



**TEKNIikka JA LIIKENNE**

**Rakennustekniikka**

**Rakennustuotantotekniikka**

**INSINÖÖRITYÖ**

**ENERGIATEHOKKAAN PUURAKENTAMISEN SEINÄRAKENTEIDEN  
RATKAISUMALLEJA RAKENNETYYPPEINÄ**

**Työn tekijä: Anna Junikka  
Työn ohjaaja: Eric Pollock  
Työn ohjaaja: Kyösti Heino**

**Työ hyväksytty: \_\_. \_\_. 2009**

**Eric Pollock  
lehtori**



## **ALKULAUSE**

Tämä opinnäytetyö tehtiin yritykselle nimeltä Woodpolis. Haluan kiittää työn tilauksesta Woodpolisia, aiheen antajaa Kyösti Heinoa sekä Veera Sorjosta.

Kiitokset kuuluvat myös yritykselle D.O.F. Tech Oy, joka antoi dof-lämpö-ohjelman käyttöni seinärakenteiden loppututkimuksia varten.

Kiitän myös lopputyöni ohjaajaa Eric Pollockia.

Helsingissä 13.1.2009

Anna Junikka

## OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

<b>Työn tekijä:</b> Anna Junikka	
<b>Työn nimi:</b> Energiatehokkaan puurakentamisen seinärakenteiden ratkaisumalleja rakennetyypeinä	
<b>Päivämäärä:</b> 13.1.2009	<b>Sivumäärä:</b> 51 s. + 1 liite
<b>Koulutusohjelma:</b> Rakennustekniikka	<b>Ammatillinen suuntautuminen:</b> Rakennustuotantotekniikka
<b>Työn ohjaaja:</b> lehtori Eric Pollock	
<b>Työn ohjaaja:</b> kehittämisjohtaja Kyösti Heino	
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin yritykselle Woodpolis. Työssä selvitettiin hirsi- ja puurakenteisten seinien fysikaalisia ominaisuuksia ja niiden sopivuutta passiivi- ja matalaenergiatalojen standardeihin.</p> <p>Työssä tutkittiin matala- ja passiivienergiatalojen rakentamisen vaatimuksia, edellytyksiä ja kustannusvaikutuksia. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään näihin talotyyppeihin sopivien materiaalien ominaisuuksia. Työ käsittelee matala- ja passiivienergiatalojen standardeja, kustannuksia, ilmanvaihdon osuutta, rakennusmateriaalien merkitsemiskäytäntöjä ja kasvihuonepäästöjä. Myös ekologisten näkökulmien ja elinkaariajattelun tarkastelu matala- ja passiivienergiatalojen rakentamisessa oli tärkeää.</p> <p>Tutkittavaksi valittiin kuusi hirsi- ja puurakenteista seinätyyppiä. Dof-lämpö-ohjelmalla tutkittiin seinätyyppien fysikaalisia ominaisuuksia. Rakenteiden toimivuuden kannalta U-arvon, kosteuden ja lämpöhäviön tarkastelu oli tärkeää. Hirsirakenteiset seinät laskettiin Helsingin ja Alankomaiden Maastrichtin olosuhteissa ja tolpparunkoiset puuseinät Helsingin olosuhteissa.</p> <p>Dof-lämpö-ohjelman kautta tuli tulokseksi talvikuukausina että hirsirakenteisissa seinissä syntyy vähäinen määrä kosteutta, mutta kesäkuukausina sitä ei syntynyt. Tolpparunkoisiin puuseiniin ei kosteutta syntynyt. Kosteuden takia tutkittiin rakenteissa käytetyt materiaalit ja niiden kosteusalttiudet. Tulos on, että vähäinen määrä tiivistynyttä kosteutta oikeiden rakennusmateriaalien kanssa ei tuota kosteus- tai homeongelmia. Vaikka hirsirunko 2:n seinärakenteessa mineraalivilla altistui pienelle kosteuden tiivistymiselle, se ei vähäisen määrän takia ollut vaarassa homehtua. Alankomaiden olosuhteissa hirsirakenteet saivat kosteuskäyttäytymiseltään samanlaiset tulokset kuin Suomessa, mutta toimivat lämpöhäviön puolesta paremmin. Rakenteiden väliset U-arvojen vaihtelut olivat vähäisiä. Lopputulokseksi saatiin, että tutkimukseen valitut kuusi rakennetyyppiä sopivat passiivi- ja matalaenergiataloihin ja ovat toimivia vaihtoehtoja.</p>	
<b>Avainsanat:</b> matalaenergiatalo, passiivienergiatalo, hirsirunko, ekologisuus, elinkaariajattelu	

**ABSTRACT**

<b>Name:</b> Anna Junikka	
<b>Title:</b> Energy efficiency in insulated wood construction solutions	
<b>Date:</b> 13 January 2009	<b>Number of pages:</b> 51 pp. + 1 appendice
<b>Department:</b> Civil Engineering	<b>Study Programme:</b> Construction production engineering
<b>Instructor:</b> Eric Pollock, Senior Lecture	
<b>Supervisor:</b> Kyösti Heino, Developing Director	
<p>This study was done for Woodpolis. The focus of the study was to determine the suitability of the log and wooden structure walls for the passive and low energy standards and to study their physical characteristics.</p> <p>The study describes what the low and passive energy houses are, what are their demands, the transition to them and their cost effect. The importance of the ecological and lifecycle management is also covered. Other construction materials suitable for the low energy and passive energy houses were also studied including their physical, ecological and lifecycle characteristics. The physical characteristics were calculated by using computer solution called Dof-lämpö. In the initial phase, the focus of the study was on the standards of the low energy and passive energy constructions, costs, air ventilation, ecology matters, marking practices of the construction materials and the emissions.</p> <p>Six log and wooden structure walls were chosen as subject of this study. The Dof-lämpö solution was used, offering ready calculated physical characteristics for different wall types. U-value, moisture and thermal losses were chosen as the important factors in the evaluation of construction functionalities. The log wood walls were calculated under the conditions in Helsinki and in Maastricht, the Netherlands, and the wooden structure walls under the conditions in Helsinki.</p> <p>Using the Dof-lämpö solution the study proved that only a very limited amount of the moisture was developed in the log walls during the winter months. No concentration of the moisture was indicated during the summer months. Moisture did not develop in the wooden structure walls. Moisture was the reason why the materials and their susceptibility to moisture were studied. As a result it was found out that a limited amount of the concentrated moisture will not cause any moisture or mould issues. Mineral wool in the structure of the log wood 2 was exposed to a small amount of the concentrated moisture but because of a low quantity, no risk for mould issues was found. Under the conditions in the Netherlands, results obtained from the log constructions were similar to those in Finland but worked better in respect to energy losses. It can be concluded that log and wooden structure walls are both suitable wall types for the low energy and passive energy houses. All wall constructions used in the study were suitable for these purposes and the u-values of different constructions differed only slightly.</p>	
<b>Keywords:</b> Low energy house, passive energy house, log wood wall, ecological matters, life cycle management	

# SISÄLLYS

## ALKULAUSE

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>KÄSITELUETTELO</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MATALAENERGIA JA PASSIIVIENERGIATALOT</b>	<b>4</b>
3.1	Matala- ja passiivienergiatalot ja niihin siirtyminen	4
3.2	Matalaenergiatalon kustannukset	5
3.3	Standardien täyttäminen	6
3.3.1	<i>Lämmöneristävyys, vaipan osat ja talotekniikka</i>	6
3.3.2	<i>Ilmanvaihto</i>	6
<b>4</b>	<b>EKOLOGINEN JALANJÄLKI</b>	<b>8</b>
4.1	Ekologisuus	8
4.2	Elinkaariajattelu ja -arviointi	8
4.3	Co <sup>2</sup>	9
4.4	RT-ympäristöohje	10
4.5	FSC	11
<b>5</b>	<b>SEINÄRAKENTEET</b>	<b>12</b>
5.1	Hirsirunko 1, symmetrinen tuplahirsirunko	12
5.2	Hirsirunko 2, tuplahirsirunko ilmaraolla	12
5.3	Hirsirunko 3, paneloitu hirsiseinä	13
5.4	Ulkoseinä 1, lämpökatkotolpat	13
5.5	Ulkoseinä 2, lisälämmöneriste	14
5.6	Ulkoseinä 3, lämpökatko sekä installaatiotila	14
5.7	Eristeet	15
5.7.1	<i>Mineraalivilla eli lasi- ja kivivilla</i>	15
5.7.2	<i>Selluvilla eli puukuituvilla</i>	16
5.7.3	<i>Puukuitulevy</i>	16
5.8	Ilman- ja höyrynsulut	16
5.9	Tyvek-kangas	17

5.10	Tervapaperi	17
6	FYSIKAALISET OMINAISUUDET	18
6.1	Laskentaohjelma	18
6.2	Ohjelman laskentateoria	18
6.2.1	Lämmönläpäisykerroin $U$	18
6.2.2	Lämpötilat kerroksissa	19
6.2.3	Kyllästymiskosteus kerroksissa	19
6.2.4	Kosteusmäärä kerroksissa	19
6.2.5	Kondensaatio ja lämpöhäviön laskenta	20
6.3	Dof-lämpö-laskentaohjelmalla saadut tulokset seinärakenteille	21
6.3.1	Hirsirunko 1	21
6.3.2	Hirsirunko 2	28
6.3.3	Hirsiseinä 3	33
6.3.4	Ulkoseinä 1, lämpökatkotolpat	38
6.3.5	Ulkoseinä 2, lisälämmöneriste	40
6.3.6	Ulkoseinä 3, lämpökatko sekä installaatiotila	43
7	TULOKSET	46
8	YHTEENVETO	48
	VIITELUETTELO	50
	LIITTEET	
	<i>Liite 1, Energiatodistus</i>	

## 1 JOHDANTO

Rakentaminen ja elinympäristömme kehittyvät koko ajan. Luonnonvarojen säästäminen ja ekologisuus ovat saaneet suuren merkityksen nykyajan rakentamisessa. Haluamme vaikuttaa terveeseen elinympäristöön sekä kunolliseen asumiseen. Haluamme käyttää mahdollisimman paljon luonnonmukaisia ja kierrätyskelpoisia materiaaleja sekä välttää ylimääräistä luonnonkuormittamista ja päästöjä. Kehityksen kautta on päästy matala- ja passiivienergiatalojen rakentamiseen.

Tämän työn tavoitteena on tutkia matala- ja passiivienergiataloihin soveltuvia seinärakenteita ja niiden fysikaalisia ominaisuuksia. Ensisijaisesti halutaan tutkia soveltuvatko hirsirakenteet matala- ja passiivienergiatalojen seinärakenteeksi. U-arvon sekä kosteuspitoisuuksien määrittäminen ovat keskeisiä hirsirakenteiden toimivuutta arvioitaessa.

Työssä pyritään selvittämään, millaisia matala- ja passiivienergiatalot ovat. Näihin talotyyppeihin liittyy säädöksiä ja määräyksiä, joiden mukaan talot suunnitellaan ja valmistetaan. Jo suunnitteluvaiheessa pyritään löytämään luonnonmukaisia, energia- ja kustannustehokkaita sekä elinkaareltaan nykyistä parempia rakenteita ja kokonaisuuksia. Matala- ja passiivienergiataloilla pystytäänkin vähentämään mm. asumis-, energia- ja huoltokustannuksia ja erilaisia päästöjä. Rakenteiden lisäksi mm. LVI-laitteiden oikeat valinnat vähentävät rakennusten käyttökustannuksia pitkällä tähtäimellä.

Ekologisuus matala- ja passiivienergiataloissa on tämän päivän rakentamisen ydinasioita, joita sekä valmistajat että kuluttajat osaavat arvostaa. Valmistajille on kehitetty erilaisia tuotemerkintöjä, joiden avulla he voivat osoittaa kuluttajalle, että tuotteet on valmistettu ekologisesti raaka-aineen hankinnasta valmiin tuotteen vientiin asti.

Raaka-aineista puu on luonnostaan ekologinen, kierrätettävä sekä luonnonkuormitusta vähentävä materiaali ja sopii näin hyvin matala- ja passiivienergiatalojen rakennusmateriaaliksi. Tähän työhön valitaan kolme hirsirunkoista seinätyyppiä ja kolme tolpparunkoista puuseinää. Tolpparunkoisissa puuseinissä käytetään ratkaisuja, jotka estävät kylmien siltojen esiintymistä ja näin vähentävät energiakulutusta ja lämpöhäviöitä.

Rakenteissa käytetään eristeinä mm. mineraalivillaa, puukuituvillaa ja puukuitulevyjä. Tässä tutkimuksessa selvitetään eristeiden ja rakennusmateriaalien käyttötarkoitusta ja -ominaisuuksia. Koska puu on elävää ja kosteuteen helposti reagoivaa raaka-ainetta, rakennusmateriaalien ominaisuudet yhdessä kosteuden kanssa selvitetään. Työ käsittelee myös mm. ilman- ja höyrynsulun merkitystä rakenteessa.

Laskentaohjelman Dof-lämpö tavoitteena on arvioida rakenteen lämpö- ja kosteuskäyriä, kondensaatiomäärää, U-arvoja sekä energiankulutusta. Tässä työssä hyödynnetään dof-ohjelman käyttämää laskentateoriaa sekä kaavoja. Dof-lämpö-ohjelmalla saadut tulokset seinärakenteille käydään läpi, rakenteiden toimivuudet tarkastetaan ja tuloksia verrataan matala- ja passiivienergiatalojen määräyksiin ja standardeihin. Tutkimukset tehdään Suomen Helsingin ja Alankomaiden Maastrichtin olosuhteissa.



## 2 KÄSITELUETTELO

Ekologisuus	Luonnonmukaisuus. Luonnonvarojen säästäminen.
Elinkaariajattelu	Rakenteen tai rakennuksen kulku valmistuksesta loppusijoitukseen tai kierrätykseen.
Hirsirunkoinen	Seinärakenne, joka on tehty hirrestä.
Installaatiotila	Seinän sisäpintaan erillisellä levyllä luotu asennustila.
Kompensointi	Tasaaminen, parannetaan jotain vaipan osaa jos toinen kohta on heikko.
Kyllästymiskosteus	Tietyssä lämpötilassa, kastepisteessä, ilman sisältämä tietty määrä vesihöyryä eli kosteutta.
Kylmät sillat	Vuotokohta seinässä, josta lämpö pääsee ulos.
Lämmönjohtavuus	Rakennuksen vaipan (esimerkiksi seinän) läpi ulos menevän lämpövirran suuruus.
Lämmönläpäisykerroin U	Lämpövirran tiheyden suuruus, joka läpäisee rakennusosan.
Lämpöhäviö	Lämmön siirtyminen johtumalla rakenteen lävitse. Hukkaan menevä lämpö.
Lämpökatkotolppa	Seinärakenne, jos kantavat rakennusosat ovat katkaistu eristeellä ja estävät kylmän sillan.
Päästöluokka	Päästöjä aiheuttavien ryhmien luokittelu.
Tolpparunkoinen	Kantava seinä, jonka rakenteena ovat tolpparungot.
Vesihöyryn diffuusio	Höyrymolekyylien satunnainen liikkuminen ilmassa tai huokoisen aineen huokosissa.

### 3 MATALAENERGIA JA PASSIIVIENERGIATALOT

#### 3.1 Matala- ja passiivienergiatalot ja niihin siirtyminen

Matalaenergiatalolla tarkoitetaan rakennusta, joka energiatehokkaan rakennustapansa ansiosta kuluttaa vain puolet normaalit rakentamismääräykset täyttävän talon tarvitsemasta energiasta. Rakentamisvaiheessa huomioidaan entistä harkitummin mm. rakenteet, niiden toimivuus kokonaisuutena, talotekniikka ja sähkölaitteiden energiatehokkuus. Passiivienergiatalolla puolestaan tarkoitetaan taloa, jossa lämmönjakelu hoidetaan ilmanvaihtolaitteistolla ja näin siinä ei tarvita erillistä lämmitysjärjestelmää [1]. Passiivienergiatalon energiansäästö perustuu lämpöhäviöiden vähentämiseen lämmöneristämisen, rakenteiden ilmanpitävyyden ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton avulla. Passiivienergiatalossa voidaan käyttää hyödyksi myös ihmisten, ikkunoiden ja kodinkoneiden kautta syntyvää energiaa ja lämpöä [2].

Ympäristöministeriö on asettanut uudet rakennusten energiakulutusta koskevat vaatimukset. Ne koskevat uusien rakennusten lämmöneristystä, ilmanvaihtoa ja sisäilmastoa. Määräyksillä ja ohjeilla pyritään säästämään energiankulutusta 25 - 30 % aiempaan rakentamiseen verrattuna. Rakennuksen vaipan eli mm. ulkoseinien, kattojen ja ikkunoiden lämmöneristysvaatimuksia on kiristetty n. 30 % aiemmasta [3].

