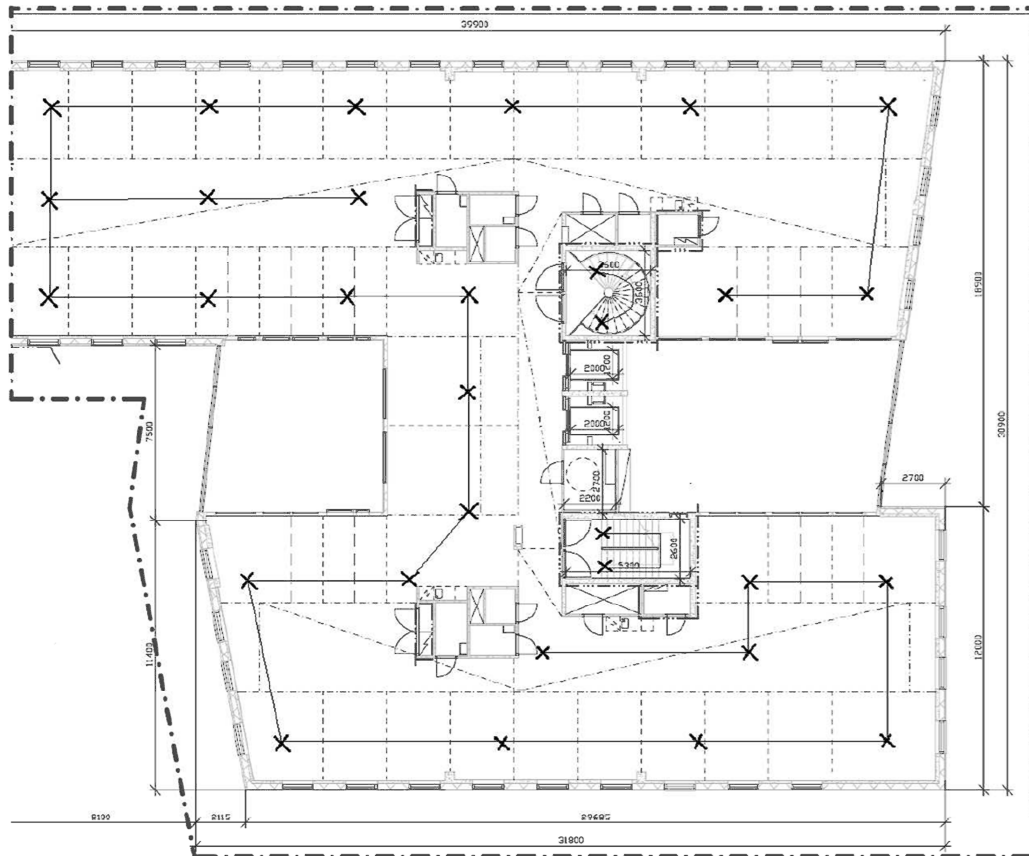
130 kpl työmaavalaisimen, jossa on 2x58W loisteputkea, kuukausikustannukset ovat 990 € energian hinnan osalta, kun ne ovat päällä vuorokauden jokaisena tuntina seitsemänä päivänä viikossa. Työaika on keskimäärin 8 tuntia eli kolmasosa vuorokauden kokonaistuntimäärästä.

Kaaviossa 6. on esitetty polttoajan vaikutus käyttökustannuksiin. Kaavion 6. tuloksiin on lisätty vuokratustannukset. Vuokratustannukset Ramirentin asiakaspalvelun mukaan ovat loisteputkivalaisimille 89 €/kpl/kk, eli yhteensä 11570 €. Led-työmaavalaisimien vuokratustannukset ovat Ramirentin asiakaspalvelun mukaan 39 €/kpl/kk, eli yhteensä 9672 €. (henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2016.)



Kaavio 6. Vuorokauden polttoajan vaikutus valaistuksen käyttökustannuksiin kahden valaisintyyppin välillä, kun 5 % valaistuksesta on yhtäjaksoisesti päällä. Vuokrahinnat on otettu huomioon Ramirentin asiakaspalvelun antamien kuukausivuokrahintojen mukaan (henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2016)

Esimerkkikohteen 8-kerroksisen työmaan pinta-ala oli 5500 m² ja yleisvalaistuksen aikaansaama valovirta yhteensä 135 2000 lm. Kun valovirta jaetaan pinta-alalla, saadaan tulokseksi 248 luksia. Työmaan yleisvalaistuksen tulee olla vähintään 100 luksia. Tämä tarkoittaa sitä, että yleisvalaistus on toteutettu reilusti yli vaaditun 100 luksin valaistusvoimakkuuden. Lisäksi laskennassa ei ole huomioitu päivänvalon lisäämää valaistusta, mikä vähentää yleisvalaistuksen tarvetta. Kyseiseen kohteeseen ei ollut tehty valaistussuunnitelmaa. Kuvassa 11. on esitetty valaistussuunnitelmaehdotus. Kuva 11. on työmaan yhden kerroksen pohjakuva. Kyseinen työmaa koostuu kahdeksasta lähes vastaavanlaisesta kerroksesta. Taulukossa 4. on esitetty kohteen vaatiman valaistuksen tiedot. Taulukosta 4. voidaan todeta, että valaistus on ylimitoitettu kyseiseen kohteeseen.



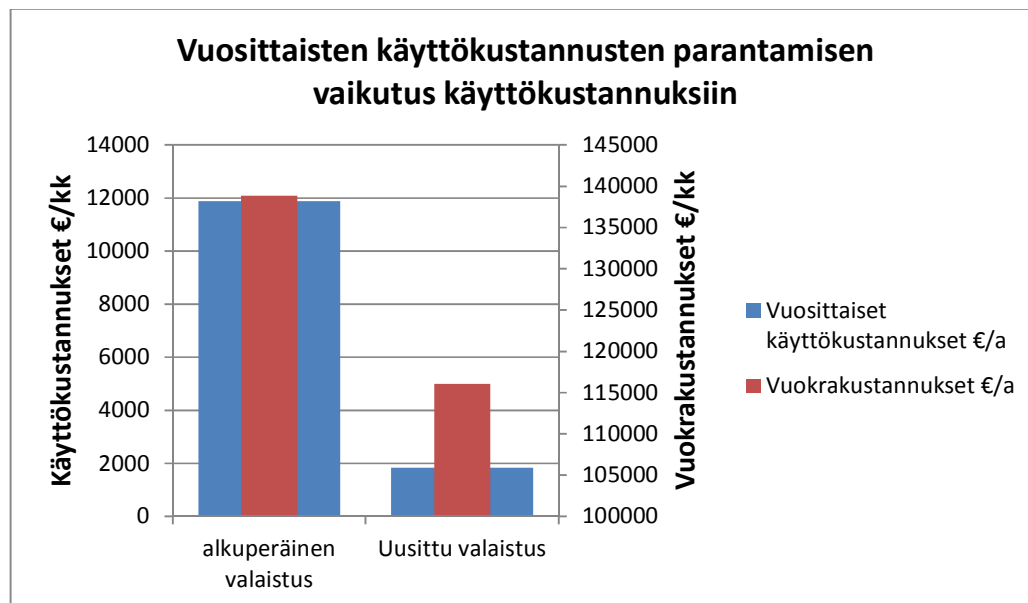
Kuva 11. Kuvassa on esitetty tekemäni valaistussuunnitelmaehdotus esimerkkikohteeseen. Valaistus on toteutettu Mberg-työmaavalaisimilla. Valaisimet on asennettu noin 6 metrin päähän toisistaan, jolloin valmistajan mukaan saadaan tarvittava valaistusvoimakkuus työmaolosuhteisiin (EL & Site Oy:n www-sivut, n.d.)

Kuvan 11. valaistussuunnitelmaehdotukseen on merkattu 31 kappaletta led-työmaavalaisimia kerrosta kohden. Rakennus on 8-kerroksinen, joten työmaan sisävalaistuksen yhteismäärä olisi tällöin 248 kappaletta.

Kohteen tiedot	Nykyvalaistuksen tiedot (loisteputki)	Uuden valaistuksen tiedot (Led-työmaavalaisin)
Ala 5500 m ²	130 kpl	248 kpl
valaistusvoimakkuuden raja-arvo 100 lx	Valaistusvoimakkuus 248 lx	Valaistusvoimakkuus 108 lx
Vaadittu valovirta 550 000 lm	Valovirran yhteismäärä 135 2000 lm	Valovirran yhteismäärä 595 200 lm

Taulukko 4. Kohteen vaatimat raja-arvot ja niiden toteutuksen vertailu käytössä olevan valaistuksen ja suunnitellun valaistuksen osalta

Kaaviossa 7. on esitetty esimerkkityömaan säästömahdollisuudet valaistuksen käytön osalta. Valaistusta on muutettu käyttämällä kohteessa Led-työmaavaloja (248kpl), Valaistuksen polttoaikaa on pienennetty 9 tuntiin vuorokaudessa ja valaistus on toteutettu vastaamaan 100 luksin raja-arvoa.



Kaavio 7. Vuosittaiset käyttökustannukset uudistetulla valaistuksella. Valaistus on vaihdettu Led-työmaavalaisimiksi, Polttoaika on tiputettu 9 tuntiin vuorokautta kohden ja valaistuksen osalta on tehty suunnitelmat vastaamaan 100 luksin vaatimuksia

5.3 Rakennettavan kohteen sääsuojaus

Suomessa sääsuojien käyttö rakennusvaihe aikana saksalaisten telinetoimittajien mukaan on Euroopan yleisintä. Ympäristöministeriö on laatimassa asetusta, jonka myötä sääsuojien käyttö tulisi pakolliseksi osana talonrakennusta. (Mölsä 2014, 8.)

Talven aiheuttamiin kustannuksiin voidaan vaikuttaa hyvin suunnitellulla sääsuojauksella. Sääsuojien valinta riippuu työmaan laajuudesta ja tilanteesta. Suojaus tulee toteuttaa niin, että se on tiivis, mutta tarpeeksi tuulettuva. Sääsuojaus tulee valita niin, että se ei estä materiaaliirtoja. Lisäksi sääsuojien pystytys ja purkaminen tulee olla toteutettavissa kohtuudessa ajassa. (Ratu C8-0377 2010, 11.)

Työmaan suojaustapoja ovat suojapeitteet, julkisivusuojat, sääsuojahallit sekä rakennuksen omat rakenteet. Se millainen suojausmenetelmä valitaan, on riippuvainen muun muassa rakennettavan kohteen ominaisuuksista, rakentamisajankohdasta, rakentamistavasta, rakennusvaiheesta, kustannuksista sekä tilaajan erinäköisistä vaatimuksista. (Ratu S-1232 2013, 15.)

Energiankäytön näkökulmasta suojauksen ensisijainen tarkoitus on estää ylimääräisen veden ja lumen pääsy rakennukseen. Rakenteet kastuttanut vesi ja lumi tulee poistaa rakenteista ja se kuluttaa energiaa. Sääsuoja voi olla koko työmaan kattava tai kattaa sitä eri osilta. Tehokkainta suojauksessa olisi käyttää rakennuksen omia rakenteita. (NCC:n kosteus- ja olosuhdehallittu rakennustyömaa – opas 2016, 23-25.)

Suojapeitteitä käytetään muun muassa holvi- ja laattavalujen lämpösuojauksena, routasuojina sekä täydentävinä suojina. Julkisivusuojia käytetään joko rakennuksen ylimmän tason tai jopa koko rakennuksen rakennusaikaiseen suojaukseen. Sääsuojahalleja käytetään pääosin suurissa saneerauskohteissa. Sääsuojauksen käyttäminen on sekä kustannus-, että laatukysymys. (Ratu S-1232 2013, 6.)

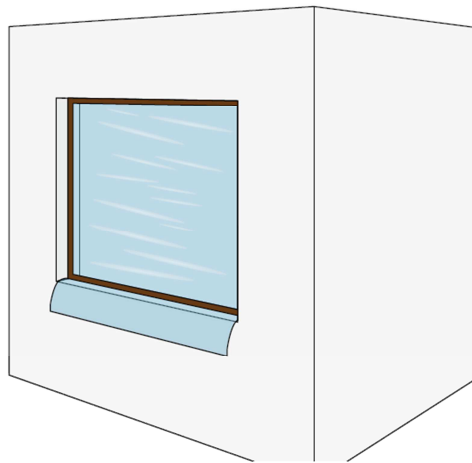
5.3.1 Sääsuojahallin käytöstä muodostuvat kustannussäästöt

Sääsuojahallin käytöstä saadut hyödyt on pystytty osoittamaan teoreettisesti. Sääsuojahallin ansioista moni työvaihe jää tekemättä kuten raudoitteiden puhdistus jäästä ja lumesta sekä lumityöt suojatulta alueelta. paikalla valettavien välipohjien kuivatus säteily- tai ilmalämmittimellä kuluttaa suuren määrän energiaa. Sääsuojahallin käytön tässä tilanteessa arvioidaan vähentävän lämmityskustannuksia puolella verrattuna suojaamattomaan runkorakentamiseen. Suurissa paikallavalu kohteissa sääsuojahallinansioista talvisin ei tarvitse käyttää erikoisbetoneita kuten kuumabetonia, joka on noin 10 % kalliimpaa, kuin tavallinen betoni. (Ratu C8-0377 2010, 13.)

5.3.2 Aukkosuojien vaikutus energiankulutukseen

Elementtiasennuksissa ihanteellisin tilanne energiatehokkuuden kannalta olisi, jos ikkunat olisivat asennettu valmiiksi tehtaalla. Tämä kuitenkin vaatisi sen, että ky-

seessä olisi sandwich-elementti, jolloin kantavan seinän lisäksi julkisivu ja lämmöneriste olisi valmiiksi asennettu. Yleistä kuitenkin on se, että ikkunat asennetaan vasta työmaalla. Energiatohokkuuden kannalta tärkeää on, että ikkunat ovat tilattu työmaalle riittävän ajoissa. Avonaiset ikkuna-aukot tulee aina suojata väliaikaisilla suojilla. Kuvassa 12. on esitetty esimerkkinä miten suojaus voidaan toteuttaa. Kuvan tilanteessa ulkolämpötila on yli 0°C :n lämpimämmällä puolella. Mikäli suojaus tehdään talviaikaan, tulee muovi että rima asentaa kahteen kertaan. Tämä tehdään siitä syystä, että niiden väliin halutaan ilmatila, joka toimii tässä tilanteessa eristeenä. (NCC:n kosteus- ja olosuohdehallittu rakennustyömaa – opas 2016, 22-27; Teriö & Hämäläinen 2015, 11.)

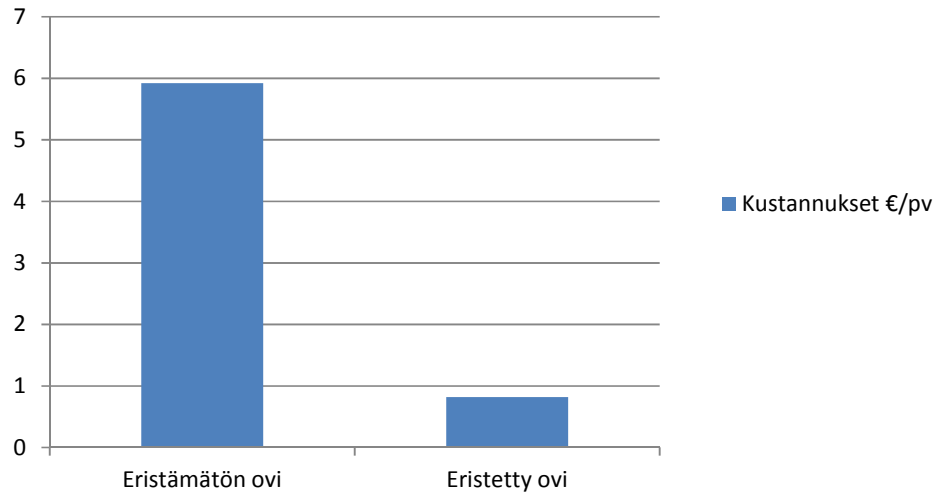


Kuva 12. Ikkuna-aukon väliaikainen suojaus rimaa ja muovia apuna käyttäen (S-1232 2013,8)

Liitteessä 3. esitettyjen laskujen tulokset olivat 9,4 kWh ja 1,3 kWh. Kyseessä oli tilanne, jossa oviaukko toteutettiin kahdella eri tapaa, eristettynä ja ilman eristettä. Tulokseksi saatiin, että pelkällä vanerilevyllä tehdyn oven (3 m^2) läpi johtuu vuorokaudessa 9,4 kWh. Vastaava tulos eristetyllä ovella on 1,3 kWh vuorokaudessa.