Rakennuslupaa varten vuoden 2008 alussa tuli myös laki energiatodistuksesta sekä ilmastointijärjestelmän ja kylmlaitteiden tarkastamisesta, katso liite 1. Samalla perinteinen tasauslaskin lämpöhäviön vaatimusten täyttämisestä jäi voimaan. Näillä asetuksilla varmistetaan, että rakennusten energiankulutus ja rakennusosat vastaavat vaatimuksia. Energiatodistusta laadittaessa kaavakkeeseen merkitään mm. rakennuksen *pinta-alatiedot*, *tilavuustiedot*, U-arvot, ilmanvaihto, vedenkulutus ja lämmitysjärjestelmät, joiden avulla lasketaan energiatehokkuusluku ET. ET-luvun avulla rakennukselle saadaan ET-luokka (A,B,C,D,E,F ja G). Matalaenergia- ja passiivienergiatalot kuuluvat luokkiin A ja B.

Energiatodistusta ei vaadita seuraavilta rakennustyypeiltä: pienet alle 50 m<sup>2</sup>:n rakennukset, vapaa-ajan eli enintään 4 kk vuodessa käytettävät asuinrakennukset, väliaikaiset enintään 2 vuodeksi tarkoitetut rakennukset, teollisuus- ja korjaamorakennukset, maatilarakennukset, joissa energiantarve on vähäinen tai joita koskee valtakunnallinen energiatehokkuussopimus, suojel-

lut rakennukset, kirkot ja vastaavat rakennukset, jo rakennetut omakotitalot ja enintään kuuden asunnon rakennukset.

Tällä hetkellä normaalin pientalon tilojen lämmitysenergiankulutus on noin 160 kWh/krs-m<sup>2</sup>, kun uusien määräyksien mukaan 1.10.2003 alkaen sen pitäisi olla 100 - 120 kWh/m<sup>2</sup>. Matalaenergiataloissa päästään energialuokassa A 40 kWh/m<sup>2</sup> ja luokassa B 60 kWh/m<sup>2</sup> [4].

### 3.2 Matalaenergiatalon kustannukset

Kustannusvaikutukset nykyiseen tasoon verrattuna ovat kohtalaisen pienet. Lämmöneristys- ja ilmanvaihtomääräysten aiheuttamat lisäkustannukset ovat keskimäärin 2,5 % ja maksimissaan 3-6 %. Rakennuksen käytön aikana nämä kustannukset säästetään energian kulutuksessa ja käyttökustannuksissa. Takaisinmaksuaika lämmöneristyksissä on keskimäärin 10-15 vuotta, ikkunoissa 5-10 vuotta ja muissa vaipanosissa 10-30 vuotta. Samalla saadaan etuina mm. rakenteiden parempi kestävyys, parempi sisäilma, ekologisuus ja kasvihuonekaasujen vähentäminen [3]. Tällä hetkellä Suomessa energiankulutuksesta kuluu rakennusten sähkönkulutukseen 12 % ja lämmitykseen 22 %. Koska energian hinta nousee jatkuvasti, laskee kulutuksen vähentäminen kokonaiskustannuksia merkittävästi.

Taulukko 1, Rakennusten energiankulutus [5]

#### RAKENNUSTEN ENERGIANKULUTUS

Kulutus	- >1970	- >1980	- >2003	Nykytalot	Matalaenergiatalot	Passiivitalot
Energia, joka tarvitaan hyvän sisäilman lämpötilan ylläpitämiseen, kWh/m <sup>2</sup> vuodessa						
Lämmitys	160- 220	160- 200	100- 160	70-120	40-60	20-30
Laitteistojen sähkölukutus, kWh/m <sup>2</sup> vuodessa						
Talotekniikka	20-30	20-30	20-40	20-30	10-30	10-20
Asukkaiden sähkölukutus, kWh/m <sup>2</sup> vuodessa						
Lämminvesi	20-60	20-60	20-60	20-50	20-30	15-25
Kotitaloussähkö	20-40	20-40	20-40	20-40	20-30	15-25
Yhteensä. kWh/m <sup>2</sup> vuodessa						
Asuminen	220- 350	220- 330	180- 300	130-240	90-150	600-100

Kotitaloussähkön ja lämpimän veden energiantarpeessa suuria eroja: käyttötottumukset, kodinelektronikka (taulutelevisio riittää ison olohuoneen lämmitykseen passiivitalossa)

Taulukosta 1 nähdään rakennusten energian kulutus vuosilta 1970, 1980, 2003 rinnastettuna matala- ja passiivenergiataloihin. Siitä nähdään että matala- ja passiivenergiatalojen energiankulutus on pienempää kuin aikaisem-

pina vuosina tai normaaleissa rakennuksissa. Passiivitalon energiankulutus on vähäisempää kuin matalaenergiatalojen, koska siinä ei tarvita erillistä lämmitysjärjestelmää.

### 3.3 Standardien täyttäminen

#### 3.3.1 Lämmöneristävyys, vaipan osat ja talotekniikka

Matala- ja passiivienergiatalojen standardeja voidaan täyttää erilaisilla keinoilla hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Tunnetuin näistä on lämmöneristävyden lisäys. Muita keinoja ovat mm. vaipan osien parantaminen (lämpöhäviö ja ilmanpitävyys), talotekniikka ja sähkölaitteiden energiatehokkuus.

Uudet vaatimukset rakennusosien U-arvoille ovat: seinärakenteet 0.24 w/m<sup>2</sup>K (aiemmin 0.25), yläpohjat 0,15 w/m<sup>2</sup>K ja lattiat 0.19 w/m<sup>2</sup>K (aiemmin 0.22), lattia vasten maata 0.24 w/m<sup>2</sup>K (aiemmin 0.36) sekä ikkunat ja ovet 1.4 w/m<sup>2</sup>K (aiemmin 2.1) [6].

Ikkunoissa tehokkuutta voidaan parantaa suuntaamalla ja valitsemalla ne siten, että auringon säteilylämpöä ja luonnonvaloa voidaan hyödyntää tehokkaasti. Käyttöveden lämmitysjärjestelmä on suunniteltava siten, että tarpeetonta energiankulutusta vältetään. Myös lämmitysjärjestelmä ja valaistusjärjestelmä on suunniteltava ja rakennettava energiatehokkaasti.

#### 3.3.2 Ilmanvaihto

Ilmanvaihtolaitteistot ovat oleellinen osa matala- ja passiivienergiatalojen toimivuutta. Esimerkiksi ilmalämpöpumpulla ja lämmön talteenottolaitteistolla saadaan huomattavia tuloksia. Ilmanpitävyys on rakenteissa ensisijaisen tärkeää.

Ilmalämpöpumpulla siirretään lämpöenergiaa ulko- ja sisäyksikön avulla ulkoilmasta sisäilmaan tai päinvastoin. Suunta määräytyy sen mukaan halutaanko tilaa lämmittää vai jäähdyttää. Ilmalämpöpumpun aiheuttamat lämmityskulut ovat alhaisemmat kuin normaalilla sähkölämmityksellä tapahtuvat lämmityskulut. Seitsemän lämpöasteen ulkolämpötilassa ilmalämpöpumpulla saadaan viisinkertainen hyöty sähkölämmitykseen verrattuna, eli yhdellä kilowattitunnilla saadaan siirretyksi yli 5 kilowattituntia lämpöä. Ulkoilman lämpötilan laskiessa ilmalämpöpumpun teho heikkenee ja näin ollen se on ihan-

teellinen varsinkin eteläisissä Suomen osissa. Kehittyneimmät pumput toimivat vielä -20°C:een lämpötiloissa, jolloin hyöty on lähes kaksinkertainen [7].

Taulukko 2, Esimerkki ilmalämpöpumpusta [8.]

<b>Esimerkilaskelma</b>					
<b>Ilmalämpöpumpusta</b>					
Sähkölämmitteinen talo, n. 120m <sup>2</sup> ja 4 henkilöä					
Sähkönkulutus kWh/vuosi	Taloussähkö kWh/vuosi	Lämminvesi kWh/vuosi	Lämminvesi kWh/vuosi	Säästö- kerroin	Lämmitys kWh/vuosi
20.000	5.000	4.000	= 11.000	2	11.000/2 = 5500
Suomessa keskimääräinen sähkölämmitteisen pientalon sähkönhinta 8,20 senttiä/kWh (Tilastokeskus 20.09.2007)					
Säästö kWh/vuosi	11.000 - 5500 = 5500 X 8,20 snt		= 451 €/vuosi		

Taulukko 2 havainnollistaa esimerkin kautta ilmalämpöpumpun taloudellisen kannattavuuden ja säästöt. Lämmön talteenottolaitteisto on koneellinen ilmanvaihtoyksikkö, joka lämmittää sisään tulevan kylmän ilman ulosmenevän poistoilman avulla. Sisään tuleva raitisilma johdetaan lämmön talteenottolaitteistoon, jossa se lämmitetään ulosmenevän poistoilman lämmöllä ennen siirtymistään huonetiloihin. Kesäaikaan tämä toiminto ohitetaan, jolloin huoneilma pysyy viileänä. Hyvä suunnittelu, riittävät ilman määrät, oikeat ilman nopeudet, äänenvaimentimet ja oikeantyyppiset venttiilit ratkaisevat laitteiston parhaan mahdollisen tuloksen [9].

## 4 EKOLOGINEN JALANJÄLKI

### 4.1 Ekologisuus

Ekologisuuden huomioon ottaminen on tärkeä osa tämän päivän rakentamista. Sen päämääränä on mahdollisimman vähäinen luonnonvarojen kuluttaminen. Rakennustoiminnassa ympäristövaikutuksia syntyy sekä tuotteiden valmistuksessa ja kuljetuksessa että rakennuksien käytön aikaisina ympäristökuormina. Käytön aikaisiin kuormituksiin kuuluvat mm. energian ja veden kulutus sekä hiilidioksidipäästöt.

Ekologisuuden lisäksi elinkaariajattelu on tärkeää. Uudet, rakentamista ohjaavat määräykset ja ohjeet edesauttavat ekologisen rakentamisen kehitystä. Kuluttajat ovat huomanneet ekologisuuden huomioinnin tärkeyden ja osaavat valita sellaisia tuotteita, jotka on suunniteltu asianmukaisella osaamisella.

Yritykset voivat edesauttaa tuotteittensa myyntiä ja kilpailukykyä ottamalla huomioon ekologiset ja ekotehokkaat vaihtoehdot. Näitä keinoja ovat oikein valitut raaka-aineet, joissa tuotteen elinkaaren aikainen energian- ja materiaalikulutus on vähäistä. Myös kuljetusmuotoja tehostamalla ja kuljetuksia vähentämällä voidaan lisätä ekotehokkuutta. Paljon voidaan vaikuttaa myös suunnittelemalla tuotteiden pakkaukset, käyttöikä ja tuotteiden huolettavuus sekä lopulta uudelleenkäyttöjärjestelmät mahdollisimman monet ekologiset vaihtoehdot huomioiden.

Suunnittelu- ja rakennusvaiheen ratkaisut vaikuttavat oleellisesti rakennuksen elinkaaren aikaisiin ympäristövaikutuksiin, toimivuuteen, hankinta-, ylläpito- ja huoltokustannuksiin, pitkään käyttöikään sekä jälleenmyyntiarvoon [10].

### 4.2 Elinkaariajattelu ja -arviointi

Elinkaariajattelu perustuu tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin raaka-ainelähteeltä valmistuksen ja jalostuksen kautta kulutukseen ja käytön jälkeen tapahtuvaan hyötykäyttöön. Hyötykäytöllä tarkoitetaan mm. kierrätystä, energiantuotantoa, uusiokäyttöä raaka-aineena tai loppusijoitusta kaatopaikalla. Elinkaaren aikana aiheutetaan erilaisia päästöjä ilmaan, veteen ja

maaperään sekä kuormitetaan luontoa materiaalin, veden ja energian käytössä.

Elinkaariarvioinnissa pyritään tutkimaan tuotteen tai palvelun koko elinkaaren aikaiset ympäristövaikutukset. Pyrkimyksenä on saada aikaan mahdollisimman vähän kuormittava tuote tai tuotantomenetelmä. Arvioinnin toteuttamisessa voidaan käyttää apuna standardisointijärjestön ISO:n 14040-sarjan standardeja [11].



Kuva 1, Tuotteiden elinkaari [12]

Kuvasta 1 näkyy tuotteiden elinkaari raaka-aineesta käyttöön ja loppusijoitukseen. Se havainnollistaa rakennustuotteiden kulkua ja vaiheita, jotka elinkaariajattelussa pitäisi ottaa huomioon.

#### 4.3 $\text{Co}^2$

Hiilidioksidipäästöt ( $\text{Co}^2$ ) ovat suurimpia maanpallon lämpenemisen aiheuttajia.

Suomessa hiilidioksidipäästöt ovat otettu vakavasti, ja vuoteen 2010 jatkuville ohjelmilla valtiovalta tukee ja edistää toimenpiteitä, joilla uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä korvataan uusiutuvilla luonnonvaroilla. Tämä koskee myös rakennusala ja on saatu merkittäviä tuloksia siitä, että puun käyttö tukee tämänlaista toimintaa [13].

Rakennukset aiheuttavat Suomen kasvihuonepäästöistä tällä hetkellä 30 %. Luku on pienentynyt viimeisen 30 vuoden aikana rakennusten paremman eristystason sekä kerros- ja rivitaloasumisen suosion kasvamisen ansiosta [14].

Vuonna 1990 rakennusten lämmittäminen sekä kala-, maa- ja metsätalouden päästöluokka aiheuttivat hiilidioksidipäästöjä 7,04 Tg Co<sup>2</sup>. Seuraavina vuosina päästöt ovat pienentyneet ja vuonna 2006 luku oli 5,04 [15]

#### 4.4 RT-ympäristöohje

Rakennushankkeeseen tehtävillä valinnoilla on merkitystä rakennuksen elinkaarella syntyviin päästöihin. Rakennusten lämmöntuottotapa vaikuttaa rakennusten aiheuttamiin ilmastovaikutuksiin. Erityisesti ilmastovaikutukset näkyvät ilmaston lämpenemisessä sekä happamoitumisessa.

Päästöjä varten on kehitetty erilaisia ohjeita ja selosteita. Yksi näistä on RT-ympäristöseloste. RT-ympäristöselosteet perustuvat standardien ISO 14020 ja ISO 14040 kansalliseen menetelmäohjeeseen ja sen tarkoituksena on edistää rakentamista, joka perustuu elinkaariominaisuuksiltaan kestäviin ja ekologisiin ratkaisuihin. RT-ympäristöseloste tukee rakennusten ja rakennusmateriaalien elinkaariajattelua tuotteen valmistuksesta uudelleen sijoittamiseen sekä päästöjen vähentämistä ja terveellistä asumista.

Rakennusosatyyppien ja kokonaisten rakennusten ympäristöselosteet selvittävät energian kulutusta sekä keskeisiä ilmastovaikutuksia 50 vuoden tarkasteluajanjaksolla. Seloste antaa näkemystä myös rakennuksien ja rakennusosien elinkaaresta. Elinkaaren päävaiheita RT-ympäristöselosteissa ovat rakentaminen, käytön aikainen rakennusosien kunnossapito, käytön aikainen kiinteistönhoito sekä purku. Rakentamisen vaihe sisältää raaka-aineiden hankinnan, rakennustarvikkeiden valmistuksen sekä itse rakentamisen. Käyttövaihe käsittää kiinteistönhoidon ja kunnossapidon aiheuttamat ympäristökuormitukset. Kiinteistönhoito sisältää lämmitys- ja sähköenergian kulutuksen sekä tontin liikennealueiden talvikunnossa pidosta aiheutuvat ympäristökuormitukset.

Ympäristöselosteissa tarkasteltaviksi ympäristöominaisuuksiksi on valittu energia ja raaka-aineet sekä päästöt. Energia ja raaka-aineilla tarkoitetaan mm. uusiutumaton energiaa, uusiutuvaa energiaa, tuotteisiin varastoitunut-



ta energiaa, uusiutumattomia raaka-aineita sekä uusiutuvia raaka-aineita. Päästöillä tarkoitetaan ilmaston lämpenemistä, tuotteisiin varastoitunutta hiilidioksidia, happamoitumista ja oksidanttien muodostumista [16].

#### 4.5 FSC

FSC on ympäristöjärjestöjen hyväksymä kansainvälinen merkitsemisjärjestelmä puutavaralle. Tämä merkintä varmistaa, että metsiä on hoidettu hyväksytyjen sosiaalisten, ekologisten ja taloudellisten kriteerien mukaan. Kuluttaja voi varmistua, että hänen ostamansa tuotteet eivät ole aiheuttaneet metsien tuhoutumista tai luonnon köyhtymistä. FSC-merkinnän käyttäminen on valmistajalle vapaaehtoista.

Ympäristömerkinnän saaminen on maksullista, joten kaikilla pienyrityksillä ei ole varaa käyttää merkintää. Suomessa FSC-merkinnän käyttö on vielä suhteellisen harvinaista, mutta se ei välttämättä tarkoita sitä etteivätkö yritysten tuotteet vastaisi merkinnän vaatimuksia.

FSC-merkintää edistävät myös useat järjestöt, joista mainittavimmat ovat WWF, FSC eli Forest Stewardship Council ja Suomen FSC yhdistys [17].

## 5 SEINÄRAKENTEET

### 5.1 Hirsirunko 1, symmetrinen tuplahirsirunko

Ensimmäinen tutkittava hirsiseinärakenne muodostuu symmetrisestä tuplahirsirungosta, jossa hirsien väliin tulee eristekerros sekä k1000 välein vuorotellen pystyranka ja sidosseinä.