Kyseinen kohde on 7 kerroksinen toimistorakennustyömaa. Jokaisessa kerroksessa on vastaavanlainen 3 m^2 kokoinen vanerista tehty ovi. Kaavion 8. on tarkoitus havainnollistaa, kuin moninkertainen säästö tulee, jos vaneriin lisätään eristelevy. Pahimmassa tapauksessa työmaalla on satoja neliömetrejä eristämättömiä väliaikaisia aukkosuojia.

Johtumislämpöhäviöistä aiheutuvat kustannukset €/pv



Kaavio 8. Johtumislämpöhäviöistä aiheutuneet vuorokautiset kustannukset 7 oven osalta 30 °C sisä- ja ulkoilman välisessä lämpötilaerossa

5.4 Jaksottainen lämmitys

Työmaatilojen energiatehokkuutta lämmittämisen osalta voitaisiin parantaa jaksottaisella lämmittämällä. Jaksottaisella lämmittämällä tarkoitetaan epäjatkovaa lämmittämistä, jonka tavoitteena on pienentää energiankulutusta. Jaksottainen lämmitys sopii hyvin työmaatiloihin, koska ne eivät ole jatkuvassa käytössä. Energiansäästö perustuu siihen, että rakennuksen annetaan jäähtyä silloin, kun sitä ei olla käyttämässä. Lämmittämättömän ajanjakson aikana tulee huolehtia siitä, että lämpötila ei laske liian pieneksi, jolloin jäätymisvaurioita pääsisi syntymään. (Seppänen 2001, 417.)

Jaksottaisen lämmityksen toteutus edellyttää lämmitystehon automaattista säätöä. Tämä voidaan toteuttaa aikaohjauksella. jaksottainen lämmitys voidaan toteuttaa useammalla eri tavalla. Käyttöjakson ulkopuolella lämmitystehoa voidaan pudottaa, jolloin puhutaan niin sanotusta yölämpötilan pudotuksesta. Toinen keino on se, että käyttöjakson päättyessä lämmitys katkaistaan ja annetaan sen pudota asetettuun minimilämpötilaan, jolloin yöteho kytkeytyy päälle. Lämmitys kytkeytyy taas päälle asetetun ajan mukaisesti ja saavutettuaan ylärajan se kytkeytyy käyttöaikaiselle teholle. Kolmas periaate on niin sanottu minimi-maksimi-periaate. Minimimaksimi-

periaate toteutetaan samalla tapaa kuin edellinen esimerkki, mutta siinä sisälämpötilan asetusarvon säilyttäminen käyttöjakson ulkopuolella toteutetaan ajoittaisella maksimitehon käytöllä. Työmaatilojen kevytrakenteisuus takaa hyvien lämpöolojen saavuttamisen pelkällä kello-ohjauksella. Säästöjen maksimoinnin edellytyksenä on palautuslämmitysaikojen porrastaminen ulkolämpötilaan nähden. (Seppänen 2001, 417.)

“Laskennallisesti ja kokeellisesti on voitu osoittaa, että jaksottainen lämmitys säästää jopa 30 % jatkuvaan lämmittämiseen verrattuna” (Seppänen 2001, 422).

5.4.1 Ilmalämpöpumppu

Ilmalämpöpumpun toiminta perustuu kylmäaineen höyrystymiseen ilmasta saadun lämmön avulla. Kun kiertävä kylmäaine muuttuu höyryksi, niin siihen sitoutuu energiaa. Tämän jälkeen kompressori imee höyrystyneen kylmäaineen ja alkaa puristaa sitä pienempään tilaan. Kylmäaineen paineen kasvaessa sen lämpötila rupeaa kasvamaan, minkä jälkeen se johdetaan lauhduttimeen. Kylmäainehöyryä viileämpi huoneilma rupeaa jäädyttämään sitä, jolloin se muuttuu takaisin nestemäiseksi. Tämän tapahtuman yhteydessä syntyy lämpöä. Nestemäinen kylmäaine palaa takaisin höyrystimeen. (Lämpöä ilmassa – ilmalämpöpumput 2012, 4.)

Ilmalämpöpumpun tehokkuutta kuvataan COP-arvolla. Kyseinen arvo on pumpun lämmöntuotantokerroin ulkolämpötilan ollessa +7 celsiusastetta. Esimerkiksi COP-arvon ollessa 3, yhden kW:n sähkön kulutuksella tuotetaan 3 kW lämpöä. Mitä pienempi lämpötilaero ulko- ja sisälämpötilojen välillä on, sitä paremman hyödyn pumppu tuottaa. Yli -20 °C:n pakkaselle ilmalämpöpumppu ei säästä energiaa. Näin kylmillä ulkolämpötiloilla pumppua ei kannata pitää päällä. (Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö 2012, 2.)

Ilmalämpöpumppuja käytetään lämmitykseen ja jäädytykseen. Lämmityskäytössä lämpöpumppujen käyttö on tukilämmitysmuoto varsinaiselle lämmitysjärjestelmälle, työmaatilojen osalta sähköpattereille. Tehokkaimmillaan lämmitysjärjestelmä toimii, kun pumppu asetetaan haluttuun lämpötilaan ja sähköpatterit 2-4 °C lämpöpumpun oletusarvoa matalammaksi. Esimerkiksi lämpöpumppu asetetaan 21 celsiusasteeseen

ja sähköpatterit 17- 19 °C:n. Maksimaalinen lämmitysteho kylmillä ilmoilla saadaan niin, että puhallinnopeus pidetään niin korkealla kuin mahdollista ilman, että oleskeluviihtyvyyttä ei kärsi. (Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö 2012, 4.)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Energiansäästöavoitteet ja niissä onnistuminen lähtee meistä itsestämme. Tärkeätä on ymmärtää, että suuria säästöjä ei saavuteta yhdellä suuremmalla uudistuksella, vaan ne kertyvät useammasta pienemmästä palasesta muodostaen suuremman kokonaisuuden. Uudistuksia ohjaa niin raha, kuin ympäristötietoisuus. Säästöt muodostuvat huolellisesta suunnittelusta, käytettävän kaluston valinnasta ja oikeanlaisesta toteutuksesta sekä käytöstä.

Suunnittelun osalta keskeistä on oikeanlaisen lämmitysjärjestelmän ja valaistuksen toteutus. Lämmityksen lähtökohtana on, että kohteeseen saataisiin mahdollisimman nopeasti lopullinen lämmitysjärjestelmä käyttöön, koska näin taataan mahdollisimman tasainen lämmitys. Väli aikaista lämmitystä ei tule koskaan aloittaa, ennen kuin rakennettavan kohteen aukot ovat suojattu ja varmistettu, että vaippa on riittävän tiivis. Lämmittämisen osalta useammalla pienempitehoisella lämmittimellä saadaan parempi tulos kuin yhdellä suuritehoisella. Lämpötiloja tulee lisäksi seurata säännöllisesti ja puuttua havaittuihin epäkohtiin.

Huolellinen suunnittelu on myös lähtökohta työmaan yleisvalaistusta ajatellen. Yleisvalaistuksesta tulee tehdä aina valaistussuunnitelma. Tehokkaasti suunniteltu valaistus tulee maksamaan suunnitteluun kuluneen ajan moninkertaisesti takaisin. Hyvin suunniteltua valaistusta tulee käyttää oikein. Työmaan sähköistyssuunnitelmassa tulee huomioida valojen käyttö. Valaistus tulee toteuttaa niin, että se on helppo kytkeä päälle ja pois. Näin ollen työmaan yleisvalaistus voidaan helposti kytkeä pois päivän päättyessä ja kytkeä päälle työpäivän alkaessa. Säästöt ovat moninkertaiset jatkuvaan valaistukseen verrattuna. Lisäksi lamppujen käyttöikä pitenee ja siltäkin osin saadaan säästöjä.

Loisteputkivalaisimien vaihto led-työmaavaloihin niin, että sama valotehokkuus säästyy alentaa valaistukseen liittyviä kustannuksia laskelman mukaan 10 %. Se ei tunnu suurelta, ja pelkällä valaistustyypin vaihdolla ei todennäköisesti tulla kuittamaan hankintakustannuksia. Suuremman säästön saa, kun valaistuksen suunnittelee huolella. Loisteputkivalaisimien vaihto led-työmaavalaisimiin ja suunnittelemalla

valaistuksen kuhunkin kohteeseen sopivaksi osoittautui työssäni erittäin merkittäväksi säästökohteeksi. Pelkällä valotehokkuuden oikealla mitoituksella valaistuksen käyttökustannukset putosivat 56 %. Tämä tarkoittaa 7200 euron säästöjä vuosisatasolla. Mikäli määräysten mukaisen valotehokkuuden lisäksi polttoaikaa lyhennettäisiin yhdeksään tuntiin, niin kustannukset putoaisivat 10 000 euroa vuodessa kyseisessä kohteessa.

Sääsuojahalleja käytettäessä, ne tulee suunnitella niin, että ne eivät haittaa itse rakentamista. Sääsuojien käytöllä on osoitettu säästettävän rahaa, kun talvirakentamiseen liittyvät ylimääräiset työt jäävät pois. Julkisivun aukot tulee eristää aina talviaikaan rakennettaessa. Aukot tulisi aina lämpöeristää käytettävissä olevilla tarvikkeilla. Pelkän vanerilla toteutetun aukkosuojan ja vanerilla sekä eristelevyillä toteutetun aukkosuojan ero johtumislämpöhäviöstä aiheutuvaan energiankulutukseen on seitsenkertainen.

Käytettävän kaluston valinnalla voidaan myös vaikuttaa energiankulutukseen. Mittausraporteissa kävi ilmi, että eri työmaatilojen vuotoilmamäärät vaihtelivat suuresti. Vuotoilmaltaan huonoin työmaatilatyyppejä oli kymmenen kertaa huonompi, kuin mitä mittaustuloksiltaan paras työmaatilatyyppejä. Säästöt eivät näy selkeästi yksittäisen työmaiden osalta, mutta koko konsernin osalta kyse on useasta kymmenestä tuhannesta eurosta vuosisatasolla. Enemmänkin kyse on työviihtyvyyden lisäämisestä. Tulokset tullaan viemään hankkijoiden tietoon, jotka tekevät päätöksiä työmaatilojen osalta.

Työmaatiloja tulisi lämmittää jaksottaisella lämmityksellä sekä työmaatiloihin tulisi asentaa ilmalämpöpumput. Niiden käyttöä tulisi opastaa työmaalla ja määrätä yksi vastuuhenkilö seuraamaan, että niitä käytetään oikein.

Säästöt syntyvät pienistä puroista ja toivon, että tämän opinnäytetyöpohjalta potentiaali myös pystytään tunnistamaan ja näkemään. Energiankulutukseen on helppo vaikuttaa pienillä muutoksilla ja niihin kannattaakin vaikuttaa. Tämä lisää yrityksen toiminnan kannattavuutta ja vähentää ympäristöön kohdistuvaa rasitusta.

LÄHTEET

Climate change. 2008. Denmark: European Environment Agency. Viitattu 18.2.2016. <http://www.eea.europa.eu/downloads/1d3d1a1cfde1eee6545952a0575eb4bf/1396343846/intro.pdf>

EL & Site Oy:n www-sivut. Viitattu 22.2.2016. <http://www.elsite.fi/>

Energiateollisuuden www-sivut. Viitattu 25.2.2016. <http://energia.fi/>

Ilmalämpöpumpun energiataloudellinen käyttö. 2012. Motiva. Viitattu 9.2.2016. http://www.motiva.fi/files/6794/Ilmalampopumpun_energiataloudellinen_kaytto.pdf

Kiurula, M. Päivärinta, K. & Rasa, P. 2010. TR-mittari 2010 - Rakennustyömaan turvallisuusseuranta. Helsinki: Työterveyslaitos

Koskenvesa, A. 1999. Rakentajain kalenteri 1999 83. vuosikerta. Helsinki: Rakennustieto Oy

Lampputiedon www-sivut. Viitattu 1.2.2016. <http://www.lampputieto.fi/>

Lappalainen, M. 2010. Energia- ja ekologiakäsikirja. Helsinki: Rakennustieto Oy

Lämpöä ilmassa – ilmalämpöpumput. 2012. Motiva. Viitattu 9.2.2016. http://www.motiva.fi/files/7964/Lampoa_ilmassa_Ilmalampopumput.pdf

Maankäyttö- ja rakennuslaki. 1999. L 5.2.1999/132

Motivan www-sivut. BUILD UP Skills Finland -hanke ja Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 12.1.2016. http://www.motiva.fi/files/10158/Rakentamisen_energiatehokkuus_ja_olosuhdehallinta_-_rakennusfysiikkaa_rakennustyomaille.pdf

Motivan www-sivut. BUILD UP Skills Finland -hanke ja Tampereen teknillinen yliopisto. Viitattu 15.1.2016. Energiatehokkaan rakentamisen parhaat käytännöt: Perusteet PowerPoint esitys.

Mölsä, S. 2014. Rakennuslehti 38/2014, 8.

NCC Rakennus Oy:n www-sivut. Viitattu 13.1.2016. <http://www.ncc.fi/>

Paloniitty, S. 2012. Rakennusten tiiviysmittaus. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy

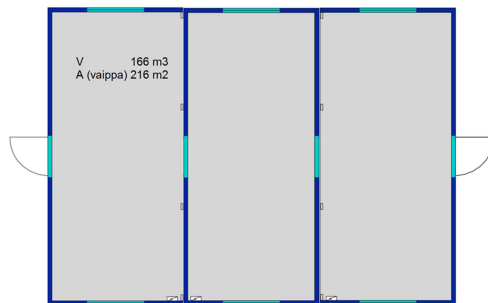
Paloniitty, S. 2013. Rakentajain kalenteri 2013 97. vuosikerta. Helsinki: Rakennustieto Oy

- Paukku, S. 2015. NCC:n kosteus- ja olosuhdehallittu rakennustyömaa – opas 2016
- Pullola, J. 2000. Rakentajain kalenteri 2000 84. vuosikerta. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Rakennusteollisuuden www-sivut. Viitattu 15.2.2016.
<https://www.rakennusteollisuus.fi/>
- Ramirentin asiakaspalvelu. 2016. Helsinki. Henkilökohtainen tiedonanto 25.2.2016.
- Ratu 07-3032. Rakenteiden lämmitys ja kuivatus. 1996. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 18.1.2016. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>
- Ratu C8-0377. Talvityöt ja –kustannukset 2013. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 8.2.2016. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>
- Ratu S-1232. Rakennustyömaan sääsuojaus 2013. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 3.2.2016. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>
- RT 75-10569 1995. Sisätilojen sähkövalaistus. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 4.2.2016. <https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>
- RT 75-11118 2013. Lamput. Helsinki: Rakennustieto. Viitattu 3.2.2016.
<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/>
- Seppänen, O. 2001. Rakennusten lämmitys. 2. päivitetty painos. Helsinki: Suomen LVI-liitto ry.
- Siikanen, U. 2001. Rakennusaineoppi. 6. Painos. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Siikanen, U. 2012. Rakentajain kalenteri 2012 96. vuosikerta. Helsinki: Rakennustieto Oy
- Suomen RakMK D3. 2012. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2012. Helsinki: Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- Suomen RakMK D5. 2012 Rakennusten energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Helsinki. Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto.
- Tilastokeskuksen www-sivut. Viitattu 28.1.2016. <http://www.stat.fi/index.html>
- Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. 2009. A 205/2009.

TIIVIYSMITTAUSRAPORTTI

1 KOHDE 1

Työmaatilaryhmä 1 muodostuu kolmesta 3,3 x 7,2 m työmaatilaelementistä. Työmaatilaelementit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Pohjapiirros työmaatilaryhmästä 1

Taulukko 1. Rakenneosat työmaatilaryhmästä 1

Alusta	Lattiaelementti	Ulkoseinä	Väliseinä	Katto	Ikkunat	Ulko-ovet
Teräskehäalusta U-160	Muovimatto (100 mm nosto)	Lakkavaneri 6,5 mm	Lakkavaneri 6,5 mm	MDF- levy 6 mm	PVC- ikkuna 2-k	Teräsrakenteinen
	Havuvaneri 12 mm	Polyuretaani 95 mm	Mineraalivilla 50 mm	Polyuretaani 123 mm		
	Puurunko 42*123 T24 k600	Puurunko 45*95 T24 k1200	Puurunko 48*55 k600	Puurunko 42*123 T24 k600		
	Polyuretaani 123 mm	Pelti	Lakkavaneri 6,5 mm	Kovalevy 3,2 mm		
	Pelti 3/0,5			Profiilipelti		
U-arvo (W/m ² K)	0,27	0,315		0,275		

Talotekniikka

Kyseisessä ryhmässä ilmanvaihto toteutettiin painovoimaisena ilmanvaihtona. Valaistus kytkeytyy manuaalisesti.