Rakenne:

- Höylähirsi 70 mm
- Sidosseinä 70 mm ja pystyranka 45 mm k1000 sekä selluvilla 250 mm
- Höylähirsi 70 mm

### 5.2 Hirsirunko 2, tuplahirsirunko ilma-araolla

Toinen tutkittava hirsiseinä muodostuu samanlaisesta sidosseinä-rakenteesta kuin hirsiseinä 1, mutta rakenteessa käytetään mineraalivillaa, tuulensuojalevyä sekä ilma-arakoa.

Rakenne:

- Höylähirsi 70 mm
- Sidosseinä 70 mm ja pystyranka 45 mm k1000 sekä mineraalivilla 250 mm
- Huokoinen tuulensuojalevy 12 mm
- Ilmarako 20 mm
- Höylähirsi 70 mm

### 5.3 Hirsirunko 3, paneloitu hirsiseinä

Kolmas tutkittava hirsiseinä muodostuu lisäeristetystä yksinkertaisesta hirsiseinästä, jossa on hirsipanelointi.

Rakenne:

- Hirsipaneli 20 mm
- Höyrynsulkumuovi
- Pystyranka 45 x 145 mm k 600 sekä mineraalivillalevy 150 mm
- Tervapaperi
- Hirsi 95 mm ilman tiivisteitä

### 5.4 Ulkoseinä 1, lämpökatkotolpat

Ulkoseinä 1 on tolpparunkoinen puuseinä, jossa on käytetty lämpökatkotolppia. Rakenteeseen ei pääse syntymään niin sanottuja kylmäsiltoja.

Rakenne:

- Pintakäsittely, esimerkiksi maalaus ja suojakäsittely
- Ulkoverhous 28 mm, kuusi
- Tuulettuva ilmarako 25 mm ja ulkoverhouksen kiinnityskoolaus 25 x 25 mm k600
- Tuulensuoja 25 mm, huokoinen puukuitulevy
- Lämmöneriste 260 mm, puukuitueriste, kantava tolpparunko sekä lämpökatkotolpat k600
- Ilman- ja höyrynsulku, 0.2 mm, muovikalvo
- Sisäverhous, esimerkiksi kipsilevy 13 mm
- Pintakäsittely, esimerkiksi maalaus [18.]

### 5.5 Ulkoseinä 2, lisälämmöneriste

Ulkoseinä 2 on lisälämmöneristetty tolpparunkoinen puuseinä. Rakenteeseen ei pääse syntymään niin sanottuja kylmäsiltoja.

Rakenne:

- Pintakäsittely, esimerkiksi maalaus ja suojakäsittely
- Ulkoverhous 28 mm, kuusi
- Tuulettuva ilmarako 25 mm ja ulkoverhouksen kiinnityskoolaus
- Tuulensuojakankaalla varustettu pontattu mineraalilevy, 60 mm
- Jäykistelevy 25 mm, esim. kipsilevy, lisäeristeen asennustuki
- Lämmöneriste 172 mm, puukuitueriste, kantava tolpparunko 48 x 172 mm k600
- Ilman- ja höyrynsulku, 0.2 mm, muovikalvo
- Sisäverhous, esimerkiksi kipsilevy 13 mm
- Pintakäsittely, esimerkiksi maalaus [18.]

### 5.6 Ulkoseinä 3, lämpökatko sekä installaatiotila

Ulkoseinä 3 on tolpparunkoinen puuseinä, jonka sisäpintaan on varattu installaatiotila mm. sähköasennuksille. Rakenteeseen laitetaan huokoinen puukuitulevy lämmöneristeen sisäpuolelle toimimaan lämpökatkona. Rakenteeseen ei pääse syntymään niin sanottuja kylmäsiltoja.

Rakenne:

- Pintakäsittely, esimerkiksi maalaus ja suojakäsittely
- Ulkoverhous 28 mm, kuusi
- Tuulettuva ilmarako 25 mm ja ulkoverhouksen kiinnityskoolaus
- Tuulensuoja, huokoinen puukuitulevy, 25 mm

- Lämmöneriste 220 mm, puukuitueriste, kantava tolpparunko 48 x 220 mm k600
- Ilman- ja höyrynsulku, 0.2 mm, muovikalvo
- Rungon lämpökatko sekä ilman- ja höyrynsulun suojalevy 22 mm, huokoinen puukuitulevy
- Pystykoolaus 32x 32 k 600, rima 50x32 rungon kohdalla
- Sisäverhous, esimerkiksi kipsilevy 13 mm
- Pintakäsittely, esimerkiksi maalaus [18.]

## 5.7 Eristeet

### 5.7.1 *Mineraalivilla eli lasi- ja kivivilla*

Mineraalivilla on yleisin käytetty lämmöneriste. Mineraalivilla muodostuu sulasta lasi- tai kiviaineesta saaduista synteettisistä kuiduista. Mineraalivillaa voidaan kutsua siis myös kivivillaksi ja lasivillaksi.

Kivivilla voidaan valmistaa sekä teollisuusjätteestä tehdyistä kuonavilloista että luonnonkivistä.

Mineraalivillalla on myös nimitys vuorivilla, joka on erään valmistajan käyttämä tuotenimi. Vuorivilla on kivivillaa, jossa on sekoitettuna useita eri kivilajeja [19, s. 500 - 503].

Lasivilla sisältää noin 60 - 80 % kierrätyslasia.

Mineraalivillan eristävyys perustuu sen sisällä paikallaan pysyvään ilmaan. Sen lämmönjohtavuus on  $0.046 \text{ W/k}^2\text{m}$  ja tiheys  $15 - 400 \text{ kg/m}^2$ . Se on vettä hylkivää, palamatonta, ilmaa ja höyryä läpäisevää sekä ääntä vaimentavaa [20].

### 5.7.2 Selluvilla eli puukuituvilla

Selluvilla kuuluu puuaineisiin eristeisiin. Se valmistetaan puuhiokkeesta tai jätepaperista. Siihen lisätään boorimineraaleja ehkäisemään sienikasvustojen syntymistä sekä parantamaan palonkestävyyttä.

Selluvillaa käytetään vapaisiin yläpohjiin, onteloyläpohjiin, välipohjiin, alapohjiin sekä seinien lämmöneristeeksi. Se laitetaan rakenteeseen ruiskuttamalla, jolloin se täyttää pienimmätkin kolot ja hankalat paikat. Sen yhtenä ominaisuutena betoni- ja teräsrakenteissa on melun ja kaikumisen vaimentaminen.

Selluvilla on palava, mutta paloa levittämätön materiaali. Sen huonona puolenä on mahdollinen painuminen, jonka vuoksi eristekerros kannattaa tarkistuttaa muutaman vuoden päästä. Se on suojattava kosteudelta rakentamisvaiheessa sekä rakenteessa. Se on ilmaa läpäisevä ja sen lämmönjohtavuus on  $0,041 \text{ W/k}^2\text{m}$  [20].

### 5.7.3 Puukuitulevy

Puukuitulevyn raaka-aineena käytetään jätetuuta. Puukuitulevyt jaotellaan huokoisiin, puolikoviin ja koviin kuitulevyihin. Levyn lämmöneristyskyky paranee huokoisuuden lisääntyessä. Huokoisten levyjen eristyskyky n.  $0.550 \text{ W/m}^2\text{k}$ . Kovat puukuitulevyt ovat ohuempia kuin huokoisemmat, joten niiden ominaisuudet lämmöneristeinä ovat heikompia. Levyt toimivat myös akustoivina levyinä ja verhoilulevyinä [20].

## 5.8 Ilman- ja höyrynsulut

Ilmansulku tarkoittaa ainekerrosta, jonka tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus rakenteen toiselta puolelta toiselle. Sen tulisi aina olla rakennuksen ulkovaipassa ja tiiviisti kiinni lämmöneristeessä. Ilmansulku estää kosteuden kulkeutumisen rakenteessa ilmavirtauksen mukana ja hallitsee ilmanvaihtoa sekä painesuhteita ulko- ja sisäpuolen välillä. Se estää ylimääräistä lämmönkulutusta ja parantaa ilmanääneneristävyyttä.

Ilmansulku tehdään yleensä ilmansulkupaperista tai kalvomaisesta tuotteesta. Ilmansulun on ehdottomasti oltava ehjä ja se on asennettava limittäin vuotokohtien poistamiseksi. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää rakennuslevyä,

jos varmistetaan siitä, että ne ovat tiiviisti toisissaan kiinni ja ilmanpitävyys toimii.

Höyrynsulun tehtävänä on estää haitallisen vesihöyryn diffuusio rakenteeseen ja rakenteessa. Diffuusio tarkoittaa vesihöyrymolekyylien siirtymistä ilmassa tai huokoisessa aineessa alenevan vesihöyrypitoisuuden suuntaan. Höyrynsulkua tarvitaan rakennuksen ulkovaipoissa ja sisätiloissa esimerkiksi kosteissa tiloissa. Sen normaali paikka on lämmöneristeen lämpimällä puolella sisäverhouksmateriaalin alla. Höyrynsulku voidaan toteuttaa muovikalvolla, mutta kalvon on oltava SFS 4225 luokka E, eli hyvin kosteuden ja lämpötilavaihteluiden kestävä. Se voidaan tehdä myös rakennuslevyillä tai sisäverhouksen pinnoituksella [21].

## 5.9 Tyvek-kangas

Tyvek-kangas on vesihöyryä läpäisevä tuulensuoja. Se on vesi- ja tuulitiivis, hengittävä ja kevyt ja se on nopea ja vaivaton asentaa. Sillä on suuri repeäisyjuuus [22].

Yläpohjissa käytettynä tyvek-kangas mahdollistaa kattoeristeen asennuksen täyteen paksuuteen ilman perinteisen aluskatteen ja lämmöneristeen välistä tuuletusrakoa. Tyvek-kankaan käyttö Suomessa on vielä aika harvinaista.

## 5.10 Tervapaperi

Tervapaperi oli aikaisemmin kivihiilitervalla kyllästettyä pahvia ja paperia, mutta nykyisin se on pääsääntöisesti bitumikäsiteltyä paperia. Sitä käytetään puutalojen ulkopuolisena tuulitiivisteinä. Vesihöyryn läpäisevyydeltään se kuuluu luokkaan heikosti läpäisevät tiivisteet.

## 6 FYSIKAALISET OMINAISUUDET

### 6.1 Laskentaohjelma

Valittuja tutkittavia rakennetyyppejä tutkitaan D.O.F. Tech Oy:n kehittämällä ohjelmalla dof-lämpö. Ohjelmalla voidaan arvioida rakenteen lämpö- ja kosteuskäyriä, kondensaatiomäärä, U-arvo sekä energiankulutusta.

Seinäarakenteet lasketaan neliömetrin suuruiselta alueelta eristyskerroksen kohdalta ja lämpötiloiksi on valittu ohjelman automaattisesti antamat arvot. Lämpötila- ja kosteuskalkelmissa tarkasteluhetkiksi on valittu tammikuun olosuhteet. U-arvolaskelmat ovat tehty rakennusmääräyskokoelman mukaisilla U-arvoilla ja kosteuskäyttäytymistä koskevat kosteuskalkelmat lambda:n,  $\lambda$ , arvoilla. Laskelmat hirsirakenteille tehdään Suomen Helsingin ja Alankomaiden Maastrichtin olosuhteissa. Tolpparunkoiset seinäarakenteet tutkitaan Helsingin olosuhteissa.

### 6.2 Ohjelman laskentateoria

#### 6.2.1 Lämmönläpäisykerroin $U$

Lämmönläpäisykerroin ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on tietyn suuruinen.

$$U = 1/M_T \quad (\text{W/m}^2\text{K})$$

Kokonaislämmönvastus  $MT$  saadaan kaavasta:

$$R_T = (W_{\text{lower}} * R_T'' + W_{\text{upper}} * R_T') / (W_{\text{lower}} + W_{\text{upper}})$$

$R_T''$  = lämmönvastuksen alaraja-arvio

$R_T'$  = lämmönvastuksen yläraja-arvio

$W_{\text{lower}}$  = alarajan painotuskerroin

$W_{\text{upper}}$  = ylärajan painotuskerroin

$W_{\text{lower}}$  ja  $W_{\text{upper}}$  vaikuttavat vain, mikäli rakenteessa on kylmäsiltoja, joten niitä ei ole huomioitu tämän työn laskelmissa.

$$R_T'' = R_{\text{si}} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{\text{su}}$$



$$R_j = d_j/\lambda_j \text{ ja } \lambda_j = f_a * \lambda_{aj} + f_b * \lambda_{bj} + \dots + f_q * \lambda_{qj}$$

$$R_T' = 1/(f_a/R_{Ta} + f_b/R_{Tb} + \dots + f_q/R_{Tq})$$

$R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tq}$  = kokonaislämmönvastuksia eri alueilla ( joissa eri rakennekerrokset)

$F_a, f_b, f_q$  = suhteellisia pinta-aloja eri alueille [23.]

### 6.2.2 Lämpötilat kerroksissa

Lämpötilat kerroksittain homogeenisille rakenteille ajasta riippumatta saadaan kaavasta:

$$t_x = t_s - (\sum_x^{mi} / M) * (t_s - t_u)$$

$M$  = rakenneosan lämmönvastus

$t_s$  = sisäilman lämpötila (°C)

$t_u$  = ulkoilman lämpötila (°C)

$t_x$  = tarkastelevan pinnan x lämpötila (°C)

$\sum_x^{mi}$  = kerroksien lämmönvastuksien summa sisältä tarkasteltavaan kerrokseen [23.]

### 6.2.3 Kyllästymiskosteus kerroksissa

Rakenteen kyllästymiskosteus on suoraan verrannollinen rakenteen kerroksien lämpötiloihin. Ohjelma laskee kyllästymiskosteuden kerrosten lämpötilojen ja taulukkoarvojen avulla. Mikäli sopivaa taulukkoarvoa ei löydy, saadaan kyllästymiskosteus laskettua kaavasta:

$$P_{sat} = 610.5 * \Theta^{((17.269 * \Theta)/(237.3 + \Theta))} \quad \text{kun } \Theta \geq 0 \text{ °C}$$

$$P_{sat} = 610.5 * \Theta^{((21.875)/(265.5 + \Theta))} \quad \text{kun } \Theta \leq 0 \text{ °C [23.]}$$

### 6.2.4 Kosteusmäärä kerroksissa

Rakenteen kerroksien kosteuspitoisuus lasketaan kaavasta:

$$\gamma_x = (\sum_x^{DV} / \sum_n^{DV}) * (\gamma_s - \gamma_u)$$

$\gamma_s$  = sisäilman kosteuspitoisuus (g/m<sup>3</sup>)

$\gamma_u$  = ulkoilman kosteuspitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

$\gamma_x$  = tarkasteltavan pinnan x kosteuspitoisuus ( $\text{g/m}^3$ )

$\sum_x^{DV} i$  = kerroksien diffuusiovastusten summa sisäpinnasta tarkasteltavaan kerrokseen

$\sum_n^{DV} i$  = kerroksien diffuusiovastusten summa sisäpinnasta ulkopintaan

$DV_i = d_i/s_i$  = vesihöyryn vastus kerroksessa i

$d_i$  = kerroksen i paksuus

$s_i$  = kerroksen i vesihöyryn läpäisevyys ( $\text{gm/Nh}$ )

Jos kosteusmäärä on suurempi kuin kyllästymiskosteus, rakenteessa tapahtuu tiivistymistä [23].

#### 6.2.5 Kondensaatio ja lämpöhäviön laskenta

Ohjelma arvioi kondensaation määrää esistandardin prEN ISO 13788 kaavoilla. Kondensoituminen tarkoittaa vesihöyryn tiivistymistä eli muuttumista takaisin nesteeksi.

Tarkasteluhetken lämpöhäviö lasketaan kaavasta:

Lämpöhäviö =  $k \cdot (\text{sisätilan lämpötila} - \text{ulkotilan lämpötila}) \cdot \text{kesto}$

Kokonaishäviö on tarkasteluhetkien summa kerrottuna rakenteen pinta-alalla. Vain ulospäin menevät lämpöhäviöt otetaan huomioon [23].

## 6.3 Dof-lämpö-laskentaohjelmalla saadut tulokset seinärakenteille

### 6.3.1 Hirsirunko 1

Taulukko 3, Hirsiseinä 1, Lämpötila ja kosteusarvot

Rakennuskohde:	Sisältö: Symmetrinen tuplahirsi seinä	
Suunnittelija: Anna Junikka	Päiväys: 24.11.2008	Tunnus: Hirsiseinä 1

<b>Rakenteen päätiedot:</b> U-arvo: 0.137 W/m <sup>2</sup> K Paksuus: 390.000 mm Pinta-ala: 1.00 m <sup>2</sup> Paino: 70.35 kg Hinta: 0.00 euro  Vesihöyryn vastus: 14661.376 m <sup>2</sup> hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 0.000068 g/m <sup>2</sup> hPa Lämmönvastus: 7.298 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, ulko: 0.070 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m <sup>2</sup> K/W Kulma (0-90): 90.000	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS: T [mm]: LJ [W/mK]: VHL [gm/Nh]: Hinta [e/m3]: Paino [kg/m3]: 1 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00 2 Selluvilla 250.00 0.0410 3.780000e-04 0.00 35.00 3 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00					

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>	Tammikuu (744.0 h)				
Piste: T [C]: KK [g/m3]: KM [g/m3]: SK [%]: C [g/m2]: U -5.70 3.15 2.68 85.0 0.00 1 -5.45 3.22 2.68 83.3 0.00 2 -3.69 3.69 5.53 100.0 55.30 3 17.78 15.18 5.80 38.2 0.00 4 19.54 16.84 8.64 51.3 0.00 S 20.00 17.28 8.64 50.0 0.00					

<b>Lisätiedot:</b> Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta.
--

**Tiivistymis- / homevaara ! (SK\_max = 100.0 %)**  
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

D:\Koulu\Insinööriyö\hirsiseinä 1.LAM

Ohjelma laskee hirsiseinä 1:n U-arvoksi 0.137 W/m<sup>2</sup>K, joka täyttää sallitun 0.25 W/m<sup>2</sup>K arvon. Rakenteen paksuudeksi saadaan 390 mm ja painoksi 70.35 kg/m<sup>2</sup>. Taulukosta 3 nähdään myös rakenteen vesihöyryn vastus, vesihöyryn läpäisykerroin ja lämmönvastus. Nämä arvot ovat hirsirakenteisella

seinällä hieman suuremmat kuin esimerkiksi normaalilla puurunkoisella sisältä tuulettuvalla seinärakenteella.

Tutkimus on tehty tammikuun lämpötiloilla, ulkoilma  $-5,7\text{ °C}$  ja sisäilma  $+20\text{ °C}$ . Rakenne pääsee plusasteiden puolelle heti eristeen sisemmän pinnan ja hirren välissä, jolloin lämpötila on  $+17,78\text{ °C}$ .

Suhteellinen kosteus rakenteessa tammikuun aikana on uloimman hirren ja eristeen välissä 100 %. Kyllästymiskosteus rakenteessa on  $3,69\text{ g/m}^3$  ja kosteusmäärä  $3,69\text{ g/m}^3$ . Toimivassa rakenteessa kosteusmäärän arvon ei pitäisi ylittää kyllästymiskosteuden arvoa. Jos näin käy, tulee rakenteeseen mahdollinen kosteus- ja homevaara. Alla olevasta taulukosta 4 nähdään, että kun suhteellinen kosteus ylittää kriittisen suhteellisen kosteuden arvon, puun lahoaminen ja eristeen kastuminen on todennäköistä.

Taulukko 4, Kriittisiä kosteuksia [24]

Kriittisiä kosteuksia:		
SK <sub>kr</sub> -%		
60	Teräs ruostuu	Suojaamaton teräs ruostuu ulkoilmassa
80	Puu lahoaa	Lämpötilat $+3 - +45\text{ °C}$
75	Homeen synty	Lämpötilat $+3 - +45\text{ °C}$
95	Muovimattojen turpoaminen	Hajuhaitat, emissiot
95	Liimojen tartunta heikkenee	Hajuhaitat, emissiot
SK <sub>-%</sub> >SK %		

Tässä rakenteessa 100 % suhteellisen kosteuden kohdalla kosteusmäärä on  $5,53\text{ g/m}^3$ . Yleisesti voidaan sanoa, että alle  $10\text{ g/m}^3$  ei pitäisi aiheuttaa kosteusongelmaa.

Puu on elävä ja hengittävä materiaali. Puu on erittäin kostea kaadettaessa ja sitä kuivatetaan ennen käyttöönottoa. Kylmissä ja märissä sääolosuhteissa se saattaa kuitenkin sitoa itseensä kosteutta, jonka se ulkoilman kuivuesssa ja lämmitessä luovuttaa pois.

Selluvilla eli puukuituvilla on kosteutta sitova ja hengittävä materiaali. Sen kanssa ei tarvitse käyttää höyrynsulkua. Puukuituvillassa on vettä sekä kuitujen sisällä nesteinä että ilmassa vesihöyrynä. Se ei aiheuta kuitenkaan kylmäsiltaa, koska vesi ei tiivisty puukuituvillan pintaan. Tyyppihyväksynnän mukaan selluvillassa saa olla 12 % kosteus, jopa 20 % kosteus ei aiheuta ongelmaa [19, s.504 – 508].

Koska käytössä olevat materiaalit ovat ominaisuuksiltaan hengittäviä ja pienen määrän kosteutta kestäviä, hirsiseinä 1 on toimiva rakenne.

Taulukko 5, Hirsiseinä 1 Lämpötila ja kosteusarvot huhtikuussa

Rakennuskohde:	Sisältö: Symmetrinen tuplahirsi seinä	
Suunnittelija: Anna Junikka	Päiväys: 25.11.2008	Tunnus: Hirsiseinä 1

<b>Rakenteen päätiedot:</b> U-arvo: 0.137 W/m <sup>2</sup> K Paksuus: 390.000 mm Pinta-ala: 1.00 m <sup>2</sup> Paino: 70.35 kg Hinta: 0.00 euro  Vesihöyryn vastus: 14661.376 m <sup>2</sup> hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 0.000068 g/m <sup>2</sup> hPa Lämmönvastus: 7.298 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, ulko: 0.070 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m <sup>2</sup> K/W Kulma (0-90): 90.000	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>	Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)				
KERROS: T [mm]: LJ [W/mK]: VHL [gm/Nh]: Hinta [e/m3]: Paino [kg/m3]: 1 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00 2 Selluvilla 250.00 0.0410 3.780000e-04 0.00 35.00 3 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00					

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>	<b>Huhtikuu (720.0 h)</b>					<b>Lisätiedot:</b> Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta.
Piste: T [C]: KK [g/m3]: KM [g/m3]: SK [%]: C [g/m2]: U 3.10 6.02 4.52 75.0 0.00 1 3.26 6.09 4.52 74.2 0.00 2 4.42 6.59 6.49 98.5 0.00 3 18.54 15.88 6.67 42.0 0.00 4 19.70 16.99 8.64 50.9 0.00 S 20.00 17.28 8.64 50.0 0.00						

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

D:\Koululu\Insinööri\hirsiseinä 1 kesällä.LAM

Rakennetyypistä huhtikuussa otettu vertailtava taulukko 5 näyttää, että kuivempina kesäkausina kosteusongelmien uhka on poistunut kokonaan rakenteesta. Kyllästymiskosteuden arvot ovat suurempia kuin kosteusmäärän ja suurin suhteellinen kosteus on alle 100 %. Tällöin rakenne on täysin toimiva.

Taulukko 6, Hirsiseinä 1 Lämpötila ja kosteusarvot, Alankomaat Maastricht

Rakennuskohde:	Sisältö: Symmetrinen tuplahirsi seinä	
Suunnittelija: Anna Junikka	Päiväys: 13.12.2008	Tunnus: Hirsiseinä 1

<b>Rakenteen päätiedot:</b> U-arvo: 0.137 W/m <sup>2</sup> K Paksuus: 390.000 mm Pinta-ala: 1.00 m <sup>2</sup> Paino: 70.35 kg Hinta: 0.00 euro  Vesihöyryn vastus: 14661.376 m <sup>2</sup> hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 0.000068 g/m <sup>2</sup> hPa Lämmönvastus: 7.298 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, ulko: 0.070 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m <sup>2</sup> K/W Kulma (0-90): 90.000	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b> KERROS: T [mm]: LJ [W/mK]: VHL [gm/Nh]: Hinta [e/m <sup>3</sup> ]: Paino [kg/m <sup>3</sup> ]: 1 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00 2 Selluvilla 250.00 0.0410 3.780000e-04 0.00 35.00 3 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00	<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>
--	--

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b> Piste: T [C]: KK [g/m <sup>3</sup> ]: KM [g/m <sup>3</sup> ]: SK [%]: C [g/m <sup>2</sup> ]: U 2.00 5.58 4.91 88.0 0.00 1 2.17 5.65 4.91 86.9 0.00 2 3.41 6.15 6.69 100.0 20.15 3 18.45 15.79 6.86 43.5 0.00 4 19.68 16.97 8.64 50.9 0.00 S 20.00 17.28 8.64 50.0 0.00	<b>Tammikuu (744.0 h)</b> Lisätiedot: Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta.
---	--

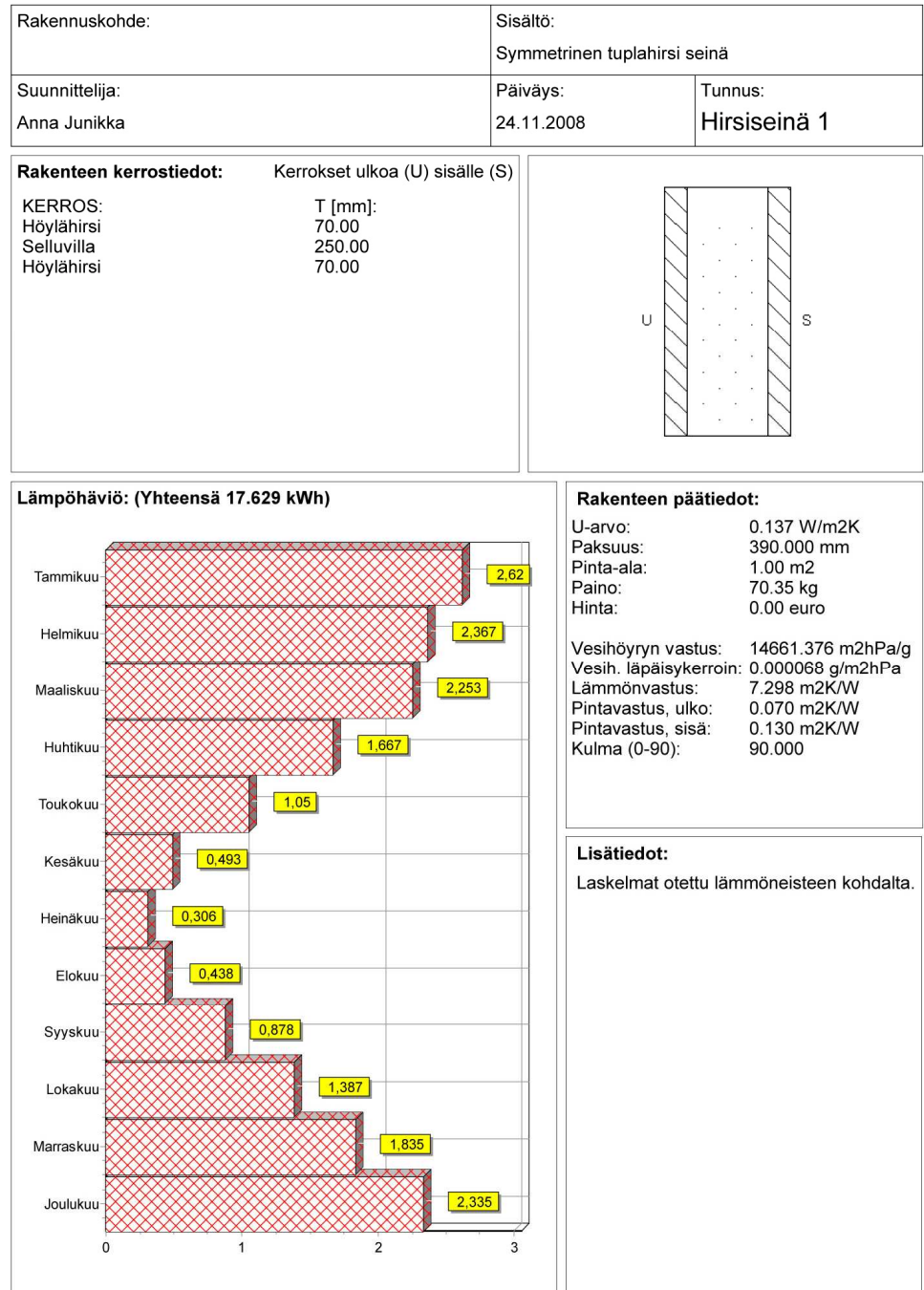
**Tiivistymis- / homevaara ! (SK\_max = 100.0 %)**  
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

D:\Koulu\Insinööriyö\hirsiseinä 1 alankomaat.LAM

Taulukko 6 on tehty Alankomaiden Maastrichtin olosuhteissa. Taulukosta voimme päätellä, että rakenteella on myös Alankomaiden lämpötiloissa samanlainen kosteuskäyttäytyminen kuin Suomen olosuhteissa. Lämpötilat ovat tammikuussa plussan puolella, mutta silti kosteudenmäärä ylittää kylästäymiskosteuden määrän. Kosteusmäärät pysyvät sallituissa rajoissa eli alle 10 g/m<sup>3</sup>, joten rakenne on toimiva myös Alankomaissa. Maastricht on le-

veyspiireiltään samalla tasolla kuin Keski-Saksan osat jolloin voimme päätellä että rakenne toimisi myös Saksassa.

Taulukko 7, Hirsiseinä 1 Lämpöhäviöt



D:\Koulu\Insinööri\hirsiseinä 1.LAM

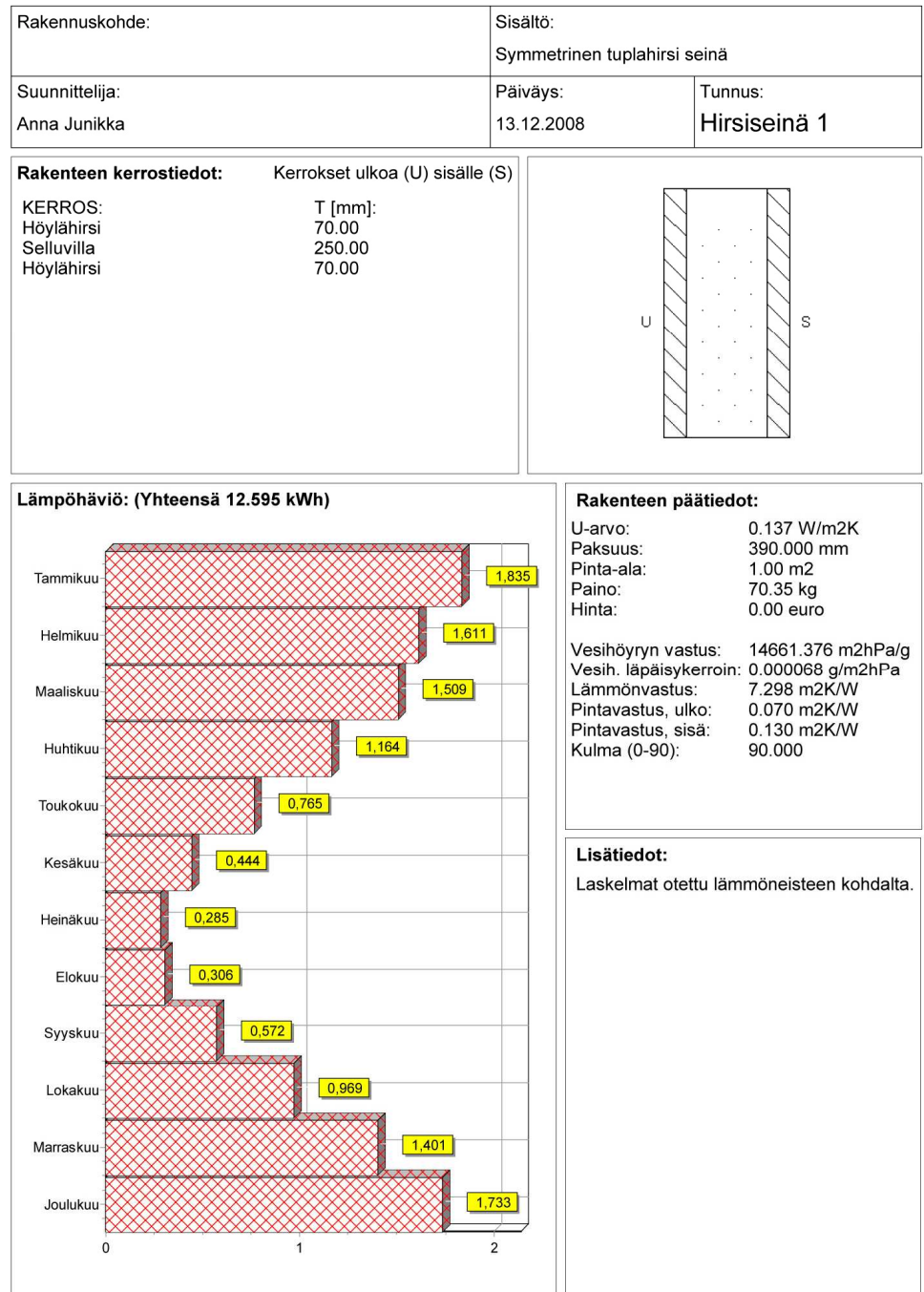
Taulukosta 7 näemme rakenteen lämpöhäviöt jokaiselta kuukaudelta. Lämpöhäviöiden laskennassa selvitetään, kuinka paljon lämpöä siirtyy johtumalla rakenteiden lävitse ja menee niin sanotusti hukkaan. Suunniteltavan rakenteen vaipan lämpöhäviön täytyy olla pienempi kuin vastaavanlaisen ver-

tailurakennuksen laskennallinen lämpöhäviö. Yksittäisen rakenneosan lämpöhäviö lasketaan kertomalla sen pinta-ala U-arvolla. Laskennallinen maksimi U-arvo on  $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lämpöhäviöitä voidaan kompensoida parantamalla muiden rakenneosien u-arvoa [25].