Mittauksen ajankohta

Mittaus suoritettiin Tiistaina 19.1.2016 kello 15:30- 17:00 välisenä aikana.

Mittauksessa käytetty laitteisto

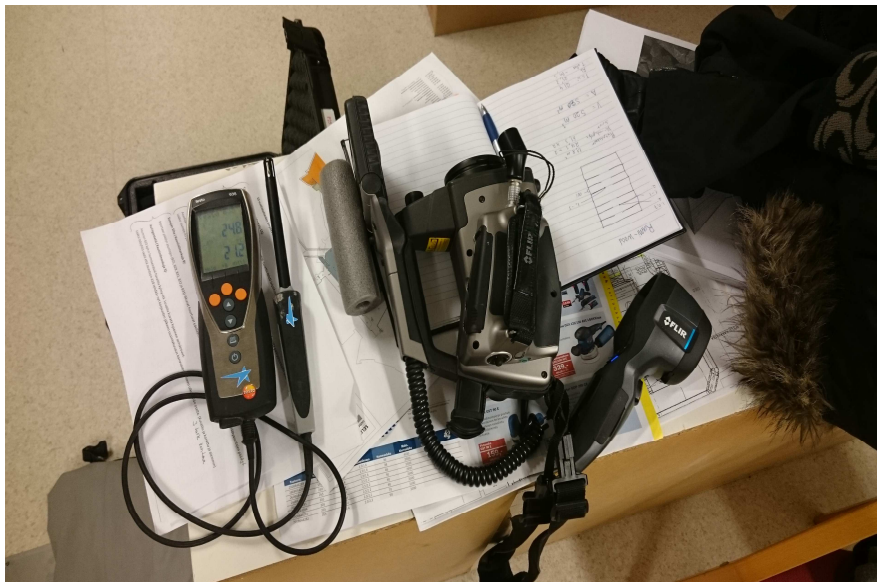
- Oviaukkoon asennettava puhallin ja painekoelaitteisto Minneapolis Blower Door DG700 (sn. 62686-107) cal. 5.2.2014
- Kannettava tietokone, HP Elitebook
- Thermoanemometri Airflow TA7
- SwemaMan 60, erillinen paine-eromittari, sn 672229, kalibroitu 10/2014
- Vaisala HM45, (sn L1150238) cal. 3/2015
- TSI VelociCalc Plus 9555-P (sn 9555P1111017) cal. 11/2014 + TSI 964 kuumalanka-anturi
- Flir i7

Valmistelevat työt

- Tiedottaminen alkavasta työstä.
- Ikkunoiden ja ovien sulkeminen.
- Tulo- ja poistoilmakanavien ruuvaaminen kiinni.
- Mittauslaitteisto otettiin esille ja puhaltimen asettaminen ulko-oviaukkoon muunneltavan ovikehyksen avulla.
- Sääolosuhteiden selvittäminen.



Kuva 2. Ovipuhallin on asennettuna ja korvausilmaventtiili suljettuna

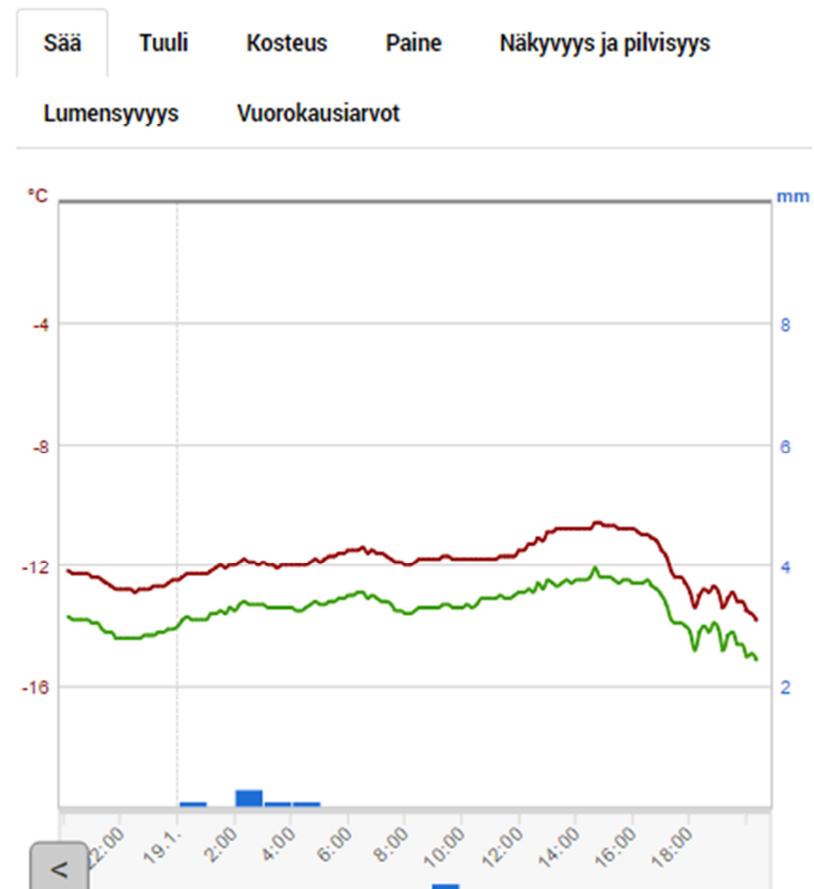


Kuva 3. Mittauskalustoa

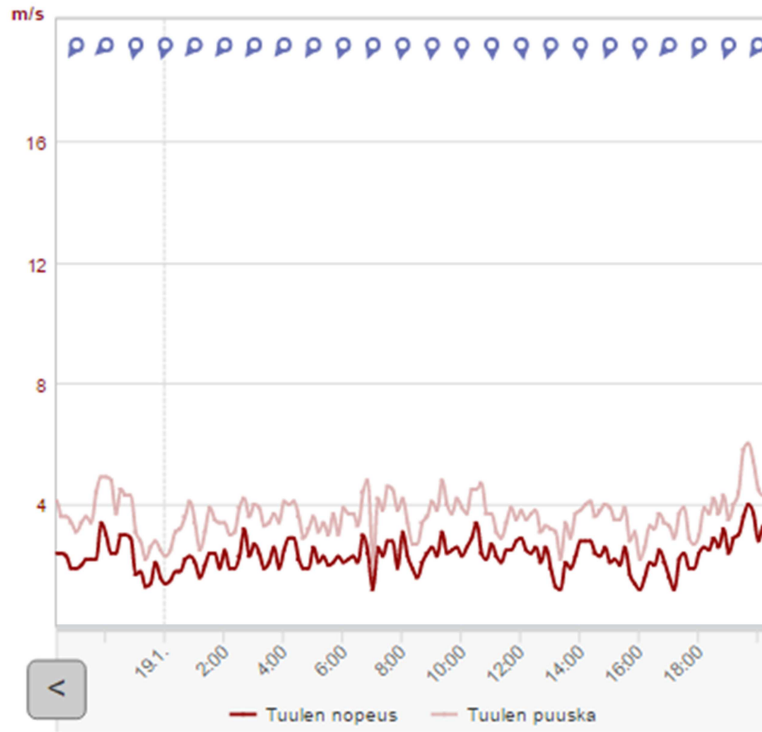
Säätiidot 19.1.2015

Säätiidot ovat otettu Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. Kohteessa tehtiin kohdekohtainen mittaus sisä- ja ulkolämpötilojen osalta.

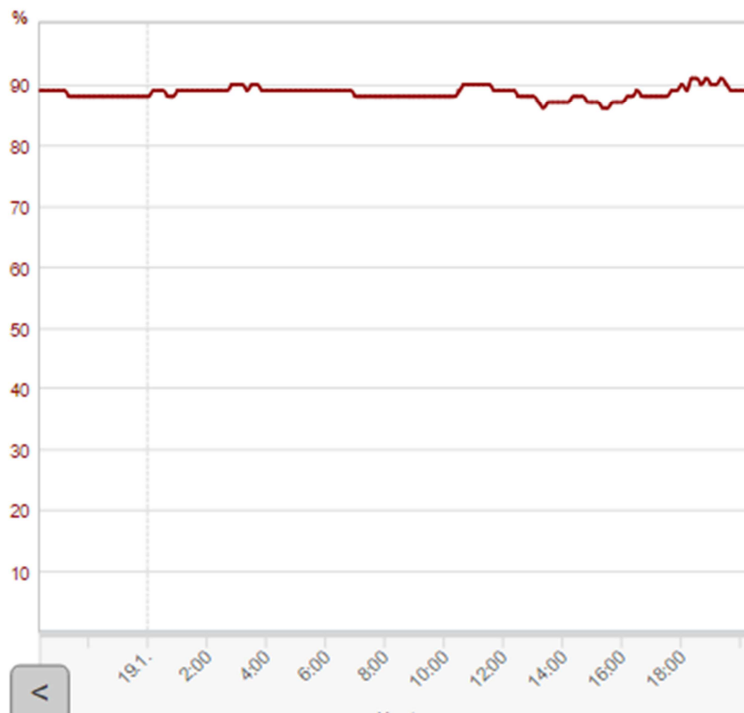
Lämpötila	-13,8 °C	Kosteus	90 %
Kastepiste	-15,1 °C	Edeltävän tunnin sademäärä	0,0 mm (20:00)
Tuulen nopeus	3,0 m/s	Tuulen suunta	koillistuulta (39°)
Tuulen puuska	4,4 m/s	Paine	1009,8 hPa
Näkyvyys	18 km	Pilvisyys	selkeää (0/8)
Lumensyvyys	20 cm		



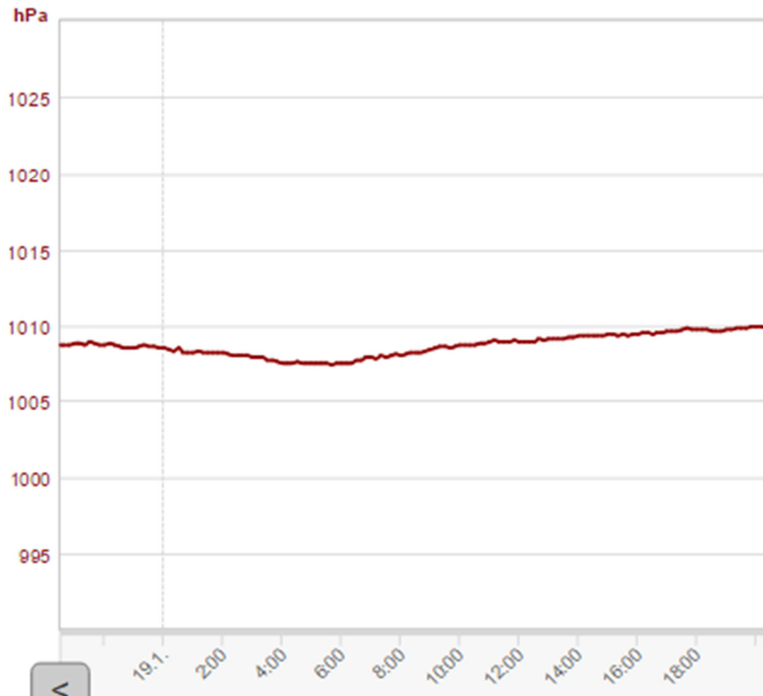
Kuva 4. Lämpötila



Kuva 5. Tuulen nopeus



Kuva 6. Kosteus



Kuva 7. Paine

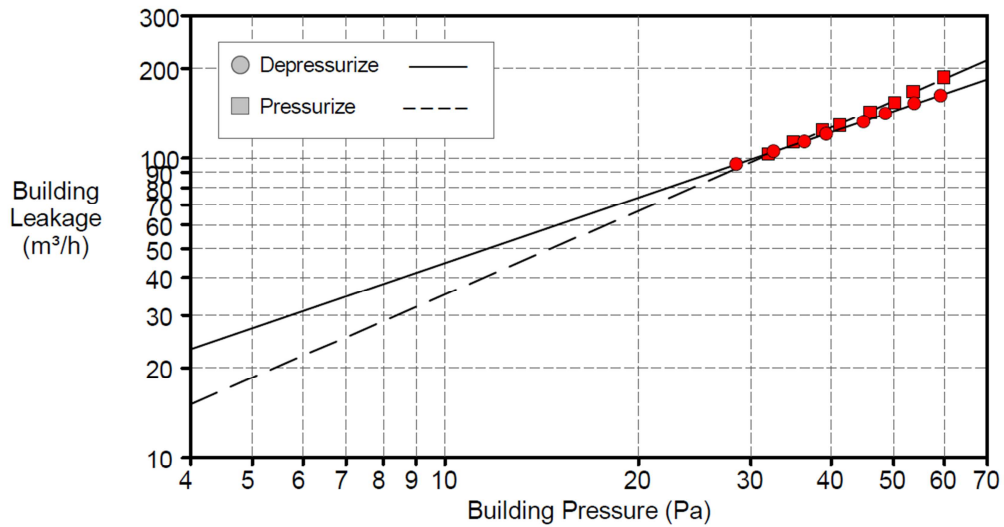
1.1 Tulokset

Ilmatilavuus 166 m³

Vaipan ala A_E 216 m²

Taulukko 2. Mittauksien tulokset

	Alipainemittaus	Ylipainemittaus	Ilmanvuotoluku Ka
Sisäilma lämpötila °C	19	19	19
Sisäilma RH %	21	21	21
Ulkoilma lämpötila °C	-10	-10	-10
V50 m ³ /h vuotoilmamäärä	141	156	148
n50 1/h ilmanvuotoluku	0,85	0,95	0,89
q50 [m ³ /(h m ²)] ilmanvuotoluku	0,65	0,72	0,69



Kuva 8. Mittauksista saatu ilmanvuotokäyrä

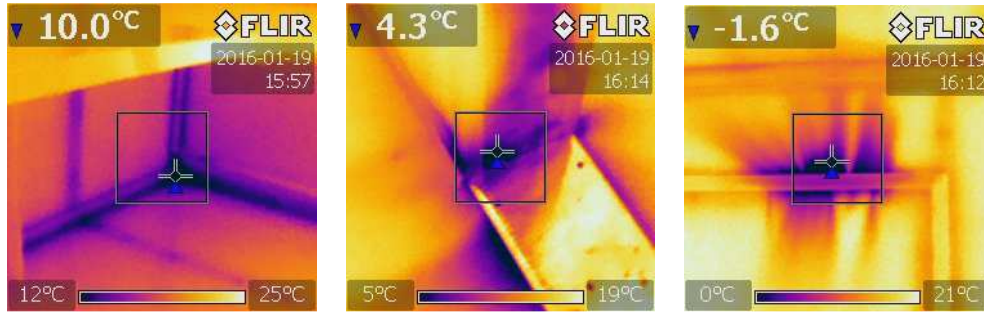
Rakennuksen n50 1/h ilmanvuotoluvuksi mitattiin 0,89 1/h

Rakennuksen q50 ilmanvuotoluvuksi mitattiin 0,69 m³/(h m²)

1.2 Johtopäätökset

Ryhmän 1 ilmantiiveys oli siihen nähden, että työmaatiloille ei ole asetettu erillisiä vaatimuksia erittäin hyvä. Mittauksien aikana kohteessa ei havaittu suurempia vuotokohtia eikä eristepuutteita. Joitakin pistemäisiä vuotokohtia löytyi, mutta tulokset yllättivät meidät positiivisesti. Ryhmässä 1 voitiin havaita, että asennuksen merkityksellä on suuri merkitys energiantehokkuuden kannalta. Polyuretaani eristys osoittautui hyväksi vaihtoehdoksi ilmanpitävyyden kannalta. Ryhmän 1 suurimmat ongelmat olivat nurkkien liitokset, ovien kynnykset ja oven karmien liitokset. Ongelmakohtat esitetään kuvissa 9.

1.2.1 Lämpökameralla havaittuja pistemäisiä vuotokohtia.



Kuvat 9. lattianurkka, lattiakynnys, ovikarmi

1.3 Tiiviiden vaikutus energiankulutukseen

Kaava 3

$$q_{v,vuotoilma} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \left(\frac{0,69}{3600 \times 35} \right) \times 216 = 0,0012 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaava 2

$$H_{vuotoilma} = 1,2 \times 1000 \times 0,0012 = 1,42 \text{ W/C}$$

Kaava 1

$$Q_{vuotoilma} = 1,42 \frac{3118 \times 24}{1000} = 106,3 \text{ kWh/v}$$

$$\text{Kulutus: } 106,3 \text{ kWh/v} \times 0,09 \text{ euroa/kWh} = 9,6 \text{ euroa/v}$$

tilaryhmä 1, jonka ilmatilavuus on 166 m³, vaipan ala on 216 m² ja ilmanvuotoluku q₅₀ on 0,69 kuluttaa vuodessa 106.3 kWh energiaa vuotoilman takia. Tämä tarkoittaa rahallisesti 9,6 euroa. Vertailuna voidaan todeta, että 1 ryhmän 1 työmaatilaelementti kuluttaa vuotoilman takia 3,2 euroa/a.

Sähkön hintana on käytetty opinnäytetyön kohta 3.3.2 kuvan 2. yritys- ja yhteisasiakkaiden vuoden 2015 sähkön hintaa.

2 KOHDE 2

Työmaatilaryhmä 2 muodostuu seitsemästä 2,9 x 8,4 m työmaatilaelementistä. Työmaatilaelementit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Pohjapiirros työmaatilaryhmästä 2

Taulukko 1. Rakenneosat työmaatilaryhmästä 2

Alusta	Lattiaelementti	Ulkoseinä	Väliseinä	Katto	Ikkunat	Ulko-ovet
Teräskehäalusta U-160	Muovimatto (100 mm nosto)	Lakkavaneri 6,5 mm	Lakkavaneri 6,5 mm	MDF- levy 6 mm	PVC-ikkuna 2-k	Teräsrakenteinen
	Havuvaneri 12 mm	Polyuretaani 95 mm	Mineraalivilla 50 mm	Polyuretaani 123 mm		
	Puurunko 48*148 T24 k600	Puurunko 45*95 k1220	Puurunko 45*60 k407	Puurunko 40*123 k600		
	Polyuretaani 148 mm	Pelti	Lakkavaneri 6,5 mm	Kovalevy 3,2 mm		
	Pelti 3/0,5			Profiilipelti		
U-arvo (W/m ² K)	0,23	0,32		0,28	1,4	

Talotekniikka

Kyseisessä ryhmässä ilmanvaihto toteutettiin painovoimaisena ilmanvaihtona. Valaistus kytketty manuaalisesti.

Mittauksen ajankohta

Mittaus suoritettiin Tiistaina 19.1.2016 kello 17:30- 19:00 välisenä aikana.

Mittauksessa käytetty laitteisto

- Oviaukkoon asennettava puhallin ja painekoelaitteisto Minneapolis Blower Door DG700 (sn. 62686-107) cal. 5.2.2014
- Kannettava tietokone, HP Elitebook
- Thermoanemometri Airflow TA7
- SwemaMan 60, erillinen paine-eromittari, sn 672229, kalibroitu 10/2014
- Vaisala HM45, (sn L1150238) cal. 3/2015
- TSI VelociCalc Plus 9555-P (sn 9555P1111017) cal. 11/2014 + TSI 964 kuumalanka-anturi
- Flir i7

Valmistelevat työt

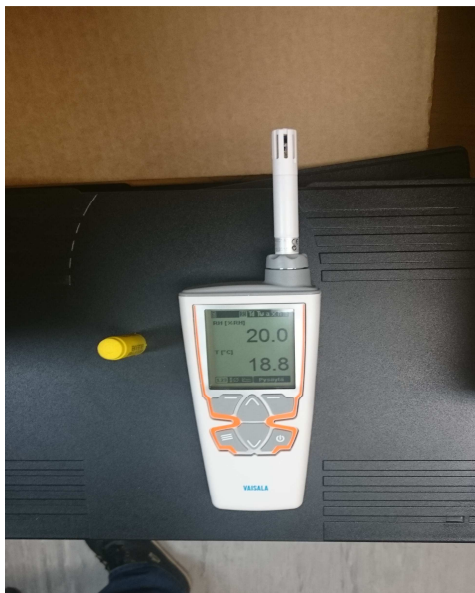
- Tiedottaminen alkavasta työstä.
- Ikkunoiden ja ovien sulkeminen.
- Tulo- ja poistoilmakanavien ruuvaaminen kiinni.
- Mittauslaitteisto otettiin esille ja puhaltimen asettaminen ulko-oviaukkoon muunneltavan ovikehyksen avulla.
- Sääolosuhteiden selvittäminen.



Kuva 2. Ovipuhallin on asennettuna



Kuva 3. Ilmanvuotokohtien paikannus

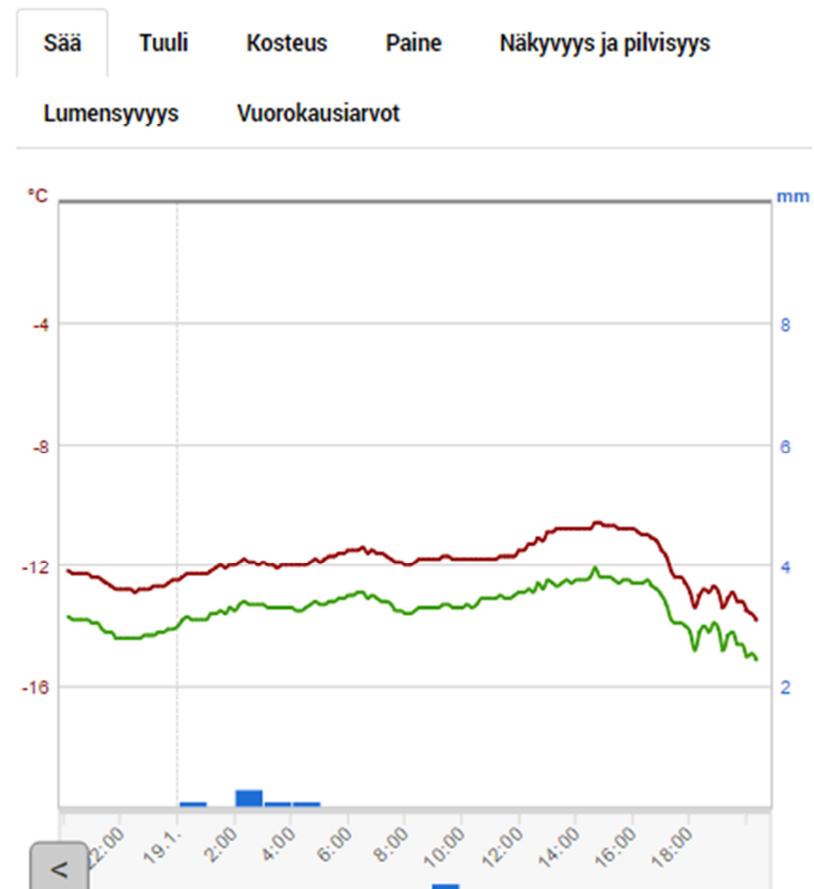


Kuva 4. Mittauskalusto, lämpötila/RH % -mittari

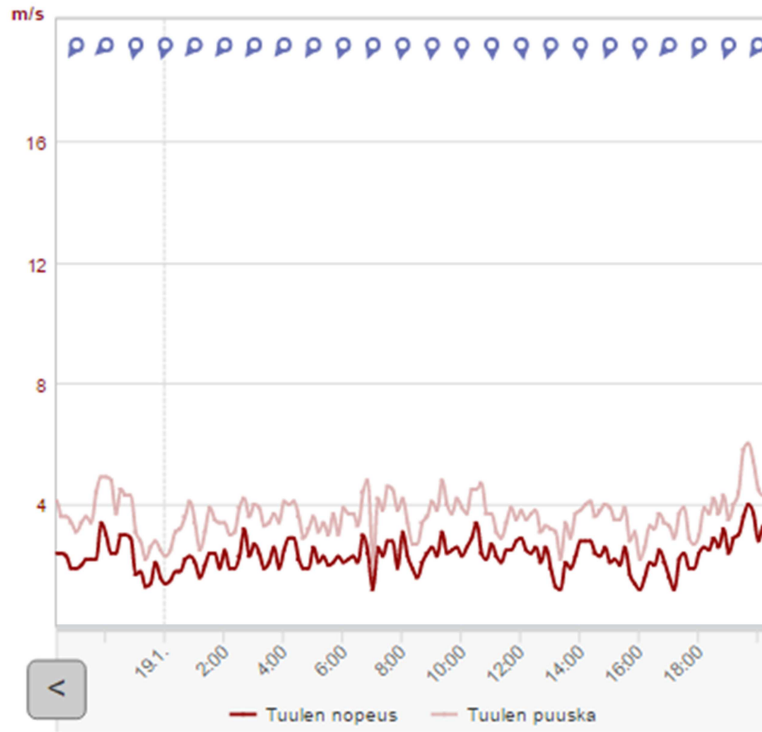
Säätiidot 19.1.2015

Säätiidot ovat otettu Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. Kohteessa tehtiin kohdekohtainen mittaus sisä- ja ulkolämpötilojen osalta.

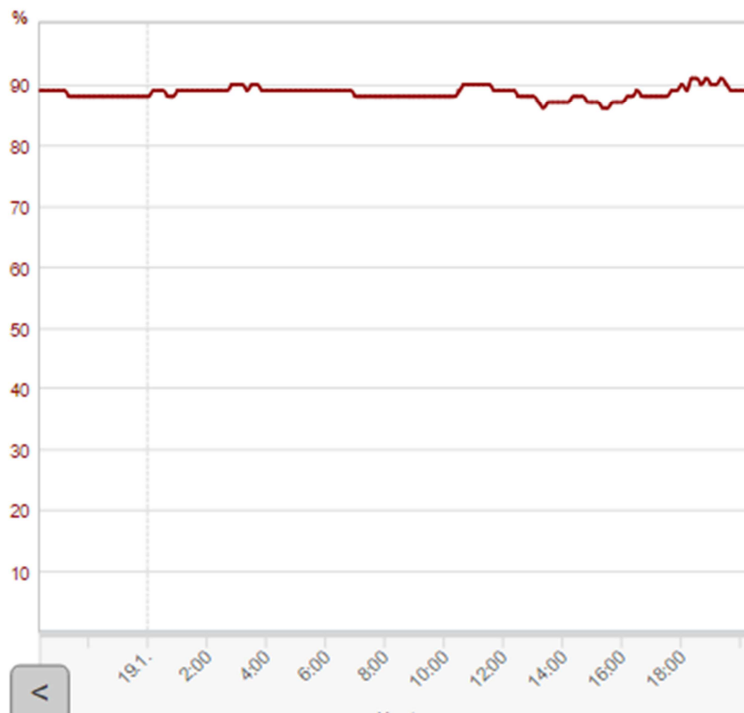
Lämpötila	-13,8 °C	Kosteus	90 %
Kastepiste	-15,1 °C	Edeltävän tunnin sademäärä	0,0 mm (20:00)
Tuulen nopeus	3,0 m/s	Tuulen suunta	koillistuulta (39°)
Tuulen puuska	4,4 m/s	Paine	1009,8 hPa
Näkyvyys	18 km	Pilvisyys	selkeää (0/8)
Lumensyvyys	20 cm		



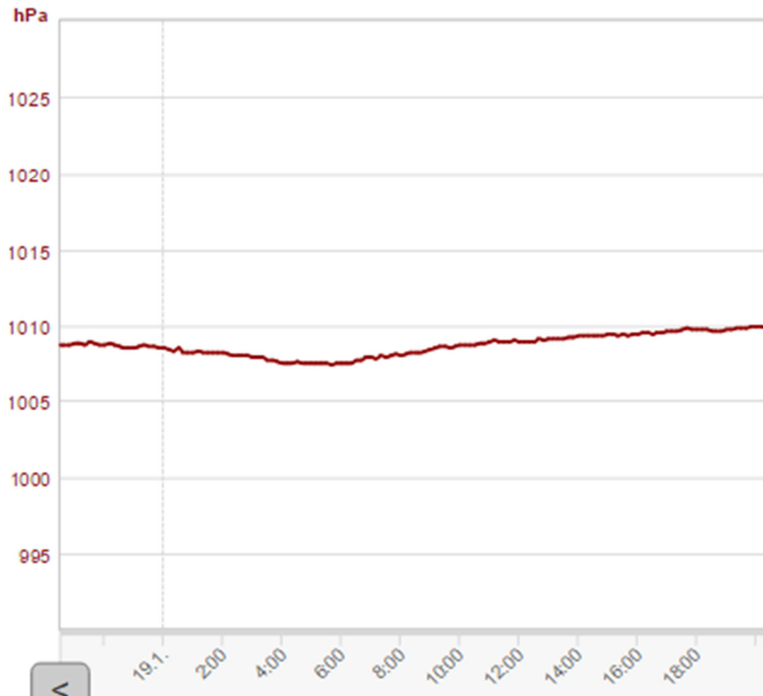
Kuva 5. Lämpötila



Kuva 6. Tuulen nopeus



Kuva 7. Kosteus



Kuva 8. Paine

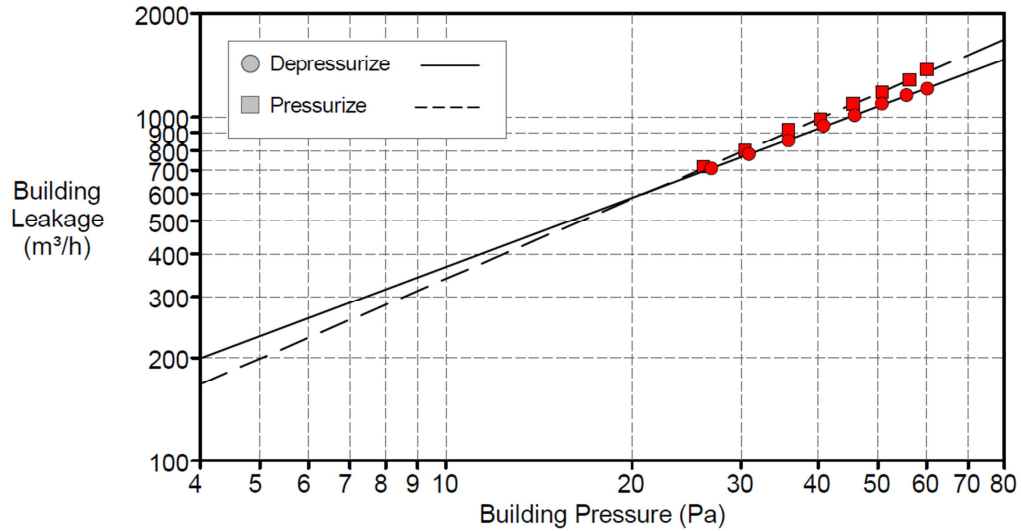
2.1 Tulokset

Ilmatilavuus 461 m³

Vaipan ala A_E 533 m²

Taulukko 2. Mittauksien tulokset

	Alipainemittaus	Ylipainemittaus	Ilmanvuotoluku Ka
Sisäilma lämpötila °C	23	23	23
Sisäilma RH %	13	13	13
Ulkoilma lämpötila °C	--11	-11	-11
V50 m ³ /h vuotoilmamäärä	1065	1175	1120
n50 1/h ilmanvuotoluku	2,31	2,55	2,43
q50 [m ³ /(h m ²)] ilmanvuotoluku	2,0	2,2	2,10



Kuva 9. Mittauksista saatu ilmanvuotokäyrä

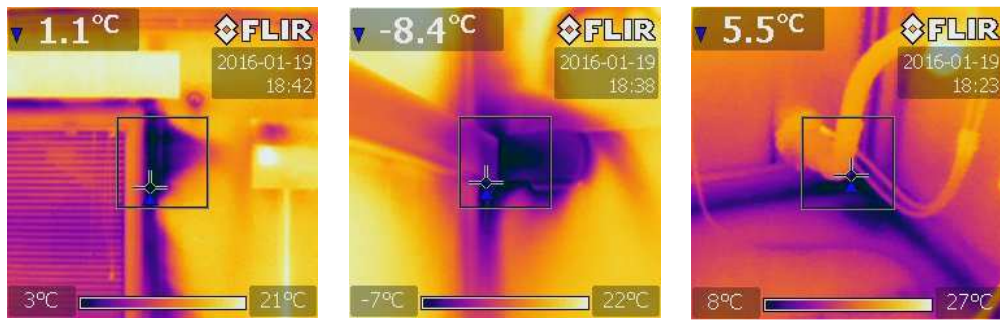
Rakennuksen n50 1/h ilmanvuotoluvuksi mitattiin 2,43 1/h

Rakennuksen q50 ilmanvuotoluvuksi mitattiin 2,10 m³/(h m²)

2.2 Johtopäätökset

Ryhmän 2 ilmatiiviyttä voidaan pitää tässä tilanteessa hyvänä, kun energiatehokkuusvaatimuksia ei ole. Mittauksien aikana kohteessa havaittiin lämpökameran avulla useita pistemäisiä vuotokohtia, joiden lämpötila laski huomattavasti alipaineistuksen aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseessä on ilmanvuotokohta eikä niinkään kylmäsilta. Ryhmässä 2 voitiin havaita, että asennus oli toteutettu puutteellisemmin kuin ryhmässä 1, vaikka rakenteet ovat kutakuinkin samat. Ryhmän 2 suurimmat ongelmat olivat nurkkien liitokset, lattiakynnyksien alueet ja ikkunoiden karmien liitokset. Ongelmakohdat esitetään kuvissa 10.