Hirsirakenne 1 suurin lämpöhäviö on 2.62 kWh tammikuun aikana. Laskennallisesti se ylittää sallitun lämpöhäviön rajan, mutta kesäkuukausien luvut ovat sallittuja. Koska laskelmat ovat otettu vain neliön alueelta, eivät ne vastaa valmiin kokonaisen rakenteen arvoja. Kompensoimalla ikkunoita, yläpohjaa ja alapohjaa, hirsiseinä 1 on sallittu rakenne.



Taulukko 8, Hirsiseinä 1 Lämpöhäviöt, Alankomaat Maastricht



D:\Koulu\Insinööri\Hirsiseinä 1 alankomaat.LAM

Taulukosta 8 nähdään että Alankomaiden olosuhteissa hirsirakenne 1:n lämpöhäviöt ovat pienemmät kuin Suomen olosuhteissa. Hirsirakenne 1:n suurin lämpöhäviö on 2.62 kWh tammikuun aikana kun Alankomaissa se on 1.835 kWh. Heinäkuussa Suomessa pienin arvo on 0.305 kWh, kun Alankomaissa se on 0.285 kWh. Lämpöhäviön puolesta rakenne toimii siis paremmin Alankomaissa.

## 6.3.2 Hirsirunko 2

Taulukko 9, Hirsiseinä 2 Lämpötila ja kosteusarvot

Rakennuskohde:	Sisältö: Tuplahirsirunko ilmaraoilla	
Suunnittelija: Anna Junikka	Päiväys: 7.12.2008	Tunnus: Hirsiseinä 2

<b>Rakenteen päättiedot:</b> U-arvo: 0.146 W/m <sup>2</sup> K Paksuus: 422.000 mm Pinta-ala: 1.00 m <sup>2</sup> Paino: 73.30 kg Hinta: 0.00 euro  Vesihöyryn vastus: 14772.489 m <sup>2</sup> hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 0.000068 g/m <sup>2</sup> hPa Lämmönvastus: 6.855 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, ulko: 0.070 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m <sup>2</sup> K/W Kulma (0-90): 90.000	
---	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b> KERROS: T [mm]: LJ [W/mK]: VHL [gm/Nh]: Hinta [e/m3]: Paino [kg/m3]: 1 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00 2 Tuulettuva ilmarako 20.00 10.0000 1.000000e+01 0.00 0.00 3 Puukuitulevy, huokoi 12.00 0.0550 1.080000e-04 0.00 350.00 4 Mineraalivilla 250.00 0.0460 3.780000e-04 0.00 30.00 5 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00	<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>
--	--

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b> Piste: T [C]: KK [g/m3]: KM [g/m3]: SK [%]: C [g/m2]: U -5.70 3.15 2.68 85.0 0.00 1 -5.44 3.22 2.68 83.2 0.00 2 -3.56 3.73 5.51 100.0 53.33 3 -3.56 3.73 5.51 100.0 0.00 4 -2.74 3.97 5.55 100.0 0.00 5 17.64 15.05 5.82 38.6 0.00 6 19.51 16.81 8.64 51.4 0.00 S 20.00 17.28 8.64 50.0 0.00	<b>Tammikuu (744.0 h)</b>	<b>Lisätiedot:</b> Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta.
---	---------------------------	--

**Tiivistymis- / homevaara ! (SK\_max = 100.0 %)**  
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

D:\Koulu\Insinööriyö\hirsiseinä 2.LAM

Ohjelma laskee hirsiseinän 2 U-arvoksi 0.146 W/m<sup>2</sup>K, joka täyttää sallitun 0.25 W/m<sup>2</sup>K arvon. Taulukosta 9 rakenteen paksuudeksi saadaan 422 mm ja painoksi 73.3 kg/m<sup>2</sup>. Rakenteen vesihöyryn vastus, vesihöyryn läpäisykerroin ja lämmönvastus ovat hirsirakenteisella seinällä hieman suuremmat kuin esimerkiksi normaalilla puurunkoisella, sisältä tuulettuvalla seinärakenteella.

Tutkimus on tehty tammikuun lämpötiloilla, ulkoilma  $-5,7^{\circ}\text{C}$  ja sisäilma  $+20^{\circ}\text{C}$ . Rakenne pääsee plusasteiden puolelle heti eristekerroksen sisäpinnassa, jolloin lämpötila on  $+16,81^{\circ}\text{C}$ .

Seinärakenteen kosteus määrä,  $3,73\text{ g/m}^3$ , on suurempi kuin kyllästymiskosteus,  $5,51\text{ g/m}^3$ , mineraalivillan ulkopinnasta ulospäin ja suhteellinen kosteus on 100 %. Rakenteessa on samanlaiset olosuhteet kuin hirsiseinä 1:llä, eli kosteuden määrät pysyvät vähäisinä, alle  $10\text{ g/m}^3$ .

Puukuitulevyn kosteuden kestävyys on hyvä. Se imee kosteutta samalla lailla kuin selluvilla eikä menetä lämmöneristävyyttään. Se kuivuu nopeasti ja tukee hirren luonnollista toimintaa. Samalla puukuitulevy suojaa mineraalivillaa kosteuden pääsystä mineraalivillan sisään.

Mineraalivilla ei sido kosteutta kuitujensa sisään, vaan kosteus kulkee ilman mukana vesihöyrynä tai tiivistyy eristeen kuitujen pintaan. Tiivistynyt pinta laskee nopeasti eristeen tehokkuutta ja altistaa sen home- ja vesivaurioille. Koska kosteus saavuttaa eristeen pinnan, pientä eristeen heikentymistä saattaa tapahtua. Kosteusmäärät ovat kuitenkin hyvin pienet, joten suurta kosteus- tai home-riskiä ei ole.

Hirsirakenteen kosteusarvot ovat pieniä, ja puukuitulevy suojaa mineraalivillaa kosteudelta, joten voidaan päätellä, että rakenne on toimiva. Kesäkausi-  
na rakenne toimii samoin kuin hirsirakenne 1, eli kosteus määrä pysyy kyllästymiskosteutta pienempänä, suhteellinen kosteus on alle 100 % ja kosteusuhkaa ei ole.

Taulukko 10, Hirsiseinä 2 Lämpötila ja kosteusarvot, Alankomaat Maastricht

Rakennuskohde:	Sisältö: Tuplahirsirunko ilma-araolla	
Suunnittelija: Anna Junikka	Päiväys: 13.12.2008	Tunnus: Hirsiseinä 2

<b>Rakenteen päätiedot:</b> U-arvo: 0.146 W/m <sup>2</sup> K Paksuus: 422.000 mm Pinta-ala: 1.00 m <sup>2</sup> Paino: 73.30 kg Hinta: 0.00 euro  Vesihöyryn vastus: 14772.489 m <sup>2</sup> hPa/g Vesih. läpäisykerroin: 0.000068 g/m <sup>2</sup> hPa Lämmönvastus: 6.855 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, ulko: 0.070 m <sup>2</sup> K/W Pintavastus, sisä: 0.130 m <sup>2</sup> K/W Kulma (0-90): 90.000	
--	--

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b> KERROS: T [mm]: LJ [W/mK]: VHL [gm/Nh]: Hinta [e/m <sup>3</sup> ]: Paino [kg/m <sup>3</sup> ]: 1 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00 2 Tuulettuva ilmarako 20.00 10.0000 1.000000e+01 0.00 0.00 3 Puukuitulevy, huokoi 12.00 0.0550 1.080000e-04 0.00 350.00 4 Mineraalivilla 250.00 0.0460 3.780000e-04 0.00 30.00 5 Höylähirsi 70.00 0.1400 1.000000e-05 0.00 440.00	<b>Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)</b>
--	--

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

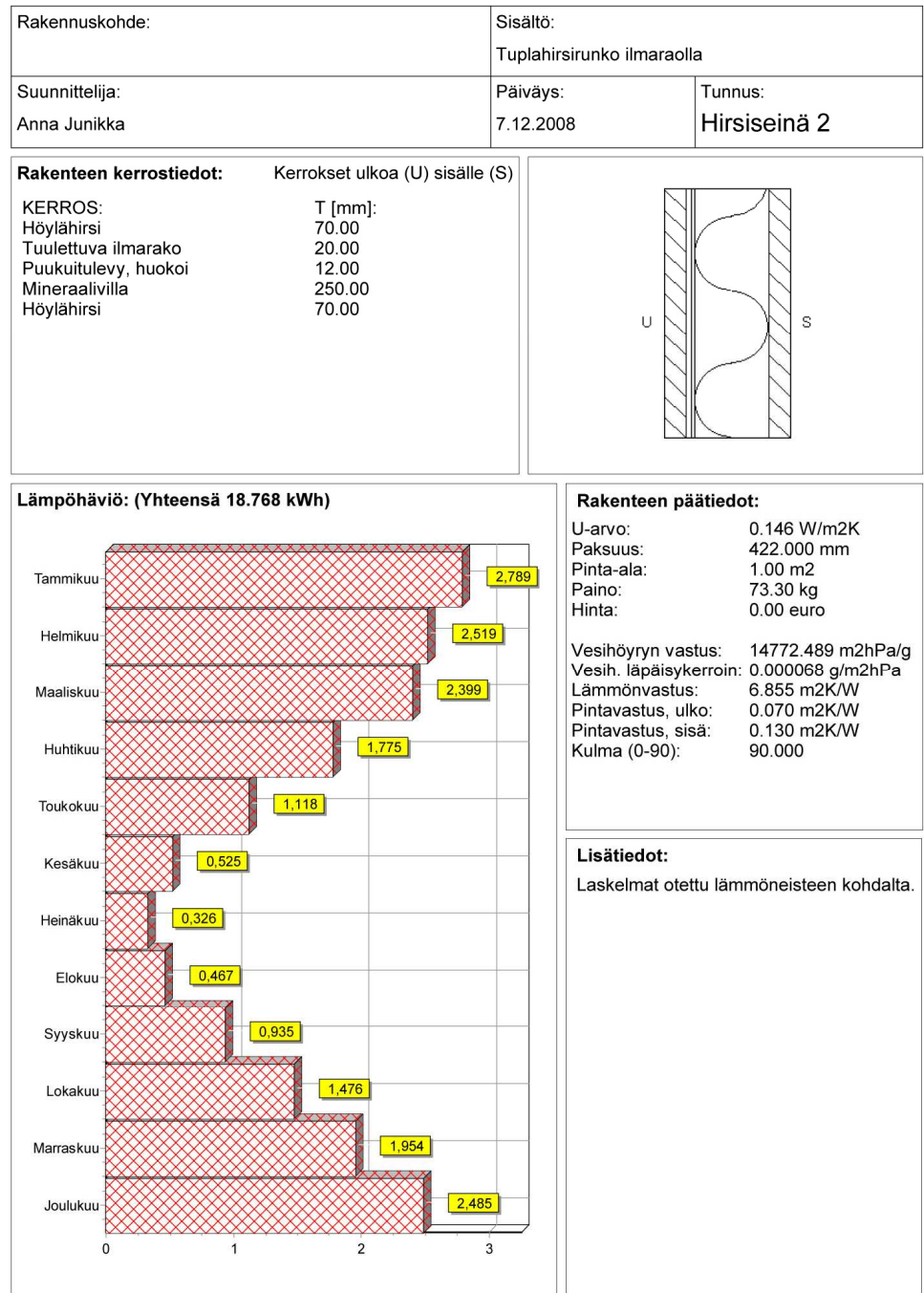
<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b> Piste: T [C]: KK [g/m <sup>3</sup> ]: KM [g/m <sup>3</sup> ]: SK [%]: C [g/m <sup>2</sup> ]: U 2.00 5.58 4.91 88.0 0.00 1 2.18 5.66 4.91 86.9 0.00 2 3.50 6.19 6.68 100.0 18.59 3 3.50 6.19 6.68 100.0 0.00 4 4.07 6.43 6.71 100.0 0.00 5 18.35 15.70 6.88 43.8 0.00 6 19.66 16.95 8.64 51.0 0.00 S 20.00 17.28 8.64 50.0 0.00	<b>Tammikuu (744.0 h)</b> Lisätiedot: Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta.
---	--

**Tiivistymis- / homevaara ! (SK\_max = 100.0 %)**  
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

D:\Koulu\Insinööri\Hirsiseinä 2 alankomaat.LAM

Alankomaiden olosuhteissa tehdystä taulukosta 10 voimme päätellä, että rakenteella on samanlainen kosteuskäyttäytyminen kuin Suomen olosuhteissa. Lämpötilat ovat tammikuussa plussan puolella, mutta silti kosteudenmäärä ylittää kyllästymiskosteuden määrän. Kosteusmäärät pysyvät sallituissa rajoissa eli alle 10 g/m<sup>3</sup>, joten rakenne on toimiva myös Alankomaissa.

Taulukko 11, Hirsiseinä 2 Lämpöhäviöt

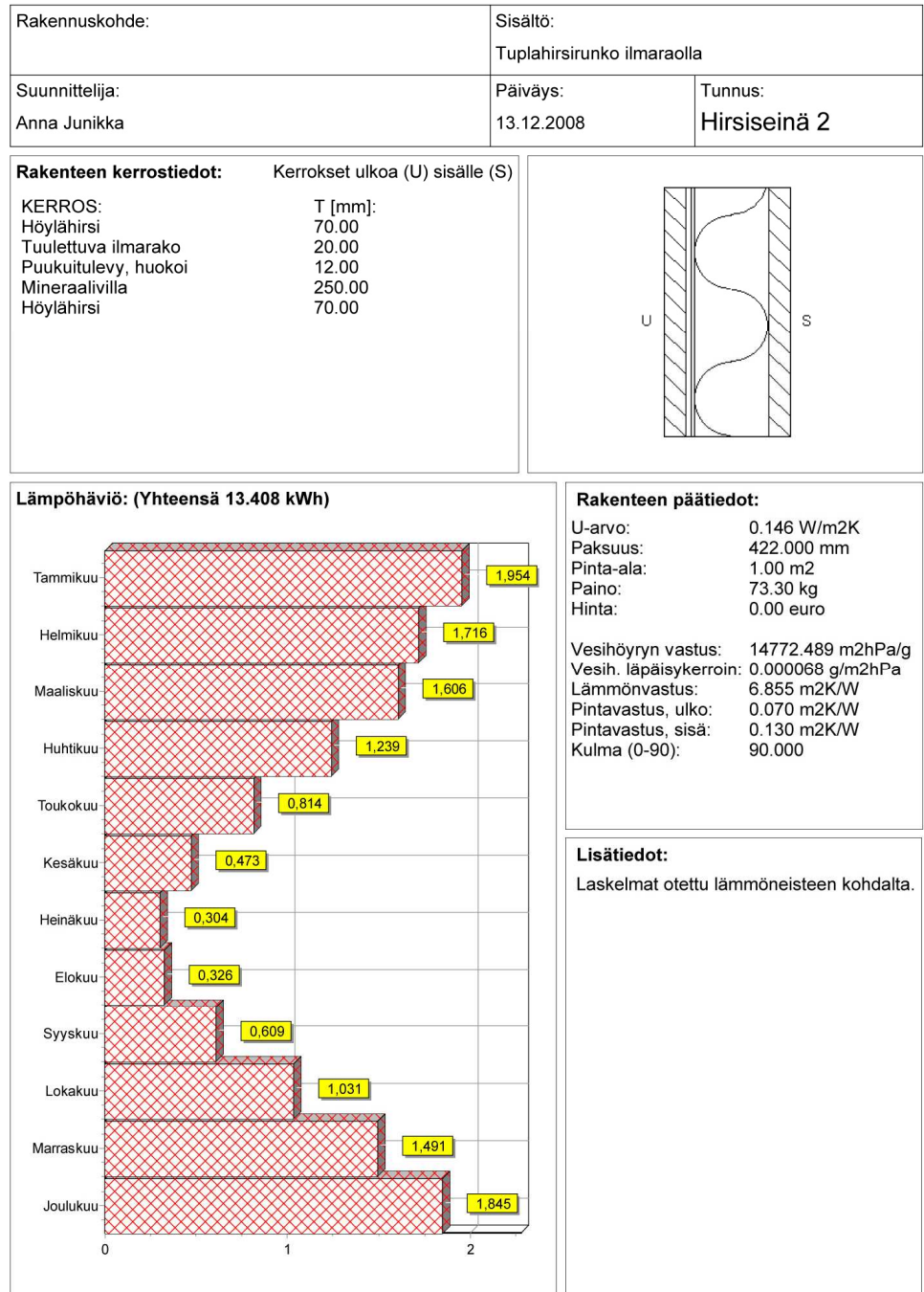


D:\Koulu\Insinööri\Hirsiseinä 2.LAM

Taulukosta 11 näemme että hirsiseinä 2:n lämpöhäviöt ovat suurempia kuin hirsiseinä 1:llä. Tämän rakenteen suurin lämpöhäviö on tammikuussa 2.789 kWh. Talvikautena lämpöhäviö on moninkertainen verrattuna kesäkuusiin, jolloin se on vähäinen, parhaimmillaan 0,326 kWh. Hirsirakenne 1:n tavoin tämän rakenteen lämpöhäviöt ylittävät laskennalliset arvot talvikuu-

kausien osilta, mutta ovat muuten hyväksyttävissä. Kompensoimalla ikkunoita, ylä- ja alapohjaa, hirsiseinä 2 on sallittu rakenne.