2.2.1 Lämpökameralla havaittuja pistemäisiä vuotokohtia.



Kuvat 10. ikkunakarmin liitos seinään, lattiakynnys, lattianurkka

2.3 Tiiviiden vaikutus energiankulutukseen

Kaava 3

$$q_{v,vuotoilma} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \left(\frac{2,10}{3600 \times 35} \right) \times 534 = 0,0089 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaava 2

$$H_{vuotoilma} = 1,2 \times 1000 \times 0,0089 = 10,7 \text{ W/C}$$

Kaava 1

$$Q_{vuotoilma} = 10,7 \frac{3118 \times 24}{1000} = 801 \text{ kWh/v}$$

$$\text{Kulutus: } 801 \text{ kWh/v} \times 0,09 \text{ euroa/kWh} = 72,1 \text{ euroa/v}$$

tilaryhmä 2, jonka tilavuus on 461 m³, vaipan ala on 533 m² ja ilmanvuotoluku q₅₀ on 2,10 kuluttaa vuodessa 801 kWh energiaa vuotoilman takia. Tämä tarkoittaa rahallisesti 72,1 euroa. Vertailuna voidaan todeta, että 1 ryhmän 2 työmaatilaelementti kuluttaa vuotoilman takia 10,3 euroa/a.

Sähkön hintana on käytetty opinnäytetyön kohta 3.3.2 kuvan 2. yritys- ja yhteisasiakkaiden vuoden 2015 sähkön hintaa.

3 KOHDE 3

Työmaatilaryhmä 3 muodostuu yhdeksästä 2,9 x 8,4 m työmaatilaelementistä. Työmaatilaelementit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Pohjapiirros työmaatilaryhmästä 3

Taulukko 1. Rakenneosat työmaatilaryhmästä 3

Alusta	Lattiaelementti	Ulkoseinä	Väliseinä	Katto	Ikkunat	Ulko-ovet
60*120 mm hitsattu teräsrunko	Muovimatto 2 mm	Pinnoitettu lastulevy 12 mm	Pinnoitettu lastulevy 12 mm	Pinnoitettu lastulevy 12 mm	3 kerros lämpölasi	Teräsrakenteinen
	Lastulevy 22 mm	Höyrynsulku	Puurunko 38*44 mm	Mineraalivilla 145 mm		
	Puurunko 34*145 k600	Mineraalivilla 95 mm	Pinnoitettu lastulevy 12 mm	Puurunko 34*145 k600		
	Mineraalivilla 145 mm	Puurunko 34*95 mm k600		Tuulensuoja		
	Lastulevy 9 mm	Vaakakoolaus 22*70 mm		Tuuletusrako lumisuojoilla		
		Tuulensuoja 18*120 mm pystypaneeli		Lastulevy 13 mm + huopakatto 1 kerrosta		
U-arvo (W/m ² K)	0,28	0,41		0,28	1,3	

Talotekniikka

Toimistotiloissa on huonekohtainen koneellinen tulo- ja poistopuhallin raitisilmansuodattimella. Wc- ja suihkutiloissa ilmanvaihto on toteutettu koneellisella poistopuhaltimella. Valaistus kytkeytyy automaattisesti liiketunnistimen ansiosta.

Mittauksen ajankohta

Mittaus suoritettiin keskiviikkona 20.1.2016 kello 16:00- 18:30 välisenä aikana.

Mittauksessa käytetty laitteisto

- Oviaukkoon asennettava puhallin ja painekoelaitteisto Minneapolis Blower Door DG700 (sn. 62686-107) cal. 5.2.2014
- Kannettava tietokone, HP Elitebook
- Thermoanemometri Airflow TA7
- SwemaMan 60, erillinen paine-eromittari, sn 672229, kalibroitu 10/2014
- Vaisala HM45, (sn L1150238) cal. 3/2015
- TSI VelociCalc Plus 9555-P (sn 9555P1111017) cal. 11/2014 + TSI 964 kuimalanka-anturi
- Flir i7

Valmistelevat työt

- Tiedottaminen alkavasta työstä.
- Ikkunoiden ja ovien sulkeminen.
- Tulo- ja poistoilmakanavien teippaaminen ulkopuolelta ja sulkeminen sisältä.
- Mittauslaitteisto otettiin esille ja puhaltimen asettaminen ulko-oviaukkoon muunneltavan ovikehyksen avulla.
- Sääolosuhteiden selvittäminen.



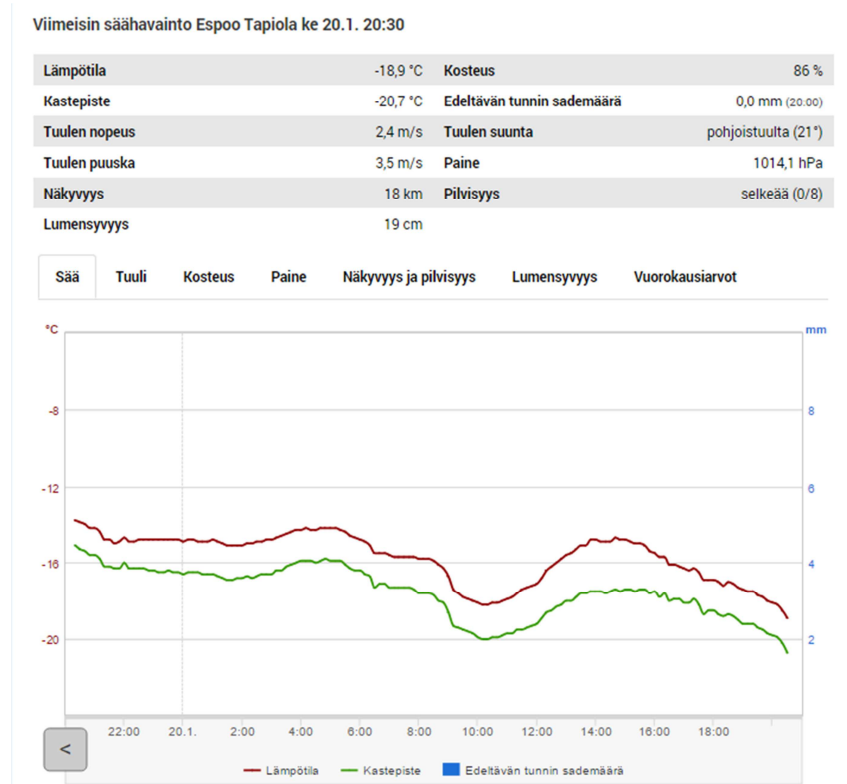
Kuva 2. Ovipuhallin on asennettuna Kuva 3. koneellinen ilmanvaihto suljettuna



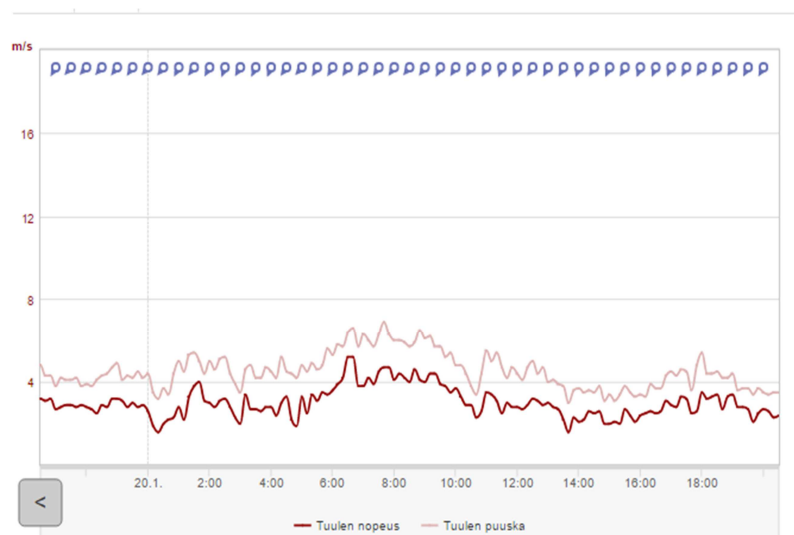
Kuva 4. kanavien teippaus ulkoapäin

Säätiiedot 20.1.2015

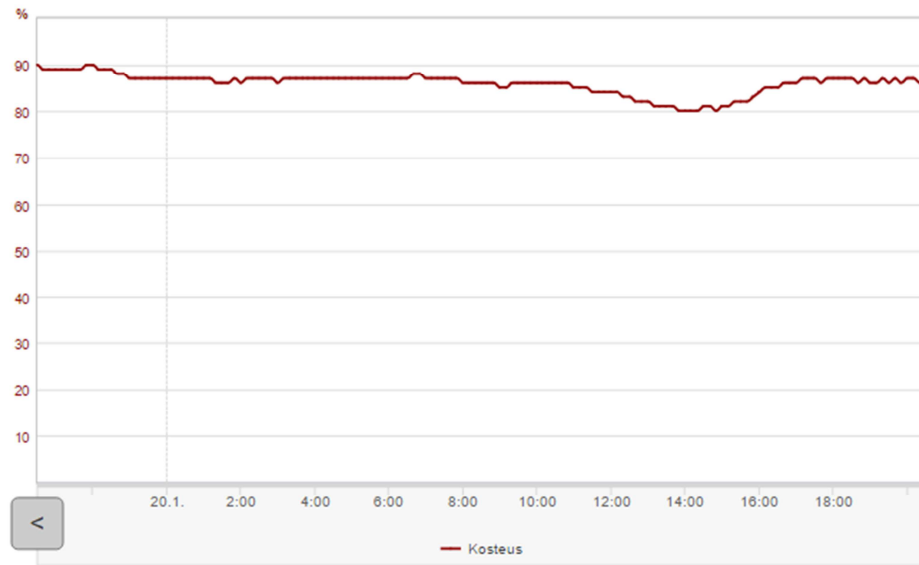
Säätiiedot ovat otettu Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. Kohteessa tehtiin kohdekohtainen mittaus sisä- ja ulkolämpötilojen osalta.



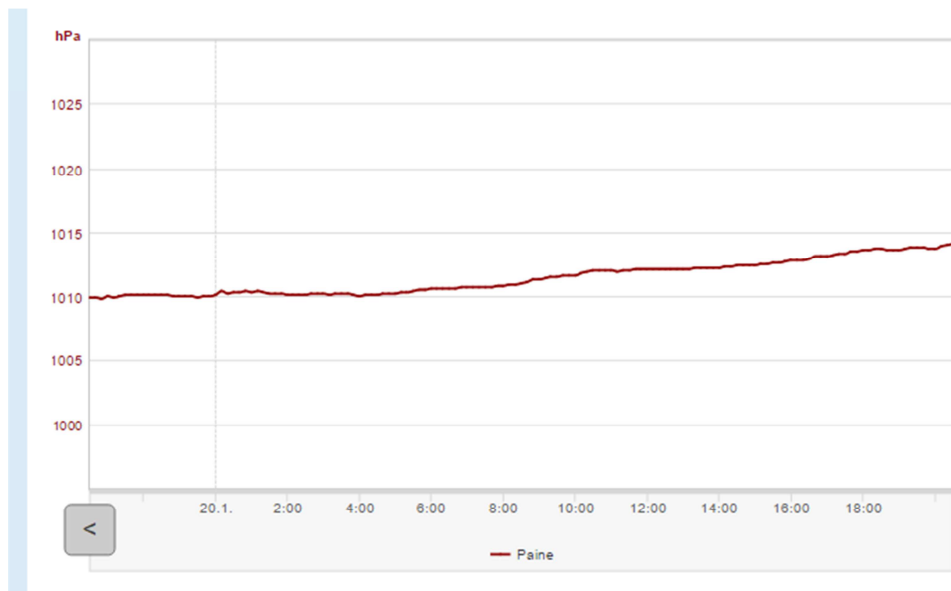
Kuva 5. Lämpötila



Kuva 6. Tuulen nopeus



Kuva 7. Kosteus



Kuva 8. Paine

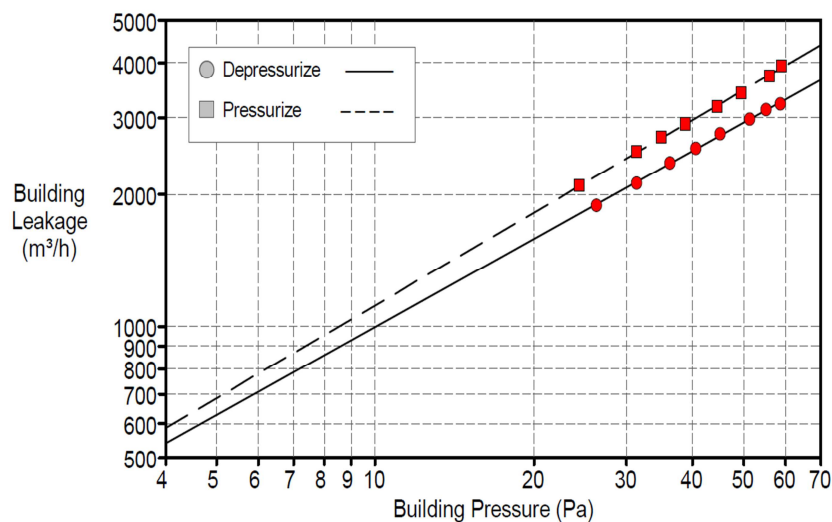
3.1 Tulokset

Ilmatilavuus 520 m³

Vaipan ala A_E 580 m²

Taulukko 2. Mittauksien tulokset

	Alipainemittaus	Ylipainemittaus	Ilmanvuotoluku Ka
Sisäilma lämpötila °C	22	22	22
Sisäilma RH %	25	25	25
Ulkoilma lämpötila °C	-15	-15	-15
V50 m ³ /h vuotoilmamäärä	2911	3467	3189
n50 1/h ilmanvuotoluku	5,60	6,67	6,13
q50 [m ³ /(h m ²) ilmanvuotoluku	5,02	5,98	5,50



Kuva 9. Mittauksista saatu ilmanvuotokäyrä

Rakennuksen n50 1/h ilmanvuotoluvuksi mitattiin 6,13 1/h

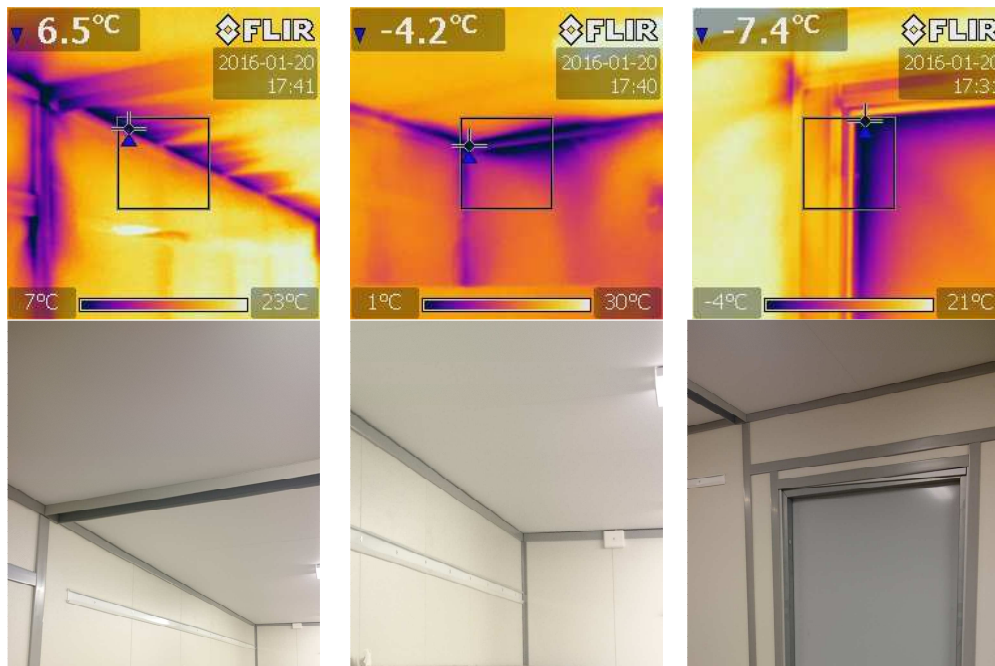
Rakennuksen q50 ilmanvuotoluvuksi mitattiin 5,98 m³/(h m²)

Ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaassa on maininta, jos n50 on yli 0,5 heikompi, käytetään q50:n heikompa tulosta.

3.2 Johtopäätökset

Ryhmän 3 ilmatiiviyttä voidaan pitää heikkona. Mittauksien aikana kohteessa havaittiin lämpökameran avulla laajoja vuotokohtia, joiden lämpötila laski huomattavasti alipaineistuksen aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseessä on ilmanvuotokohta eikä niinkään kylmäsilta. On havaittavissa selvästi se kyseisten mittauksien perusteella, että mineraalivillaeristeellä toteutettu rakenne on ilmantiiviydeltään huonompi, kuin polyuretaanieristetty rakenne. Ongelmakohdiksi osoittautuivat rakenteiden liitokset. Syynä tähän voi päätellä olevan höyrynsulkumuovin vääränlainen asennus ja liitosten tilkitseminen. Ongelmakohdat esitetään kuvissa 8.

3.2.1 Lämpökameralla havaittuja pistemäisiä vuotokohtia.



Kuvat 10. Seinäliitos, nurkka katossa, ulko-ovi

3.3 Tiiviiden vaikutus energiankulutukseen

Kaava 3

$$q_{v,vuotoilma} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \left(\frac{5,98}{3600 \times 35} \right) \times 580 = 0,0275 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaava 2

$$H_{vuotoilma} = 1,2 \times 1000 \times 0,0275 = 33,0 \text{ W/C}$$

Kaava 1

$$Q_{vuotoilma} = 33,0 \frac{3118 \times 24}{1000} = 2472 \text{ kWh/v}$$

$$\text{Kulutus: } 2472 \text{ kWh/v} \times 0,09 \text{ euroa/kWh} = 222,5 \text{ euroa/v}$$

tilaryhmä 3, jonka ilmatilavuus on 562 m³, vaipan ala on 580 m² ja ilmanvuotoluku q₅₀ on 5,98 kuluttaa vuodessa 2472 kWh energiaa vuotoilman takia. Tämä tarkoittaa rahallisesti 2225 euroa. Vertailuna voidaan todeta, että 1 ryhmän 3 työmaatilaelementti kuluttaa vuotoilman takia 24,7 euroa/v.

Sähkön hintana on käytetty opinnäytetyön kohta 3.3.2 kuvan 2. yritys- ja yhteisasiakkaiden vuoden 2015 sähkön hintaa.

4 KOHDE 4

Työmaatilaryhmä 4 muodostuu seitsemästä 3,3 x 7,2 m työmaatilaelementistä. Työmaatilaelementit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Pohjapiirros työmaatilaryhmästä 4

Taulukko 1. Rakenneosat työmaatilaryhmästä 4

Alusta	Lattiaelementti	Ulkoseinä	Katto	Ikkunat	Ulko-ovet
Vaihtolavakisko, I-palkit 160mm	Muovimatto 2mm	Lastulevy 11 mm	Lastulevy 11 mm	Lämpölasi, muovirunko	Teräsrakenteinen
	Lattialastulevy 22 mm	Mineraalivilla 100 mm	Höyrynsulkumuovi		
	Runko 150mm U-profiili	Puurunko 50*100	Kattopalkit 50*150 mm		
	Mineraalivilla 150 mm	Tervapaperi	Mineraalivilla 150 mm		
	Pelti	Koolauslauta 22*100 mm	Hengittävä aluska- te		
		Seinäpelti	Koolaus 50 mm + peltiprofiili		
U-arvo (W/m ² K)	0,36	0,38	0,28		

Talotekniikka

Kyseisessä ryhmässä yleistilojen ilmanvaihto toteutettiin painovoimaisena ilmanvaihtona. Wc-tiloissa sekä peseytymistiloissa oli koneellinen poistopuhallin. Valaistus kytkeytyy manuaalisesti.

Mittauksen ajankohta

Mittaus suoritettiin Keskiviikkona 20.1.2016 kello 19:00- 20:20 välisenä aikana.

Mittauksessa käytetty laitteisto

- Oviaukkoon asennettava puhallin ja painekoelaitteisto Minneapolis Blower Door DG700 (sn. 62686-107) cal. 5.2.2014
- Kannettava tietokone, HP Elitebook
- Thermoanemometri Airflow TA7
- SwemaMan 60, erillinen paine-eromittari, sn 672229, kalibroitu 10/2014
- Vaisala HM45, (sn L1150238) cal. 3/2015
- TSI VelociCalc Plus 9555-P (sn 9555P1111017) cal. 11/2014 + TSI 964 kuumalanka-anturi
- Flir i7

Valmistelevat työt

- Tiedottaminen alkavasta työstä.
- Ikkunoiden ja ovien sulkeminen.
- Tulo- ja poistoilmakanavien sulkeminen ja teippaus.
- Mittauslaitteisto otettiin esille ja puhaltimen asettaminen ulko-oviaukkoon. muunneltavan ovikehyksen avulla.
- Sääolosuhteiden selvittäminen.



Kuva 3. Venttiilit ovat suljettuina



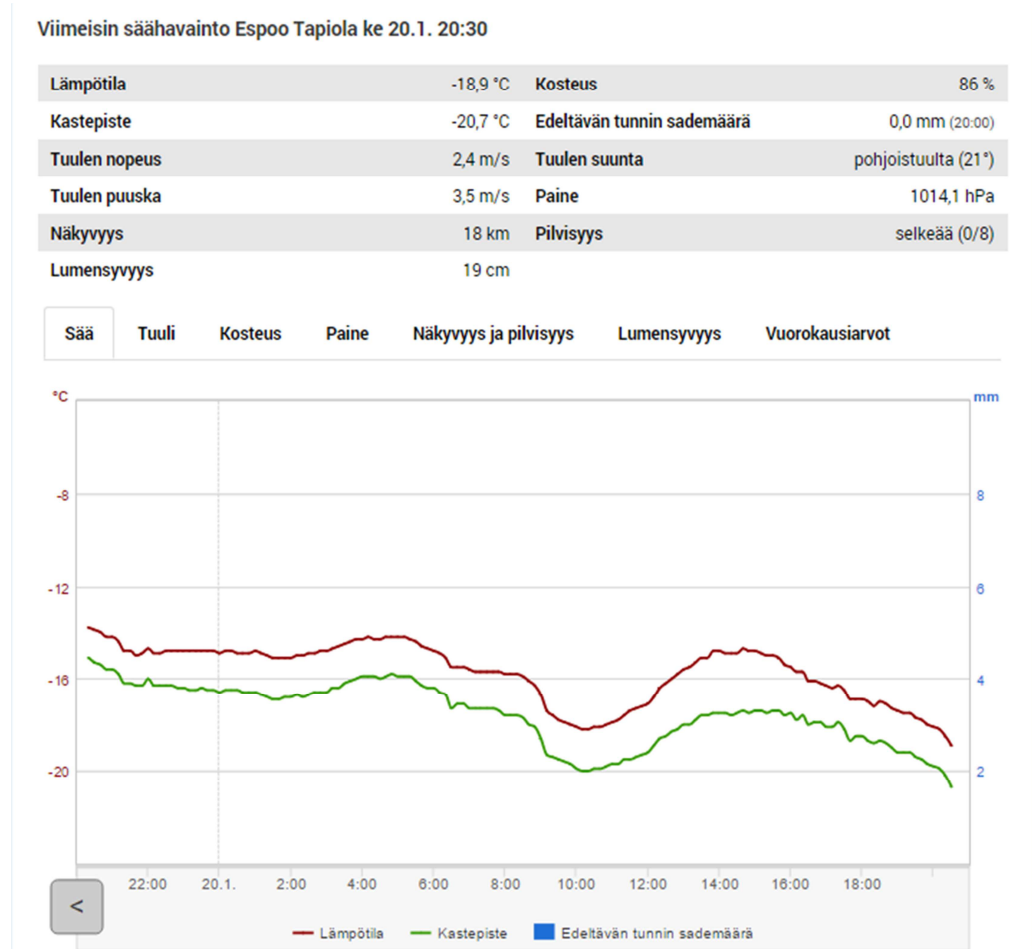
Kuva 2. Ovipuhallin on asennettuna



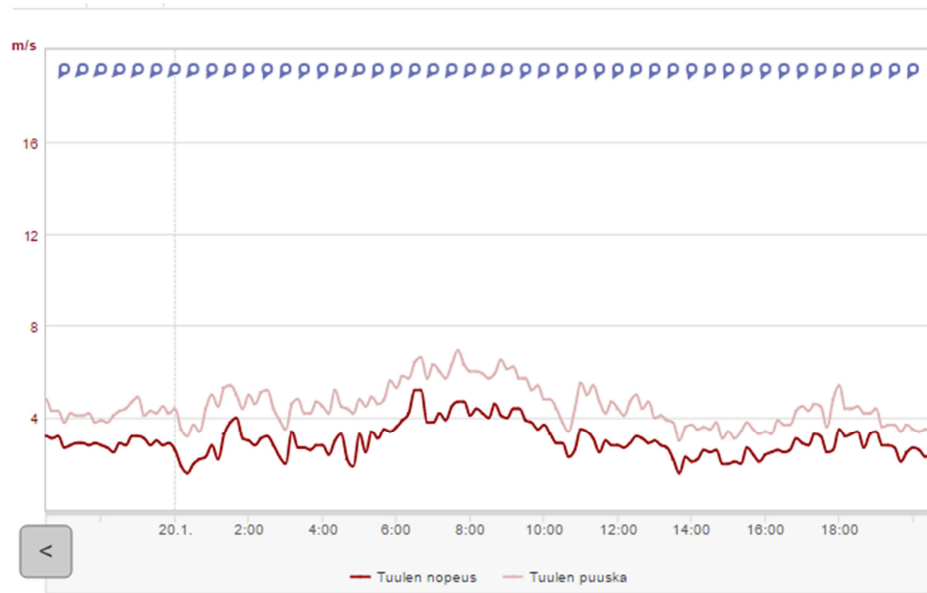
Kuva 4. Koneellinen poistokanava on teipattuna

Sää tiedot 20.1.2015

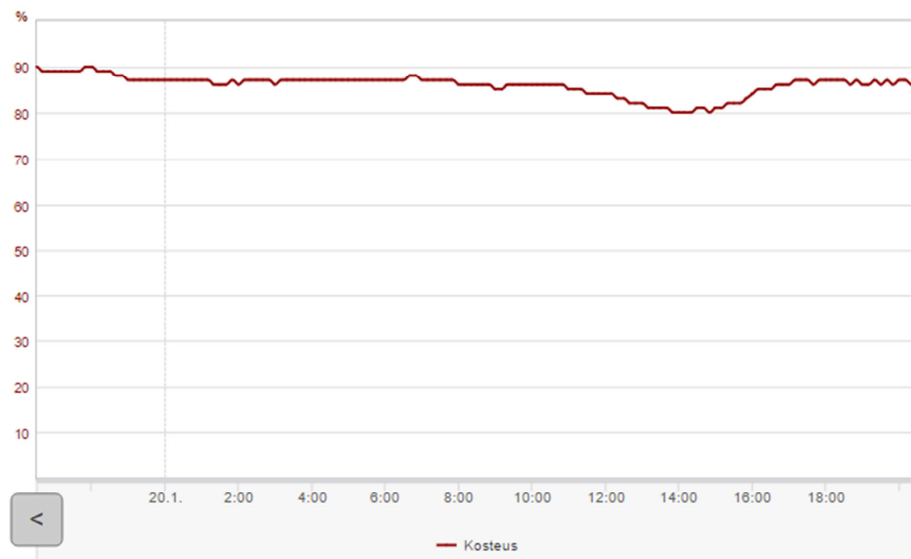
Sää tiedot ovat otettu Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. Kohteessa tehtiin kohdekohtainen mittaus sisä- ja ulkolämpötilojen osalta.



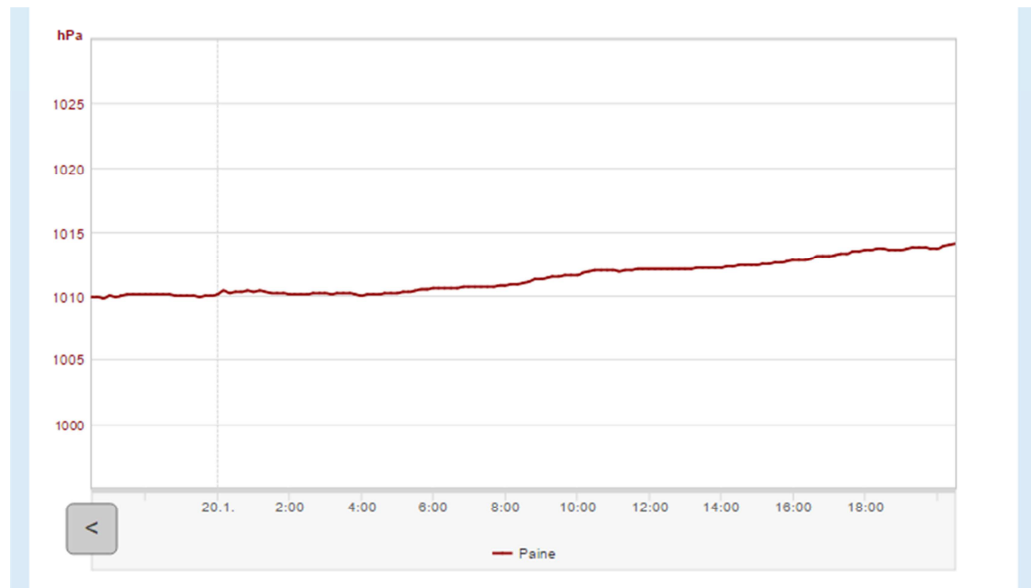
Kuva 5. Lämpötila



Kuva 6. Tuulen nopeus



Kuva 7. Kosteus



Kuva 8. Paine

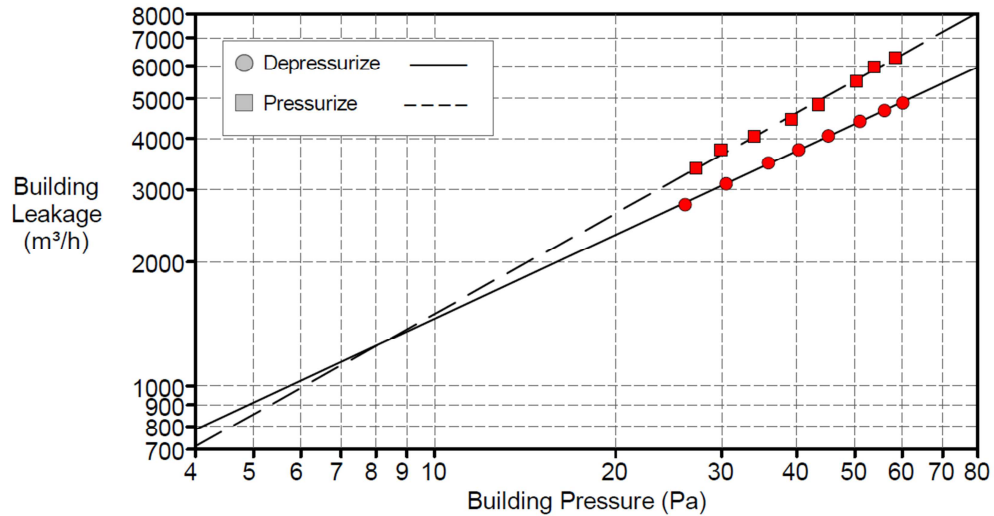
4.1 Tulokset

Ilmatilavuus 358 m³

Vaipan ala A_E 462 m²

Taulukko 2. Mittauksien tulokset

	Alipainemittaus	Ylipainemittaus	Ilmanvuotoluku Ka
Sisäilma lämpötila °C	19	19	19
Sisäilma RH %	25	25	25
Ulkoilma lämpötila °C	-16	-16	-16
V50 m ³ /h vuotoilmamäärä	4257	5513	4885
n50 1/h ilmanvuotoluku	11,89	15,40	13,65
q50 [m ³ /(h m ²)] ilmanvuotoluku	9,22	11,93	10,57



Kuva 9. Mittauksista saatu ilmanvuotokäyrä

Rakennuksen n50 1/h ilmanvuotoluvuksi mitattiin 13,65 1/h

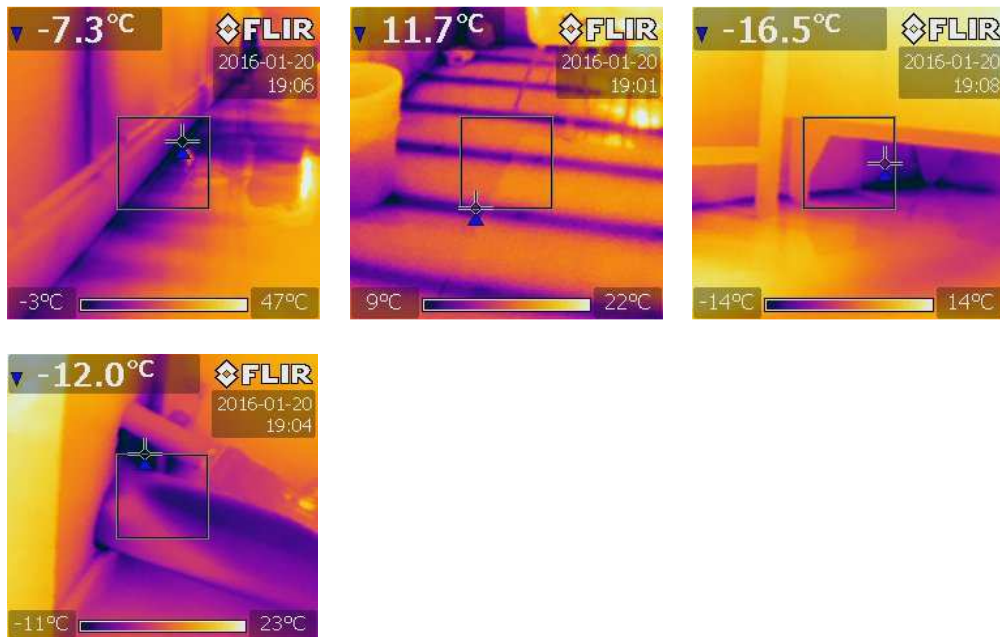
Rakennuksen q50 ilmanvuotoluvuksi mitattiin **11,93** m³/(h m²)

Ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaassa on maininta, jos n50 on yli 0,5 heikompi, käytetään q50:n heikompa tulosta.