Taulukko 12, Hirsiseinä 2, Lämpöhäviöt, Alankomaat Maastricht



D:\Koulu\Insinööri\Hirsiseinä 2 alankomaat.LAM

Taulukosta 12 nähdään että Alankomaiden olosuhteissa hirsirakenne 3:n lämpöhäviöt ovat pienemmät kuin Suomen olosuhteissa. Hirsirakenne 2:n suurin lämpöhäviö on 2.789 kWh tammikuun aikana kun Alankomaissa se on 1.954 kWh. Heinäkuussa Suomessa pienin arvo on 0.325 kWh kun Alan-

komaissa se on 0.304 kWh. Lämpöhäviön puolesta rakenne toimii siis paremmin Alankomaissa.

### 6.3.3 Hirsiseinä 3

Taulukko 13, Hirsiseinä 3 Lämpötila ja kosteusarvot

Rakennuskohde:	Sisältö: Paneloitu hirsiseinä	
Suunnittelija: Anna Junikka	Päiväys: 7.12.2008	Tunnus: Hirsiseinä 3

<b>Rakenteen päättiedot:</b>			
U-arvo:	0.233 W/m <sup>2</sup> K		
Paksuus:	266.150 mm		
Pinta-ala:	1.00 m <sup>2</sup>		
Paino:	55.24 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	108918.727		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000009 g/m <sup>2</sup> hPa		
Lämmönvastus:	4.290 m <sup>2</sup> K/W		
Pintavastus, ulko:	0.070 m <sup>2</sup> K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W		
Kulma (0-90):	90.000		

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Hirsipaneli	20.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2 Muovikalvo 0.15 mm	0.15	0.3400	1.560000e-09	0.00	900.00
3 Mineraalivilla	150.00	0.0460	3.780000e-04	0.00	30.00
4 Tervapaperi	1.00	0.1400	1.152000e-06	0.00	0.00
5 Hirsi	95.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>		<b>Tammikuu (744.0 h)</b>			
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-5.70	3.15	2.68	85.0	0.00
1	-5.28	3.26	2.68	82.2	0.00
2	-4.42	3.49	2.79	80.0	0.00
3	-4.42	3.49	8.05	100.0	50.09
4	15.11	12.95	8.07	62.4	0.00
5	15.16	12.98	8.12	62.6	0.00
6	19.22	16.52	8.64	52.3	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

**Tiivistymis- / homevaara ! (SK\_max = 100.0 %)**  
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

<b>Lisätiedot:</b>
Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta.

D:\Koulu\Insinööri\Hirsiseinä 3.LAM

Taulukosta 13 hirsiseinä 3 U-arvoksi saadaan 0.233 W/m<sup>2</sup>K ja se täyttää sallitun 0.25 W/m<sup>2</sup>K arvon. Rakenteen paksuus on 266,15 mm ja se painaa

55.24 kg/m<sup>2</sup>. Rakenteen vesihöyrynvastus, vesihöyryn läpäisykerroin ja lämmönvastus ovat hirsirakenteisella seinällä hieman suuremmat kuin esimerkiksi normaalilla puurunkoisella sisältä tuulettuvalla seinärakenteella.

Lämpöolosuhteet mittaushetkellä ovat ulkona -5,7°C ja sisällä +20°C. Rakenne pääsee plusasteiden puolelle heti mineraalivillan kohdalla, mitattu lämpötila sen sisäpinnassa on + 15.11 °C.

Suhteellinen kosteus pääsee tammikuun olosuhteissa nousemaan eristeen kohdalla 100 %. Kyllästymiskosteus rakenteessa on 3.49 g/m<sup>3</sup> ja kosteusmäärä 8.05 g/m<sup>3</sup>. Rakenteessa on samanlaiset olosuhteet kuin hirsiseinä 1:llä eli syntyvät kosteuden määrät pysyvät vähäisinä, alle 10 g/m<sup>3</sup>.

Eristeen puolesta rakenne on toimivuudeltaan samanlainen kuin hirsirakenne 2. Mineraalivilla menettää toimivuuttansa kosteuden kanssa. Rakenteessa käytetään muovikalvoa ilmansulkuna ja tervapaperia höyrynsulkuna. Kosteus ei etene hirsirunkoon asti. Kesäkuukausien aikana rakenne toimii kuten hirsiseinät 1 ja 2, eli suhteellinen kosteus on alle 100 % ja rakenne pääsee kuivumaan. Vähäinen kosteusmäärä ei vahingoita hirsiseinä 3:sta ja rakenne on toimiva.



Taulukko 14, Hirsiseinä 3 Lämpötila ja kosteusarvot, Alankomaat Maastricht

Rakennuskohde:		Sisältö:	
		Paneloitu hirsiseinä	
Suunnittelija:		Päiväys:	Tunnus:
Anna Junikka		13.12.2008	Hirsiseinä 3

<b>Rakenteen päätiedot:</b>			
U-arvo:	0.233 W/m2K		
Paksuus:	266.150 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	55.24 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	108918.727		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000009 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	4.290 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.070 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	90.000		

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Hirsipaneli	20.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2 Muovikalvo 0.15 mm	0.15	0.3400	1.560000e-09	0.00	900.00
3 Mineraalivilla	150.00	0.0460	3.780000e-04	0.00	30.00
4 Tervapaperi	1.00	0.1400	1.152000e-06	0.00	0.00
5 Hirsi	95.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

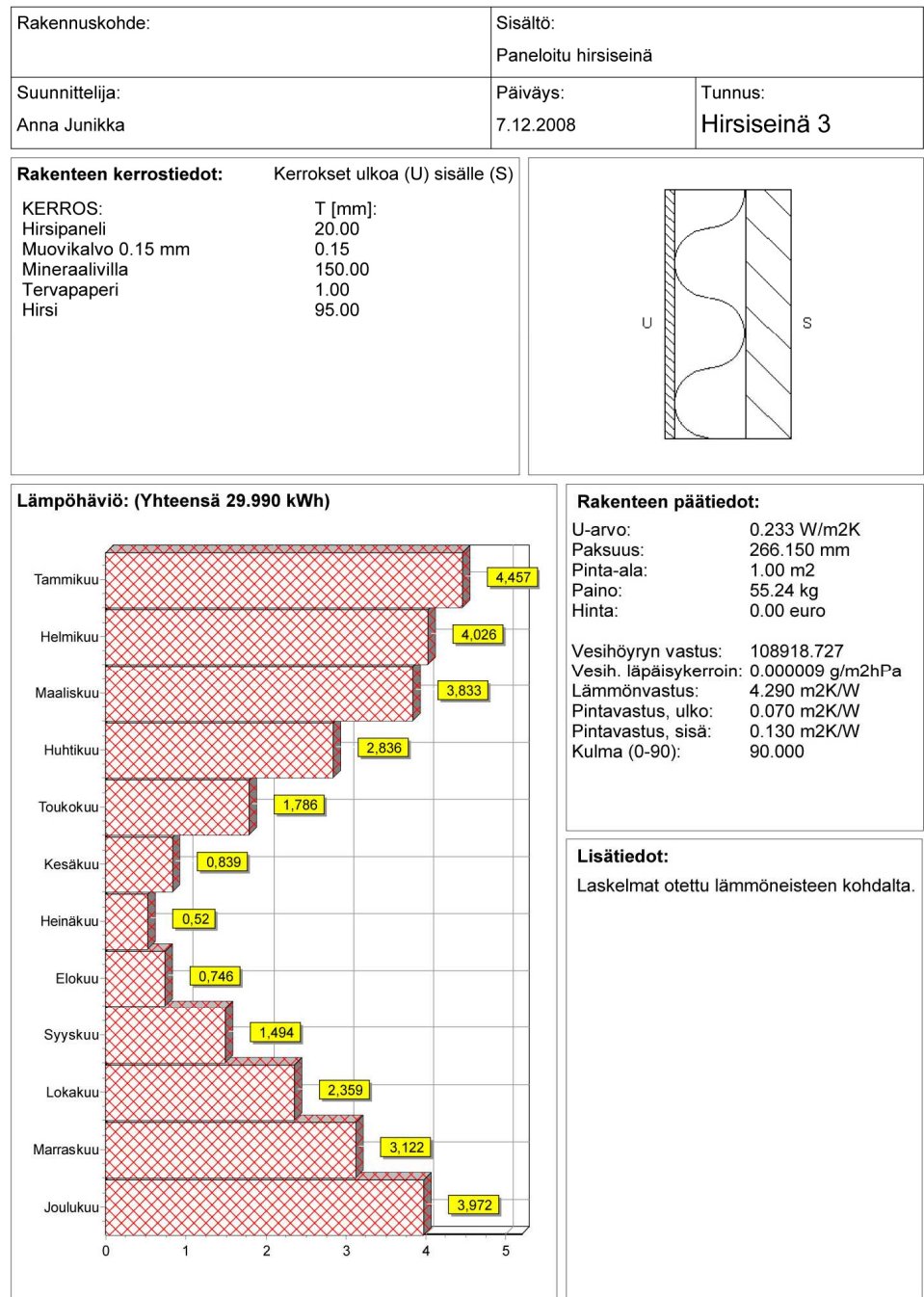
<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>		<b>Tammikuu (744.0 h)</b>			<b>Lisätiedot:</b> Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta.
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	2.00	5.58	4.91	88.0	0.00
1	2.29	5.70	4.91	86.2	0.00
2	2.89	5.94	4.98	83.9	0.00
3	2.89	5.94	8.27	100.0	27.49
4	16.58	14.14	8.29	58.6	0.00
5	16.61	14.16	8.32	58.7	0.00
6	19.45	16.75	8.64	51.6	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

**Tiivistymis- / homevaara ! (SK\_max = 100.0 %)**  
T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

D:\Koulu\Insinööri\hirsiseinä 3 alankomaat.lam

Taulukosta 14 Alankomaiden olosuhteissa tehdystä taulukosta voimme päätellä, että rakenteella on samanlainen kosteuskäyttäytyminen kuin Suomen olosuhteissa. Lämpötilat ovat tammikuussa plussan puolella, mutta silti kosteudenmäärä ylittää kyllästymiskosteuden määrän. Kosteusmäärät pysyvät sallituissa rajoissa eli alle  $10 \text{ g/m}^3$ , joten rakenne on toimiva myös Alankomaissa.

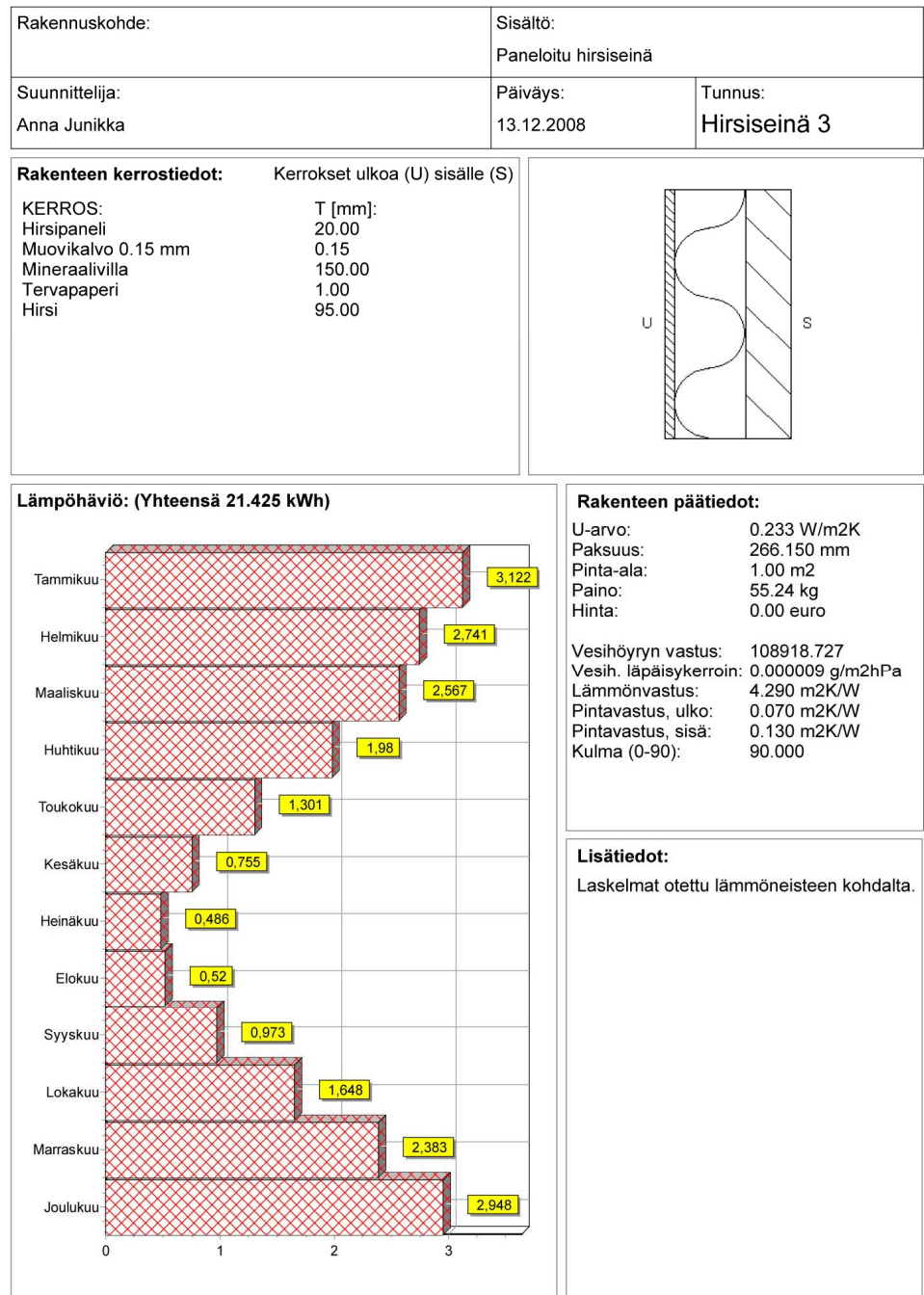
Taulukko 15, Hirsiseinä 3 Lämpöhäviöt



D:\Koulu\Insinöörityo\Hirsiseinä 3.LAM

Taulukosta 15 nähdään, että hirsiseinä 3 lämpöhäviöt ovat suurempia kuin hirsiseinä 1:llä ja 2:lla. Tämän rakenteen suurin lämpöhäviö on tammikuussa 4.457 kWh. Talvikuukausina lämpöhäviö on moninkertainen verrattuna kesäkuukausiin, jolloin se on vähäinen, parhaimmillaan 0,52 kWh. Hirsirakenne 1:n ja 2:n tavoin tämän rakenteen lämpöhäviöt ylittävät laskennalliset arvot talvikuukausien osilta, mutta ovat muuten hyväksyttävissä. Kompensoimalla ikkunoita, ylä- ja alapohjaa, hirsiseinä 3 on sallittu rakenne.

Taulukko 16, Hirsiseinä 3 Lämpöhäviöt, Alankomaat Maastricht



D:\Koulu\Insinööri\hirsiseinä 3 alankomaat.lam

Taulukosta 16 nähdään että Alankomaiden olosuhteissa hirsirakenne 3:n lämpöhäviöt ovat pienemmät kuin Suomen olosuhteissa. Hirsirakenne 3:n suurin lämpöhäviö on 4.475 kWh tammikuun aikana kun Alankomaissa se on 3.122 kWh. Heinäkuussa Suomessa pienin arvo on 0.52 kWh, kun Alankomaissa se on 0.486 kWh. Lämpöhäviön puolesta rakenne toimii siis paremmin Alankomaissa.