4.2 Johtopäätökset

Ryhmän 4 ilmatiivyyttä voidaan pitää huonona. Mittauksien aikana kohteessa havaittiin lämpökameran avulla suuria eristepuutteita ja laajoja vuotokohtia, joiden lämpötila laski huomattavasti pakkasen puolelle alipaineistuksen aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseessä on ilmanvuotokohta eikä niinkään kylmäsilta. Ryhmässä 4 voitiin havaita, että asennus oli huolimattomasti. Tulos oli noin puolet heikompi kuin mitä saatiin ryhmän 3 ilmantiiviydeksi, vaikka rakenne oli lähes sama. Ryhmän 4 erään tilan vesiputket olivat jäätyneet ja kaksi hanoista ei toiminut. Kuvasta 9, jossa on lattia-alue kuvattuna voi nähdä, kuinka vuotokohdat paikantuvat selvästi. Tässä kylmä ilma virtaa lattian alta ja tulee huoneeseen seinän ja lattian liitoksien kohdalta. Kyseinen ryhmä oli ilmantiiviydeltään selvästi huonoin kaikista viidestä ryhmästä. Ongelmakohdat esitetään kuvissa 9.

4.2.1 Lämpökameralla havaittuja pistemäisiä vuotokohtia.



Kuvat 10. Lattian ja seinän liitos, lattia-alue, pukukaapin alapuolinen tila ja wc-tilan lvi-tekniikkaa

4.3 Tiiviiden vaikutus energiankulutukseen

Kaava 3

$$q_{v,vuotoilma} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \left(\frac{11,93}{3600 \times 35} \right) \times 462 = 0,044 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaava 2

$$H_{vuotoilma} = 1,2 \times 1000 \times 0,039 = 52,36 \text{ W/C}$$

Kaava 1

$$Q_{vuotoilma} = 52,36 \frac{3118 \times 24}{1000} = 3918 \text{ kWh/v}$$

$$\text{Kulutus: } 3918 \text{ kWh/v} \times 0,09 \text{ euroa/kWh} = 352 \text{ euroa/v}$$

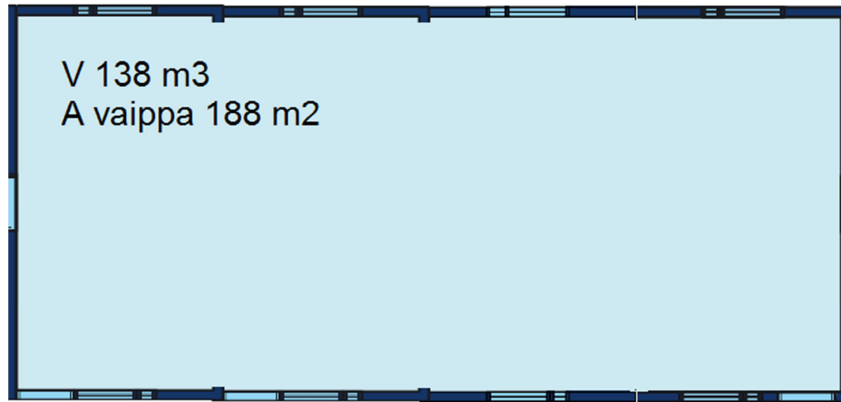
tilaryhmä 4, jonka tilavuus on 358 m³, vaipan ala on 462 m² ja ilmanvuotoluku q₅₀ on 11,93 kuluttaa vuodessa 3918 kWh energiaa vuotoilman takia. Tämä tarkoittaa

rahallisesti 352 euroa. Vertailuna voidaan todeta, että 1 ryhmän 4 työmaatilaelementti kuluttaa vuotoilman takia 50,4 euroa/a.

Sähkön hintana on käytetty opinnäytetyön kohta 3.3.2 kuvan 2. yritys- ja yhteisasiakkaiden vuoden 2015 sähkön hintaa.

5 KOHDE 5

Työmaatilaryhmä 5 muodostuu neljästä 3,3 x 7,2 m työmaatilaelementistä. Työmaatilaelementit on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Pohjapiirros työmaatilaryhmästä 5

Taulukko 1. Rakenneosat työmaatilaryhmästä 5

Alusta	Lattiaelementti	Ulkoseinä	Katto	Ikkunat	Ulko-ovet
Perustuspaalkit	Muovimatto 1,5 mm	Lastulevy 10 mm	Lastulevy 10 mm	Eristelasi, muovirunko	Teräsrakenteinen 40 mm eriste
	Vaneri 22 mm	Mineraalivilla 100 mm	Uretaani 60 mm + mine- raalivilla 100 mm		
	Teräsprofiili 3 mm	Teräsprofiili 0,6 mm	Teräsprofiili 3 mm		
	Mineraalivilla 100 mm		Teräslevy 0,6 mm		
	Teräslevy 0,6 mm				
U-arvo (W/m ² K)	0,35	0,37	0,18	2,5	

Talotekniikka

Kyseisessä ryhmässä yleistilojen ilmanvaihto toteutettiin painovoimaisena ilmanvaihtona. Valaistus kytkeytyy manuaalisesti.

Mittauksen ajankohta

Mittaus suoritettiin Keskiviikkona 26.1.2016 kello 15:30- 17:00 välisenä aikana.

Mittauksessa käytetty laitteisto

- Oviaukkoon asennettava puhallin ja painekoelaitteisto Minneapolis Blower Door DG700 (sn. 62686-107) cal. 5.2.2014
- Kannettava tietokone, HP Elitebook
- Thermoanemometri Airflow TA7
- SwemaMan 60, erillinen paine-eromittari, sn 672229, kalibroitu 10/2014
- Vaisala HM45, (sn L1150238) cal. 3/2015
- TSI VelociCalc Plus 9555-P (sn 9555P1111017) cal. 11/2014 + TSI 964 kuumalanka-anturi
- Flir i7

Valmistelevat työt

- Tiedottaminen alkavasta työstä.
- Ikkunoiden ja ovien sulkeminen.
- Tulo- ja poistoilmakanavien sulkeminen ja teippaus.
- Mittauslaitteisto otettiin esille ja puhaltimen asettaminen ulko-oviaukkoon. muunneltavan ovikehyksen avulla.
- Sääolosuhteiden selvittäminen.



Kuva 2. Ovipuhallin on asennettuna



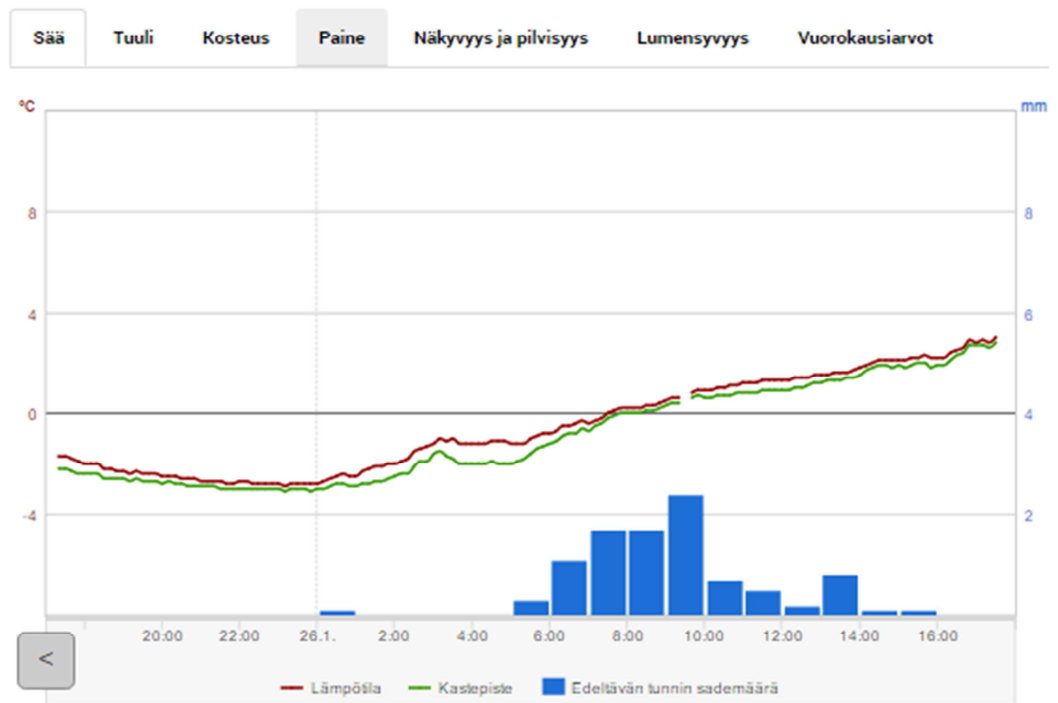
Kuva 3. Venttiilit ovat teipattuina

Sää tiedot 20.1.2015

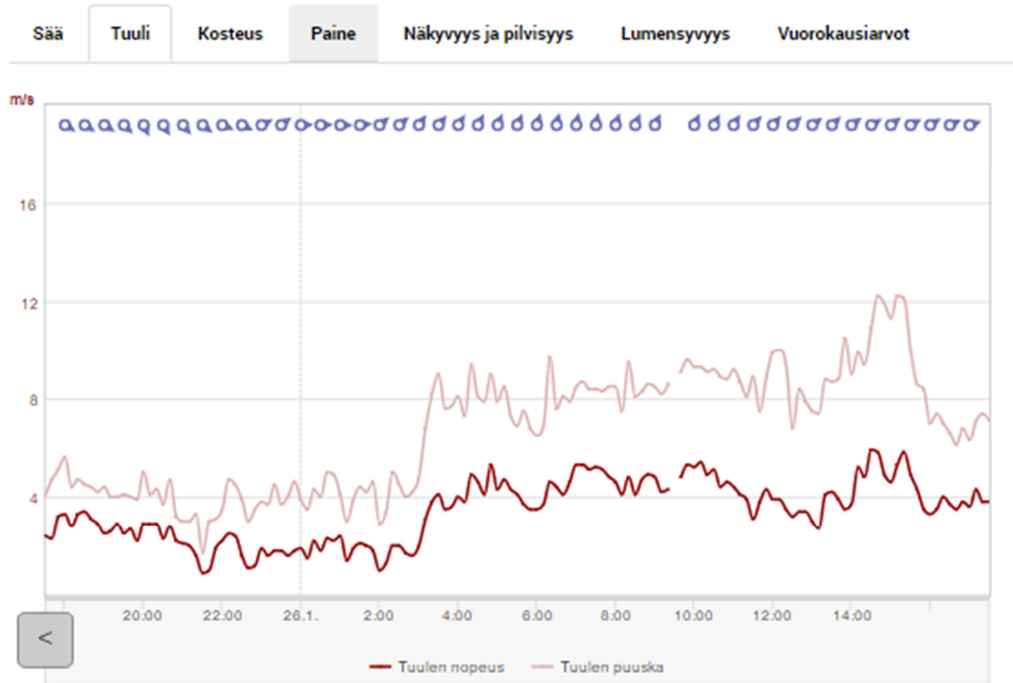
Sää tiedot ovat otettu Ilmatieteen laitoksen verkkosivuilta. Kohteessa tehtiin kohdekohtainen mittaus sisä- ja ulkolämpötilojen osalta.

Viimeisin säähavainto Helsinki Kaisaniemi ti 26.1. 17:30

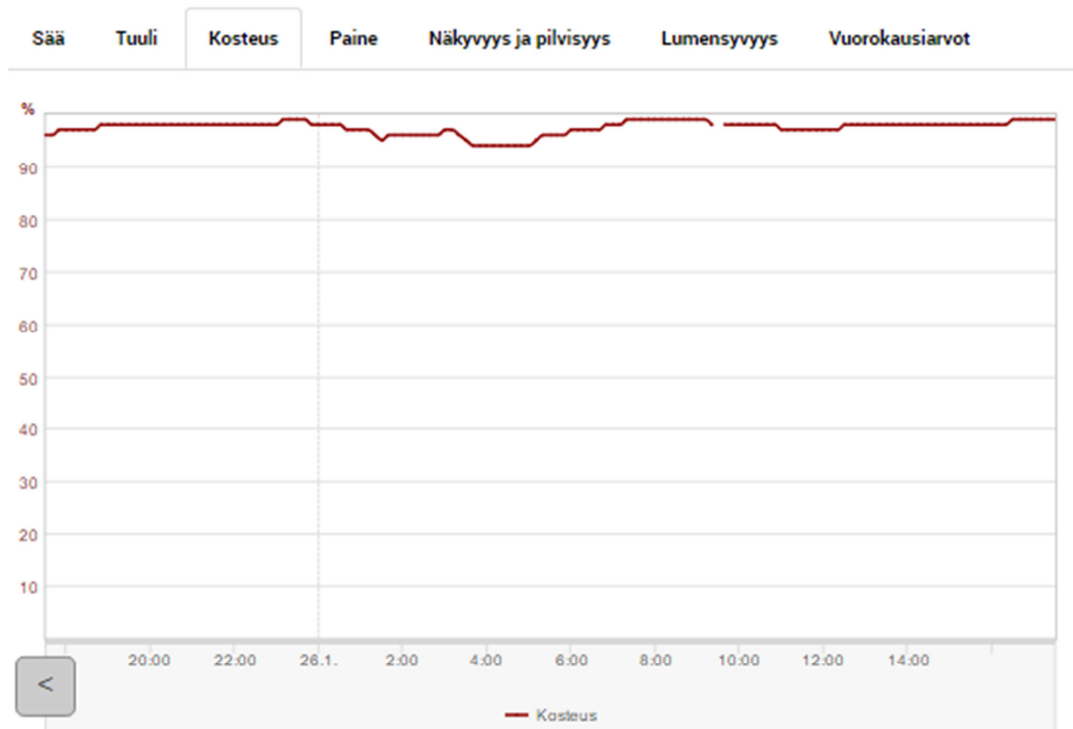
Lämpötila	3,0 °C	Kosteus	99 %
Kastepiste	2,8 °C	Edeltävän tunnin sademäärä	0,0 mm (17:00)
Tuulen nopeus	4 m/s	Tuulen suunta	länsituulta (267°)
Tuulen puuska	7 m/s	Paine	998,2 hPa
Näkyvyys	4,9 km	Pilvisuus	pilvistä (8/8)
Lumensyvyys	28 cm		