## 6.3.4 Ulkoseinä 1, lämpökatkotolpat

Taulukko 17, Us 1 Lämpötila ja kosteusarvot

Rakennuskohde:		Sisältö:	
		Ulkoseinä 1, lämpökatkotolpat	
Suunnittelija:		Päiväys:	Tunnus:
Anna Junikka		7.12.2008	Us1

<b>Rakenteen päättiedot:</b>			
U-arvo:	0.164 W/m <sup>2</sup> K		
Paksuus:	351.200 mm		
Pinta-ala:	1.00 m <sup>2</sup>		
Paino:	45.95 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	132726.912		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m <sup>2</sup> hPa		
Lämmönvastus:	6.112 m <sup>2</sup> K/W		
Pintavastus, ulko:	0.070 m <sup>2</sup> K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W		
Kulma (0-90):	90.000		

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Puu (kuusi)	28.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2 Tuulettuva ilmarako	25.00	10.0000	1.000000e+01	0.00	0.00
3 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4 Puukuitueriste	260.00	0.0500	3.780000e-04	0.00	35.00
5 Muovikalvo 0.15 mm	0.20	0.3400	1.560000e-09	0.00	900.00
6 Kipsilevy	13.00	0.2400	1.620000e-05	0.00	1200.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>		<b>Tammikuu (744.0 h)</b>			
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-5.70	3.15	2.68	85.0	0.00
1	-5.41	3.23	2.68	83.0	0.00
2	-4.56	3.45	2.81	81.3	0.00
3	-4.55	3.45	2.81	81.3	0.00
4	-2.64	4.00	2.82	70.5	0.00
5	19.22	16.52	2.85	17.2	0.00
6	19.23	16.53	8.61	52.1	0.00
7	19.45	16.75	8.64	51.6	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

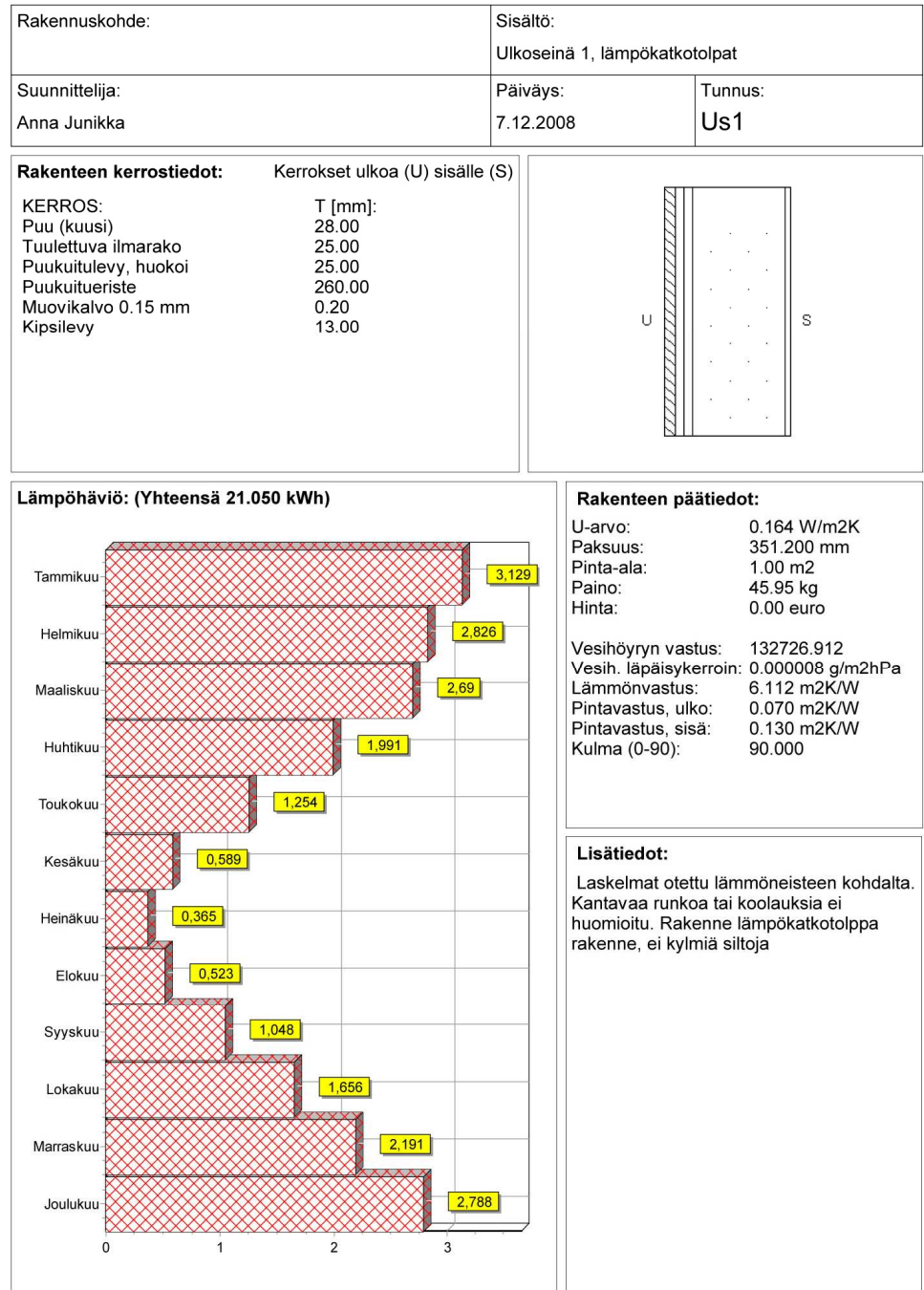
<b>Lisätiedot:</b>
Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta. Kantavaa runkoa tai koolauksia ei huomioitu. Rakenne lämpökatkotolppa rakenne, ei kylmiä siltoja

D:\Koulu\Insinööriyöus1.LAM

Taulukosta 17 saadaan ulkoseinä 1 U-arvoksi 0.164 W/m<sup>2</sup>K ja se täyttää hyvin sallitun 0.25 W/m<sup>2</sup>K arvon. Rakenteen paksuus on 351,200 mm ja se painaa 45.95 kg/m<sup>2</sup>. Ulkoseinä 1:n kosteusmäärät pysyvät koko ajan pienempinä kuin kyllästymiskosteuden arvot eikä rakenteeseen synny ollen-

kaan kosteutta tai kosteusuhkaa. Rakenne on varmistettu kylmäsiltojen varalta lämpökatkotolpilla. Ulkoseinä 1 toimii moitteettomasti.

Taulukko 18, Us 1 Lämpöhäviöt



D:\Koulu\Insinööriyöus1.LAM

Ulkoseinä 1:n lämpöhäviöiden arvot ovat taulukon 18 mukaan samansuuruisia kuin hirsiseinärakenteillakin. Tämän rakenteen suurin lämpöhäviö on tammikuussa 3.129 kWh. Talvikuukausina lämpöhäviö on moninkertainen verrattuna kesäkuukausiin jolloin se on vähäinen, parhaimmillaan 0,365

kWh. Hirsirakenteiden tavoin tämän rakenteen lämpöhäviöt ylittävät laskennalliset arvot talvikuukausien osilta, mutta ovat muuten hyväksyttävissä. Kompensoimalla ikkunoita, ylä- ja alapohjaa, ulkoseinä 1 on sallittu rakenne.

### 6.3.5 Ulkoseinä 2, lisälämmöneriste

Taulukko 19, Us 2 Lämpötila ja kosteusarvot

Rakennuskohde:		Sisältö: Ulkoseinä 2, lisälämmöneriste	
Suunnittelija: Anna Junikka		Päiväys: 7.12.2008	Tunnus: Us2

<b>Rakenteen päättiedot:</b>			
U-arvo:	0.169 W/m2K		
Paksuus:	323.200 mm		
Pinta-ala:	1.00 m2		
Paino:	44.85 kg		
Hinta:	0.00 euro		
Vesihöyryn vastus:	133783.310		
Vesih. läpäisykerroin:	0.000007 g/m2hPa		
Lämmönvastus:	5.915 m2K/W		
Pintavastus, ulko:	0.070 m2K/W		
Pintavastus, sisä:	0.130 m2K/W		
Kulma (0-90):	90.000		

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Puu (kuusi)	28.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2 Tuulettuva ilmarako	25.00	10.0000	1.000000e+01	0.00	0.00
3 ISOVER RKL-A	60.00	0.0330	2.682100e-04	0.00	0.00
4 Gyproc GN 13	25.00	0.1500	1.810000e-05	0.00	693.00
5 Puukuitueriste	172.00	0.0500	3.780000e-04	0.00	35.00
6 Muovikalvo 0.15 mm	0.20	0.3400	1.560000e-09	0.00	900.00
7 Gyproc GN 13	13.00	0.1500	1.810000e-05	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

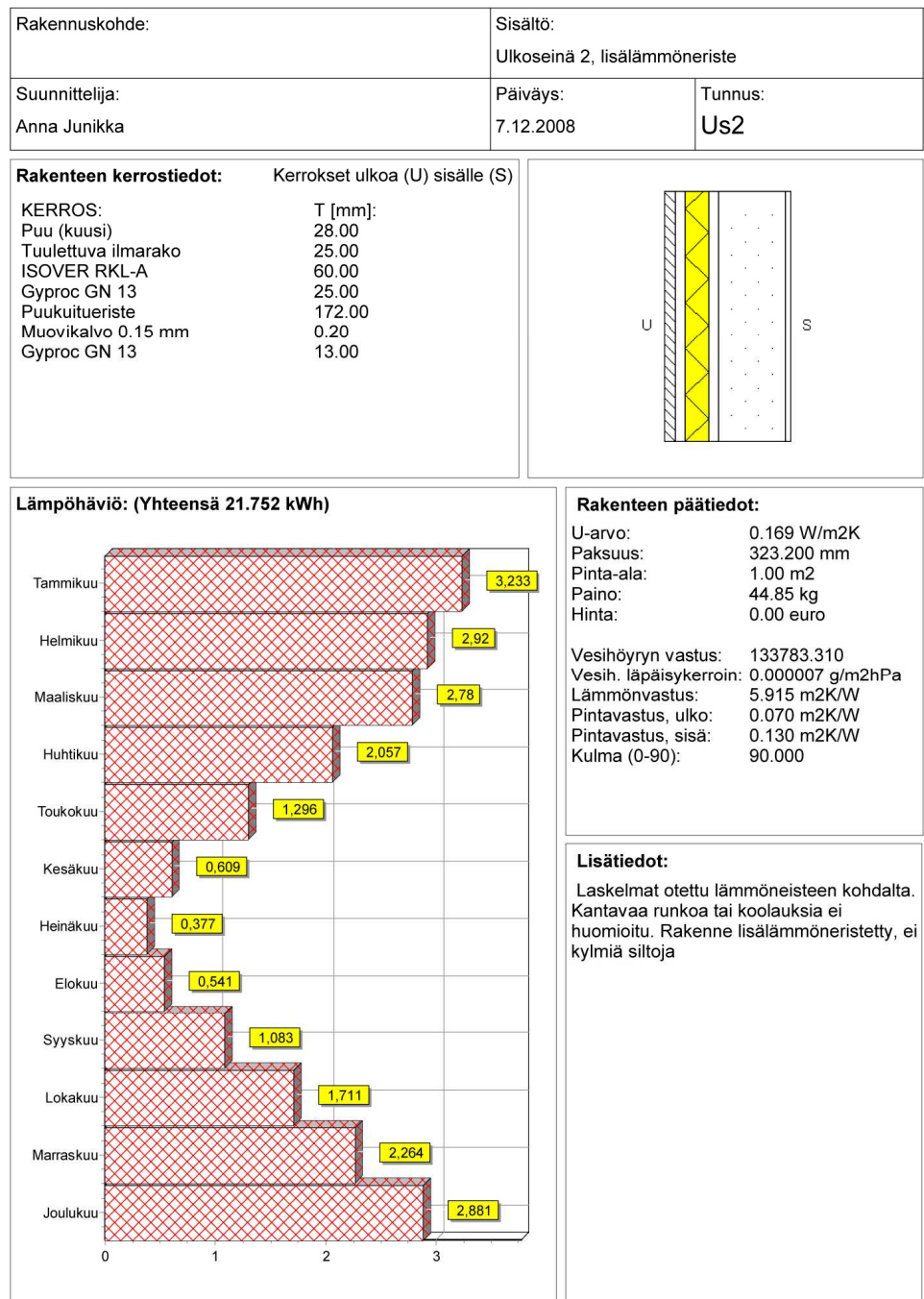
  

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>		<b>Tammikuu (744.0 h)</b>			<b>Lisätiedot:</b> Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta. Kantavaa runkoa tai koolauksia ei huomioitu. Rakenne lisälämmöneristetty, ei kylmiä siltoja
Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	
U	-5.70	3.15	2.68	85.0	
1	-5.40	3.23	2.68	83.0	
2	-4.53	3.46	2.81	81.1	
3	-4.52	3.46	2.81	81.0	
4	3.38	6.14	2.82	45.8	
5	4.11	6.45	2.88	44.6	
6	19.06	16.36	2.90	17.7	
7	19.06	16.36	8.61	52.6	
8	19.44	16.73	8.64	51.7	
S	20.00	17.28	8.64	50.0	

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Ulkoseinä 2:n U-arvo on taulukon 19 mukaan  $0.69 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja se täyttää hyvin sallitun  $0.25 \text{ W/m}^2\text{K}$  arvon. Rakenteen paksuus on  $323,200 \text{ mm}$  ja se painaa  $44.85 \text{ kg/m}^2$ . Ulkoseinä 2:n kosteusmäärät pysyvät koko ajan pienempinä kuin kyllästymiskosteuden arvot eikä rakenteeseen synny ollenkaan kosteutta tai kosteusuhkaa. Rakenne on lisälämmöneristettyrakenne eikä siihen synny kylmiä siltoja. Ulkoseinä 1 on toimiva rakenne.

Taulukko 20, Us 2 Lämpöhäviöt



Ulkoseinä 2 lämpöhäviöiden arvot ovat samansuuruisia kuin hirsiseinärakenteilla ja ulkoseinä 1:llä. Tämän rakenteen suurin lämpöhäviö on taulukon 20 mukaan tammikuussa 3.233 kWh. Talvikuukausina lämpöhäviö on moninkertainen verrattuna kesäkuukausiin jolloin se on 0,377 kWh. Hirsirakenteiden tavoin tämän rakenteen lämpöhäviöt ylittävät laskennalliset arvot talvikuukausien osilta, mutta ovat muuten hyväksyttävissä. Kompensoimalla ikkunoita, ylä- ja alapohjaa, ulkoseinä 1 on sallittu rakenne.



## 6.3.6 Ulkoseinä 3, lämpökatko sekä installaatiotila

Taulukko 21, Us 3 Lämpötila ja kosteusarvot

Rakennuskohde:	Sisältö:	
	Ulkoseinä 3, lämpökatko sekä installaatiotila	
Suunnittelija:	Päiväys:	Tunnus:
Anna Junikka	7.12.2008	Us3

<b>Rakenteen pää tiedot:</b>		
U-arvo:	0.174 W/m <sup>2</sup> K	
Paksuus:	365.200 mm	
Pinta-ala:	1.00 m <sup>2</sup>	
Paino:	45.66 kg	
Hinta:	0.00 euro	
Vesihöyryn vastus:	132740.562	
Vesih. läpäisykerroin:	0.000008 g/m <sup>2</sup> hPa	
Lämmönvastus:	5.748 m <sup>2</sup> K/W	
Pintavastus, ulko:	0.070 m <sup>2</sup> K/W	
Pintavastus, sisä:	0.130 m <sup>2</sup> K/W	
Kulma (0-90):	90.000	

<b>Rakenteen kerrostiedot:</b>		Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)			
KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m <sup>3</sup> ]:	Paino [kg/m <sup>3</sup> ]:
1 Puu (kuusi)	28.00	0.1400	1.000000e-05	0.00	440.00
2 Tuulettuva ilmarako	25.00	10.0000	1.000000e+01	0.00	0.00
3 Puukuitulevy, huokoi	25.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
4 Puukuitueriste	220.00	0.0500	3.780000e-04	0.00	35.00
5 Muovikalvo 0.15 mm	0.20	0.3400	1.560000e-09	0.00	900.00
6 Puukuitulevy, huokoi	22.00	0.0550	1.080000e-04	0.00	350.00
7 Tuulettuva ilmarako	32.00	10.0000	1.000000e+01	0.00	0.00
8 Gyproc GN 13	13.00	0.1500	1.810000e-05	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

<b>Lämpötilat ja kosteudet:</b>		<b>Tammikuu (744.0 h)</b>			
Piste:	T [C]:	KK [g/m <sup>3</sup> ]:	KM [g/m <sup>3</sup> ]:	SK [%]:	C [g/m <sup>2</sup> ]:
U	-5.70	3.15	2.68	85.0	0.00
1	-5.39	3.23	2.68	82.9	0.00
2	-4.49	3.47	2.81	80.9	0.00
3	-4.48	3.47	2.81	80.8	0.00
4	-2.45	4.06	2.82	69.4	0.00
5	17.23	14.69	2.84	19.4	0.00
6	17.23	14.69	8.60	58.5	0.00
7	19.02	16.32	8.61	52.8	0.00
8	19.03	16.33	8.61	52.7	0.00
9	19.42	16.71	8.64	51.7	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

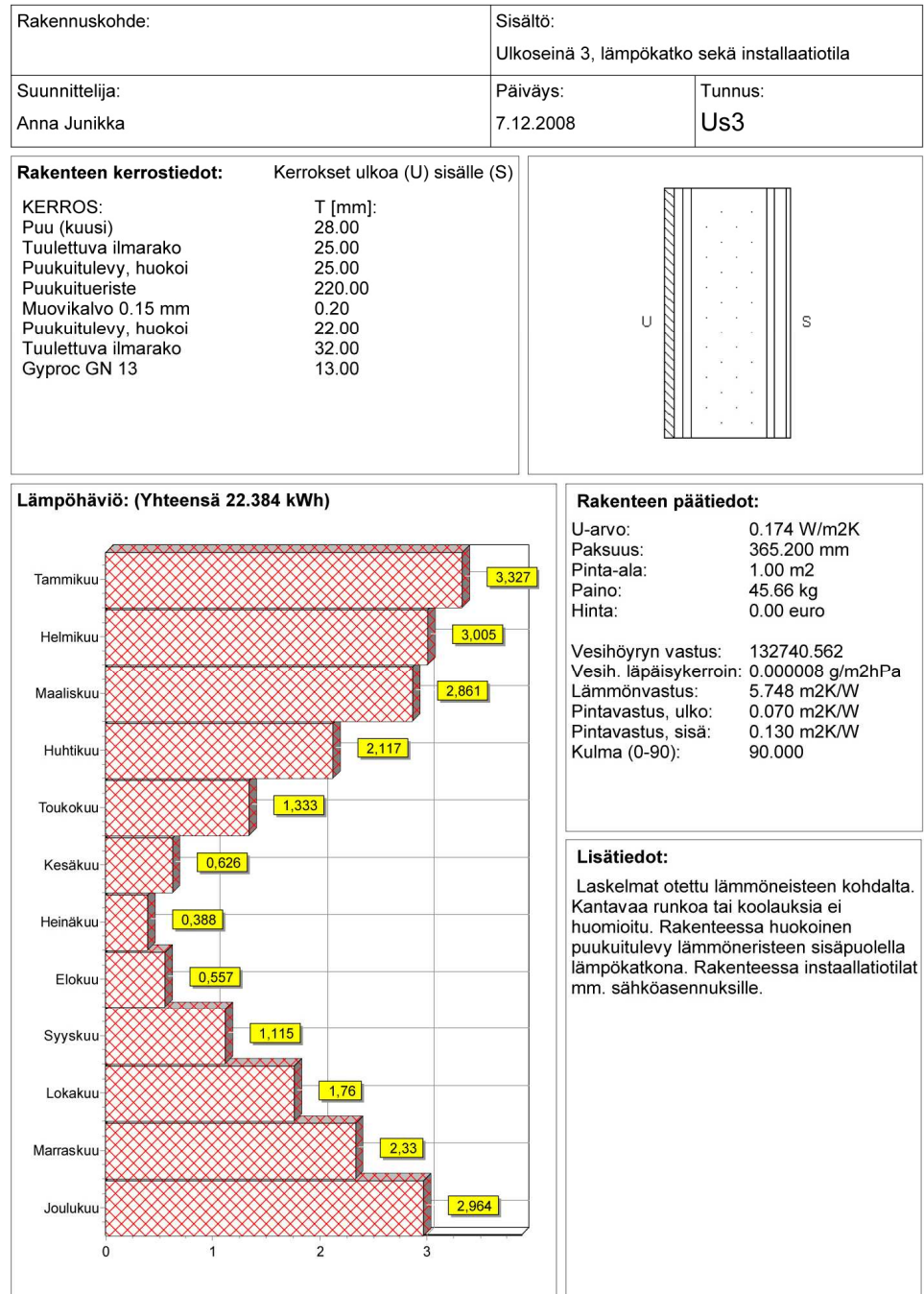
<b>Lisätiedot:</b>
Laskelmat otettu lämmöneisteen kohdalta. Kantavaa runkoa tai koolauksia ei huomioitu. Rakenteessa huokoinen puukuitulevy lämmöneristeen sisäpuolella lämpökatkona. Rakenteessa installaatiotilat mm. sähköasennuksille.