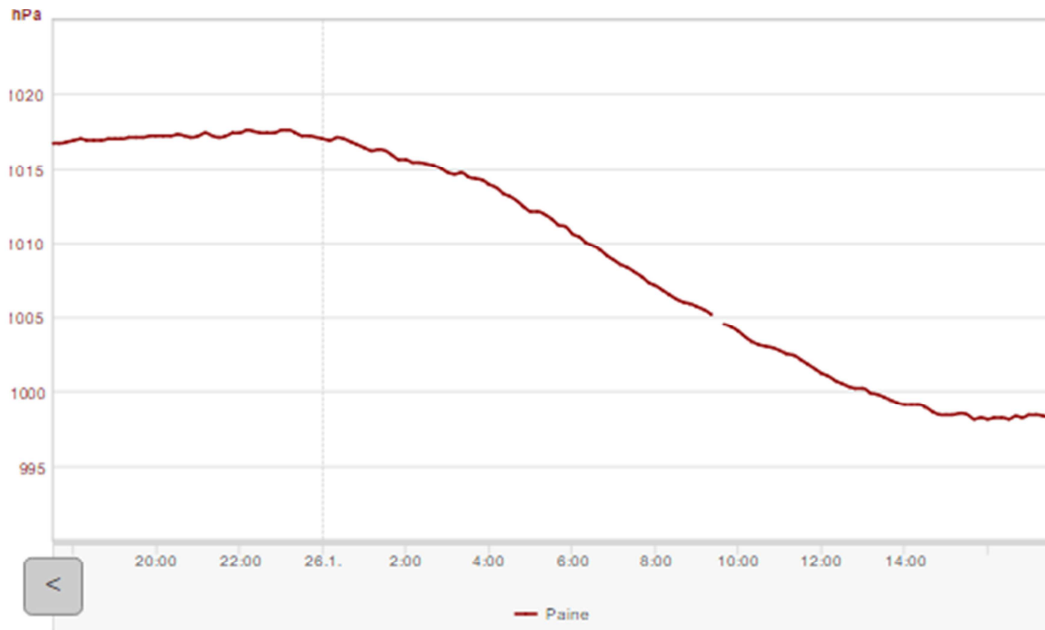
Kuva 4. Lämpötila



Kuva 5. Tuulen nopeus



Kuva 6. Kosteus



Kuva 7. Paine

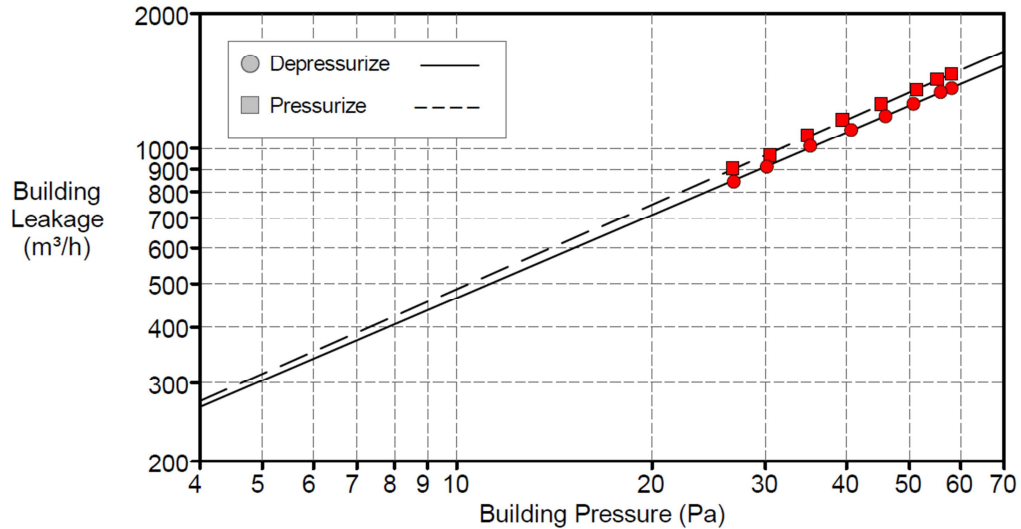
5.1 Tulokset

Ilmatilavuus 138 m³

Vaipan ala A_E 188 m²

Taulukko 2. Mittauksien tulokset

	Alipainemittaus	Ylipainemittaus	Ilmanvuotoluku Ka
Sisäilma lämpötila °C	21	21	21
Sisäilma RH %	38	38	38
Ulkoilma lämpötila °C	+2	+2	+2
V50 m ³ /h vuotoilmamäärä	1246	1334	1290
n50 l/h ilmanvuotoluku	9,03	9,67	9,35
q50 [m ³ /(h m ²) ilmanvuotoluku	6,63	7,10	6,86



Kuva 8. Mittauksista saatu ilmanvuotokäyrä

Rakennuksen n_{50} 1/h ilmanvuotoluvuksi mitattiin 9,35 1/h

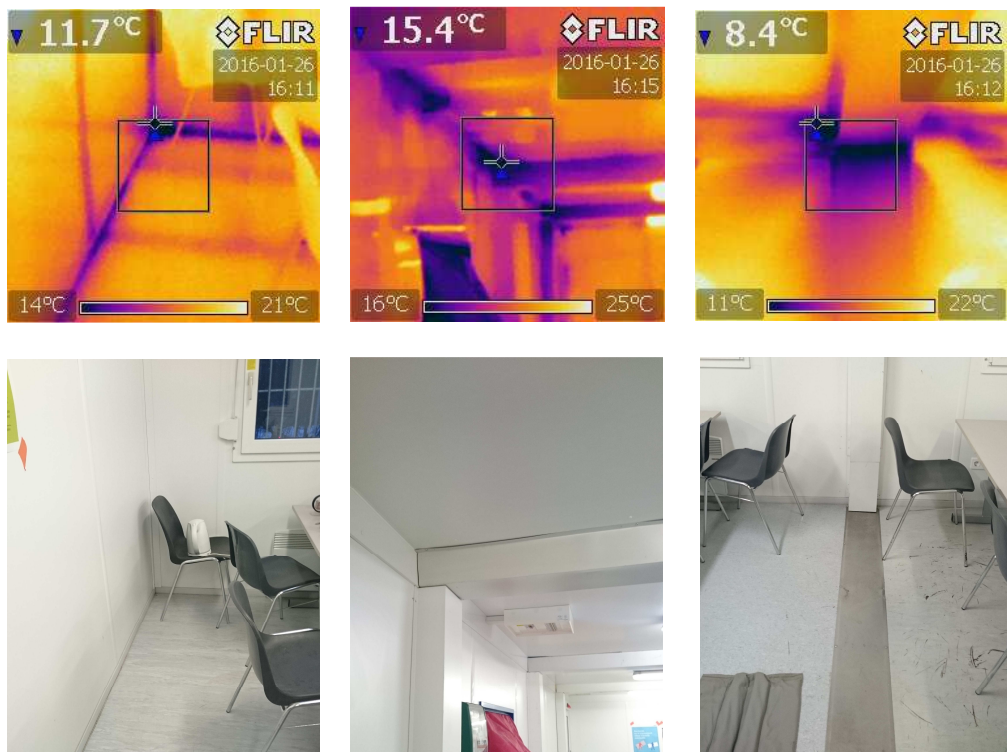
Rakennuksen q_{50} ilmanvuotoluvuksi mitattiin **7,10** m³/(h m²)

Ympäristöministeriön tasauslaskentaoppaassa on maininta, jos n_{50} on yli 0,5 heikompi, käytetään q_{50} :n heikompa tulosta.

5.2 Johtopäätökset

Ryhmän 5 ilmatiivyyttä voidaan pitää hyvin huonona. Mittauksien aikana kohteessa havaittiin lämpökameran avulla laajalti pistemäisiä vuotokohtia, joiden lämpötila laski alipaineistuksen aikana. Tämä tarkoittaa sitä, että kyseessä on ilmanvuotokohta eikä niinkään kylmäsilta. Kyseisten tilojen mittaus suoritettiin lämpötilan ollessa plussan puolella, joten vuotokohtien lämpötiloja ei voida rinnastaa neljään aikaisempaan mittaukseen. Vuotokohdat olivat suurimmaksi osaksi puutteellisen asennuksen tulosta. Alipaineistuksen aikana lattian ja seinän välisistä liitoksista tuli vettä sisätiloihin. Kyseisessä ryhmässä rakenteissa ei ole höyrinsulkua laisinkaan. Tämä on yksi tärkeä syy miksi ilmatiivyydessä on merkittäviä ongelmia. Kyseinen ryhmä oli ilmatiiviydeltään toiseksi huonoin. Ongelmakohdat havainnollistetaan kuvissa 8.

5.2.1 Lämpökameralla havaittuja pistemäisiä vuotokohtia.



Kuvat 9. Lattianurkka, seinän ja katon liitos, elementtien liitos kynnyksen kohdalta

5.3 Tiiviyyden vaikutus energiankulutukseen

Kaava 3

$$q_{v,vuotoilma} \left(\frac{m^3}{s} \right) = \left(\frac{7,10}{3600 \times 35} \right) \times 188 = 0,015 \text{ m}^3/\text{s}$$

Kaava 2

$$H_{vuotoilma} = 1,2 \times 1000 \times 0,015 = 18,5 \text{ W/C}$$

Kaava 1

$$Q_{vuotoilma} = 18,5 \frac{3118 \times 24}{1000} = 1387 \text{ kWh/v}$$

$$\text{Kulutus: } 1387 \text{ kWh/v} \times 0,09 \text{ euroa/kWh} = 124,8 \text{ euroa/v}$$

tilaryhmä 4, jonka ilmatilavuus on 138 m³, vaipan ala on 188 m² ja ilmanvuotoluku q₅₀ on 7,1 kuluttaa vuodessa 1387 kWh energiaa vuotoilman takia. Tämä tarkoittaa rahallisesti 124,8 euroa. Vertailuna voidaan todeta, että 1 ryhmän 5 työmaatilaelementti kuluttaa vuotoilman takia 31,2 euroa/a.

Sähkön hintana on käytetty opinnäytetyön kohta 3.3.2 kuvan 2. yritys- ja yhteisasiakkaiden vuoden 2015 sähkön hintaa.

LIITE 2

Laskelma

Esimerkkityömaan tiedot

Lampputyypyi 1 (Airam T8 2x58 loisteputki) – alkuperäinen valotehokkuus

Teho (W) = 116 W

Valovirta (lm) 10400 lm

Valotehokkuus (lm/W) = 89 lm/W

Sähköenergia (€/kWh) = 0,09 €

Polttoaika (h) = 24 h/ pv

Valovirta (lm) yhteensä = 135 2000 lm

$116 \text{ W} \times 130 \text{ kpl} = 15080 \text{ W} \Rightarrow 15,08 \text{ kW}$

$15,08 \text{ kW} \times 0,09 \text{ €} = 1,36 \text{ €/h}$

$1,36 \text{ €} \times 24 = 32,5 \text{ €/pv}$

Vuosikustannukset ovat tällöin **11889 €/a**

Lampputyypyi 2 (MBerg 230 V) – alkuperäinen valotehokkuus

Teho (W) = 24 W

Valovirta (lm) = 2400 lm

Valotehokkuus (lm/W) = 100 lm/W

Sähköenergia (€/kWh) = 0,09 €

Polttoaika (h) = 24 h/ pv

Vastaava kappalemäärä= $135\ 2000 \text{ lm} : 2400 \text{ lm} = 563 \text{ kpl}$

$24 \text{ W} \times 536 \text{ kpl} = 13512 \text{ W} \Rightarrow 13,51 \text{ kW}$

$13,51 \text{ kW} \times 0,09 \text{ €} = 1,21 \text{ €/h}$

$1,21 \text{ €} \times 24 = 29,2 \text{ €/pv}$

Vuosikustannukset ovat tällöin **10652 €/a**

Säästö = $11889 \text{ €} - 10652 \text{ €} = \underline{1237 \text{ €/a}}$

Lampputyyppi 2 (MBerg 230 V) – valotehokkuuden päivittäminen kohteeseen sopivaksi

Valaistussuunnitelmaehdotuksen mukaan lamppuja tarvitaan 31 kpl/kerros. Rakennettava kohde on 8-kerroksinen, joten yhteismäärä on 248 kpl.

$$24 \text{ W} \times 248 \text{ kpl} = 5952 \text{ W} \Rightarrow 5,952 \text{ kW}$$

$$5,952 \text{ kW} \times 0,09 \text{ €} = 0,54 \text{ €/h}$$

$$0,54 \text{ €} \times 24 = 12,9 \text{ €/pv}$$

Vuosikustannukset ovat tällöin **4693 €/a**

$$\text{Säästö} = 11889 \text{ €} - 4692 \text{ €} = \underline{7196 \text{ €/a}}$$

Lampputyyppi 2 (MBerg 230 V) – valotehokkuuden päivittäminen kohteeseen sopivaksi sekä polttoajan vähentäminen 12 ja 9 tuntiin

$$4693 : 24 = 195,6 \text{ €}$$

$$195,6 \times 12 = 2347 \text{ €}$$

$$195,6 \times 9 = 1760 \text{ €}$$

$$\text{Säästö} = 11889 \text{ €} - 1760 \text{ €} = \underline{10129 \text{ €/a}}$$

Lämmönläpäisykertoimen laskenta (RakMK C4 2012 Lämmöneristys)

Esimerkki 1. Vaneriovi ilman eristettä

Rakenne = Vaneri 13 mm

Lämmönjohtavuudet:

- Vaneri = 0,13 W/(m K)

Pinta-ala = 1,5 m x 2,0 m = 3,0 m²

Lämpötilaero (K) = 20 - (-15) = 30 K

Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen

Kaava (2)

Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus (R) lasketaan ainekerroksen paksuutta (d) sekä lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvoa (λ_u) apuna käyttäen

$$R = \frac{0,013\text{m}}{0,13\text{ W/(m K)}} = 0,1\text{ m}^2\text{ K/W}$$

 $R = \text{ainekerroksen lämmönvastus m}^2\text{ K/W}$ $d = \text{ainekerroksen paksuus m}$ $A_u = \text{ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo W/(m K)}$

Kaava (1)

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen (R_t) käänteisluku

$$U = \frac{1}{(0,13+0,1+0,04)\text{ m}^2\text{ K/W}} = 3,7\text{ W/(m}^2\text{K)}$$

 $U = \text{rakennusosan lämmönläpäisykerroin W/(m}^2\text{K)}$ $R_t = \text{rakennusosan kokonaislämmönvastus m}^2\text{K/W}$ $R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$, jossa

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

$$R_1 R_2 R_n = \text{rakenneosien lämmönvastukset} \left[\frac{m^2 K}{W} \right]$$

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

Kaava (3)

Lämmön johtuminen voidaan laskea lämpövirran tiheyden kaavalla

$$q = 3,7 \frac{W}{(m^2 K)(20 - (-15))} \text{ } ^\circ\text{C} = 130 \text{ W/m}^2$$

$$q = \text{lämpövirran tiheys} [W/m^2]$$

$$d = \text{ainekerroksen paksuus } m$$

$$T_1 = \text{Ulkotilan lämpötila } ^\circ\text{C}$$

$$T_2 = \text{Sisätilan lämpötila } ^\circ\text{C}$$

3,0 m² vaneriovesta vuorokauden aikana johtuu lämpöä

$$= 3,0 \text{ m}^2 \times 130 \text{ W/m}^2 \times 24 \text{ h} = \mathbf{9,4 \text{ kWh}}$$

Esimerkki 2. Vaneriovi eristeellä

Rakenne = Vaneri 13 mm - polyuretaanilevy 50mm – vaneri 13 mm

Lämmönjohtavuudet:

- Vaneri = 0,13 W/(m K)
- Polyuretaanilevy = 0,030 W/(m K)

$$\text{Pinta-ala} = 1,5 \text{ m} \times 2,0 \text{ m} = 3,0 \text{ m}^2$$

$$\text{Lämpötilaero (K)} = 20 - (-15) = 30 \text{ K}$$

Lämmönläpäisykertoimen määrittäminen

Kaava (2)

Yksittäisen ainekerroksen lämmönvastus (R) lasketaan ainekerroksen paksuutta (d) sekä lämmönjohtavuuden suunnitteluarvoa (λ) apuna käyttäen

$$R_{vaneri} = \frac{0,013m}{0,13 W/(m K)} = 0,1 m^2 K/W$$

$$R_{polyuretaani} = \frac{0,050m}{0,030 W/(m K)} = 1,7 m^2 K/W$$

Kaava (1)

Rakennusosan lämmönläpäisykerroin (U) on rakennusosan kokonaislämmönvastuksen (Rt) käänteisluku

$$U = \frac{1}{(0,13+0,1+1,7+0,04) m^2 K/W} = 0,51 W/(m^2 K)$$

$U =$ rakennusosan lämmönläpäisykerroin $W/(m^2 K)$

$R_t =$ rakennusosan kokonaislämmönvastus $m^2 K/W$

$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$, jossa

$R_{si} =$ sisäpuolen pintavastus $[\frac{m^2 K}{W}]$

$R_1 R_2 R_n =$ rakenneosien lämmönvastukset $[\frac{m^2 K}{W}]$

$R_{se} =$ ulkopuolen pintavastus $[\frac{m^2 K}{W}]$

Kaava (3)

Lämmön johtuminen voidaan laskea lämpövirran tiheyden kaavalla

$$q = 0,51 \frac{W}{(m^2K)(20-(-15))} \text{ } ^\circ\text{C} = 18 \text{ W/m}^2$$

q = lämpövirran tiheys [W/m^2]

d = ainekerroksen paksuus m

T_1 = Ulkotilan lämpötila $^\circ\text{C}$

T_2 = Sisätilan lämpötila $^\circ\text{C}$

3,0 m² vaneriovesta vuorokauden aikana johtuu lämpöä

= 3,0 m² x 18 W/m² x 24 h = **1,3 kWh**