D:\Koulu\Insinööriyö\us3.LAM

Taulukosta 21 nähdään että ulkoseinä 3 U-arvo on 0.174 W/m<sup>2</sup>K ja se täyttää hyvin sallitun 0.25 W/m<sup>2</sup>K arvon. Rakenteen paksuus on 365,200 mm ja se painaa 45.66 kg/m<sup>2</sup>. Ulkoseinä 3:n kosteusmäärät pysyvät koko ajan pienempinä kuin kyllästymiskosteuden arvot eikä rakenteeseen synny ollenkaan kosteutta tai kosteusuhkaa. Rakenteeseen on laitettu huokoinen puu-

kuitulevy lämmöneristeen sisäpuolelle lämpökatkoksi eikä rakenteeseen synny kylmiä siltoja. Rakenteen sisäpintaan on lisätty installaatiotila joka helpottaa mm. sähköjohtojen ja lvi putkien asentamista. Ulkoseinä 3 on toimiva rakenne.

Taulukko 22, Us 3 Lämpöhäviöt



D:\Koulu\Insinööri\työ\us3.LAM

Ulkoseinä 3 saa taulukon 22 mukaan samanlaisia lämpöhäviön arvoja kuin muutkin seinärakenteet. Tämän rakenteen suurin lämpöhäviö on tammi-

kuussa 3.327 kWh. Talvikuukausina lämpöhäviö on moninkertainen verrattuna kesäkuukausiin jolloin se on vähäinen, parhaimmillaan 0,388 kWh. Hirsirakenteiden tavoin tämän rakenteen lämpöhäviöt ylittävät laskennalliset arvot talvikuukausien osilta, mutta ovat muuten hyväksyttävissä. Kompensoimalla ikkunoita, ylä- ja alapohjaa, ulkoseinä 3 on sallittu rakenne.

## 7 TULOKSET

Rakenteet läpäisevät matala- ja passiivenergiatalojen vaatimukset ja standardit. Rakenteissa käytettiin ekologisia ja matala- ja passiivenergiataloihin soveltuvia materiaaleja. Tutkimustuloksina huomataan että matala- ja passiivenergiataloissa on huomattavasti edullisempaa asua kuin normaalirakenteisissa taloissa. Ne aiheuttavat myös vähemmän päästöjä sekä kuluttavat vähemmän luontoa.

Taulukko 23, Dof-lämpö ohjelmasta saadut tulokset

<b>Dof-lämpö ohjelmasta saadut tulokset</b>						
	Hirsiseinä 1	Hirsiseinä 2	Hirsiseinä 3	Us1	Us2	Us3
U-arvo W/m <sup>2</sup> K	0.137	0.146	0.233	0.164	0.169	0.174
Min. Lämpöhäviö kWh	0.305	0.325	0.52	0.365	0.377	0.388
Max. lämpöhäviö kWh	2.62	2.789	4.457	3.129	3.233	3.327
Min. lämpöhäviö kWh, Maastricht	0.285	0,304	0.486	-	-	-
Max. lämpöhäviö kWh, Maastricht	1.835	1.954	3.122	-	-	-
Vähäistä kosteutta talvisin	Kyllä	kyllä	Kyllä	ei	ei	ei

Taulukosta 23 näemme lämpö-dof-ohjelmasta saatujen laskemien tulokset. U-arvoltaan paras hirsiseinä oli Hirsiseinä 1 ja tolpparunkoinen puuseinä Us1. U-arvoltaan huonoimmin hirsirakenteista pärjäsi hirsiseinä 3 ja Us3. Hirsiseinällä 1 oli kaikkein paras U-arvo hirs- ja puuseinien kesken, 0.137 W/m<sup>2</sup>K.

Hirsirakenteisiin kertyy talviaikoina pieni määrä kosteutta sekä Helsingin että Alankomaiden olosuhteissa. Kesäkuukausina huhtikuusta alkaen kostetta ei synny. Kosteusmäärät olivat kuitenkin niin vähäiset, etteivät ne aiheuta home- tai kosteusvaurioita. Hirsiseinä 2 sai toimivuudeltaan huonoimmat tulokset. Kosteuden tiivistyminen Hirsiseinä 2:n mineraalivillan ulompaan pintaan ja siitä johtuva eristeen toimivuuden heikentyminen ovat mahdollisia. Koska kosteusmäärät eivät ole suuria, ei kosteus aiheuta Hirsiseinä 2:lle suuria rakennevikoja tai homeutumista. Tolpparunkoseiniin ei kerääntynyt minään kuu-kautena kosteutta ja ovat näin ollen erinomaisia matala- ja passiivenergiataloihin. Tolpparunkoiset ulkoseinät toimivat hyvin myös Alankomaissa.

Lämpöhäviöiden tarkastelussa Hirsiseinä 1 ja Us1 olivat parhaimpia, hirsiseinä 2 ja Us3 heikoimpia. Alankomaiden sääolosuhteissa rakenteet toimivat paremmin kuin Helsingin olosuhteissa.

## 8 YHTEENVETO

Tässä työssä käsiteltiin matala- ja passiivenergiatalojen toimintaa, standardeja ja vaatimuksia. Työhön valittiin kolme hirsirunkoista ja kolme tolpparunkoista puuseinää joista tutkittiin sopisivatko ne matala- ja passiivenergiatalojen seiniksi. Työssä käytiin läpi matala- ja passiivitaloihin liittyvää ekologisuu- tta ja elinkaariajattelua. Seinärakenteille valittiin mahdollisimman ekologiset materiaalit joiden toimivuudet tarkasteltiin. Ympäristölle haitallisten päästöjen vuoksi työssä otettiin huomioon ympäristöohjeita sekä ympäristö- merkintöjä, jotka edesauttavat päästöjen vähenemisessä.

Työssä käytettiin ohjelmaa dof-lämpö, jonka kautta seinärakenteille saatiin lasketuksi fysikaaliset ominaisuudet. Hirsi- ja puuseinät täyttivät matala- ja passiivenergiatalojen standardit. Ulkoseinien U-arvot olivat hyviä, paljon alle maksimin. Hirsiseiniin todettiin talvikuukausina kerääntyvän eristeiden ulko- puolelle vähäinen määrä kosteutta. Kosteuden määrä ei kuitenkaan ollut hai- tallista eikä aiheuta homeriskejä. Kosteusmäärät eivät parantuneet Alanko- maiden olosuhteissa, mutta rakenteiden lämpöhäviöt olivat siellä pienem- mät. Hirsiseinä 2:ssa käytettiin mineraalivillaa, joka saattaa tiivistyneen kos- teuden vuoksi menettää toimivuuttaan. Suurta rakennevikaa tai rakenneon- gelmaa hirsiseinä 2:lle ei kuitenkaan synny. Tolpparakenteiset puuseinät toimivat kaikissa olosuhteissa ja kuukausina erinomaisesti.

Työssä todettiin että matala- ja passiivenergiatalot mm. vähentävät asumis- kustannuksia, huoltokustannuksia, energiankulutuksia ja päästöongelmia. Valittaessa ekologisesti ja elinkaariajattelun kannalta oikeanlaisia valmistajia ja tuotteita saadaan asumisympäristöt paremmiksi. Suunnitteluvaiheen rat- kaisuilla on suuri merkitys rakentamisessa. Ilmanvaihdolla oli tärkeä vaikutus matala- ja passiivenergiatalojen toimivuuteen.

Matala- ja passiivenergiatalojen toimivuuden ja tehokkuuden perusteena on kuitenkin asukkaiden ja rakennusten käyttäjien oikea asennoituminen. Mata- la- ja passiivenergiatalojen hyötyjä ei saada maksimoiduksi, mikäli niiden käyttäjät eivät osaa käyttää niiden toimintoja hyväkseen. Oikean lämpötilan ylläpitäminen lämmitys- ja ilmanvaihtolaitteistoilla on tärkeää. Esimerkiksi lii- an korkean huoneilman ylläpitäminen ja jatkuva tuulettaminen vähentävät matala- ja passiivenergiatalojen toimivuutta. Matala- ja passiivenergiataloi-

hin sopivien laitteistojen hankkimisella on merkitystä talojen toimivuuden kanssa. Halvin mahdollinen ei aina paras ratkaisu.

Pyrimme terveysvaikutuksiltaan parempaan, ekologiset seikat huomioon otettavaan rakentamiseen. Suomessa puurakentaminen on suosittua. Hirsirakentamisella on pitkät perinteet suomalaisessa rakentamisessa ja se sopii julkisivukuvaamme hyvin. Puu on uudistuva rakennusmateriaali, se tuottaa vähiten päästöjä ja sitoo itseensä hiilidioksidia. Puu on myös kierrätyskelppoinen aine. Puurakentaminen sopii erityisen hyvin Suomen oloihin. Niinpä hallitusohjelmassakin sitoudutaan puurakentamisen edistämiseen osana ekologisen rakentamisen toimenpideohjelmalla. Matala- ja passiivienergiatalojen osuus tässä ohjelmassa on ja tulee olemaan suuri.

## VIITELUETTELO

- [1] Paroc Oy Ab. *Energiaviisastalo* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 18.8.2008]. Saatavissa: <http://www.energiaviisastalo.fi>
- [2] VTT. *Passiivitalo* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 18.8.2008]. Saatavissa: <http://passivehouse.vtt.fi/index.html>
- [3] Ympäristöministeriö. *Uudet vaatimukset vähentävät rakennusten energiankulutusta* [tiedote]. 6.11.2002 [viitattu 3.10.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=66594&lan=FI>
- [4] VTT. *Matalaenergiatalot ja sähkölämmitys* [verkkodokumentti]. 9.11.2004 [viitattu 3.10.2008]. Saatavissa: <http://www.sahkolammitysfoorumi.com/VTT-matalaenergiatalo.pdf>
- [5] Jyri Nieminen, VTT. *Energiatehokas rakentaminen* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 3.10.2008]. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster5\\_metsa\\_kemia\\_ymparisto/Nieminen.pdf](http://www.vtt.fi/liitetiedostot/cluster5_metsa_kemia_ymparisto/Nieminen.pdf)
- [6] Suomen rakennusmääräyskokoelma, Osa C3, *rakennuksen lämmöneristys määräykset* [verkkodokumentti]. 19.6.2007 [viitattu 2.10.2008]. Saatavissa: [http://www.finlex.fi/data/normit/29517-C3\\_2007.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/29517-C3_2007.pdf)
- [7] Säästäenergiaa.fi. *Säästä energiaa* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 3.10.2008]. Saatavissa: <http://www.saastaenergiaa.fi/?portaali=saastaenergiaa&sivuid=72p=/S%E4%E4st%F6laskelma/>
- [8] Säästäenergiaa.fi. *Säästölaskelma* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 3.10.2008]. Saatavissa: <http://www.saastaenergiaa.fi/?portaali=saastaenergiaa&sivuid=72&p=/S%E4%E4st%F6laskelma/>
- [9.] Energiatehokas koti. *Virtuaaliopas* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 3.10.2008]. Saatavissa: <http://www.energiatehokaskoti.fi/flashguide/>
- [10] Ympäristöministeriö. *Ekotehokkuus ja elinkaariajattelu rakentamisessa* [verkkodokumentti]. 14.8.2008 [viitattu 23.10.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=5548&lan=fi#a0>
- [11] Ympäristöministeriö. *Elinkaariajattelu ja -arviointi* [verkkodokumentti]. 7.8.2008 [viitattu 23.10.2008]. Saatavissa: <http://www.environment.fi/default.asp?contentid=83571&lan=fi>
- [12] Ympäristöministeriö. *Ekotehokkuus* [verkkodokumentti]. 31.7.2008 [viitattu 23.10.2008]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?node=180&lan=fi>
- [13] Metsäteollisuus. *Puurakentaminen pitää huolta ilmastosta* [verkkodokumentti]. 29.3.2006 [viitattu 31.10.2008]. Saatavissa: <http://www.metsateollisuus.fi/JuuriNyt/Uutiset/Sivut/Puurakentaminen.aspx>



- [14] VTT. *Rakennusten energiatalouden parantaminen kannattaa energian hintojen noustessa* [verkkodokumentti]. 16.4.2007 [viitattu 8.12.2008]. Saatavissa: [http://www.vtt.fi/vtt/16042007\\_rakennusten\\_energiatalous.jsp](http://www.vtt.fi/vtt/16042007_rakennusten_energiatalous.jsp)
- [15] Tilastokeskus. *Hiilidioksidipäästöt päästöluokittain 1990, 1995 - 2006* [verkkodokumentti]. 12.12.2007 [viitattu 8.12.2008]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/khki/2006/khki\\_2006\\_2007-12-12\\_tau\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/khki/2006/khki_2006_2007-12-12_tau_002_fi.html)
- [16] Arto Saari, TKK *Rakentamistalous. Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet* [verkkodokumentti]. 2001 [viitattu 12.12.2008]. Saatavissa: <http://www.rts.fi/Ymparistoseosteet.pdf>
- [17] Helsingin kaupunki. *Rakentajan ekotieto* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 31.10.2008]. Saatavissa: <http://www.rakentajanekolaskuri.fi/ikkuna.php>
- [18] Puuinfo. *Avoin puurakennusjärjestelmä* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 31.10.2008]. Saatavissa: [http://www.puuinfo.fi/fi/ammattilaisten\\_palvelut/rakennussuunnittelu/puucad\\_detalijikirjasto/unknown\\_title/](http://www.puuinfo.fi/fi/ammattilaisten_palvelut/rakennussuunnittelu/puucad_detalijikirjasto/unknown_title/)
- [19] Panu Kaila. *Talotohtori, rakentajan pikkujättiläinen*. 6. painos. Helsinki: WSOY. 2000
- [20] *Lämmöneristeet* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 24.11.2008]. Saatavissa: <http://194.111.144.156/rakennusalanperustutkinto/lampo/eriste.htm>
- [21] Puuinfo. *Rakenteen ilman- ja höyrynsulut* [verkkodokumentti]. 13.1.2003 [viitattu 24.11.2008]. Saatavissa: [http://www.puuinfo.fi/fi/?\\_EVA\\_WYSIWYG\\_FILE=6499&name=file](http://www.puuinfo.fi/fi/?_EVA_WYSIWYG_FILE=6499&name=file)
- [22] Isola-Planton Oy. *Isola Tyvek Soft tuulensuoja* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 24.11.2008]. Saatavissa: [http://www.isola.fi/products/wallsystem/soft\\_vindsperre\\_wind\\_barrier](http://www.isola.fi/products/wallsystem/soft_vindsperre_wind_barrier)
- [23] D.O.F. tech Oy. *Doflämpö versio 2.2* [verkkodokumentti]. 2003 [viitattu 24.11.2008]. Saatavissa: <http://www.dof.fi/suomi/manuals/DOF-lampo.pdf>
- [24] *Kosteudesta* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 25.11.2008]. Saatavissa: <http://194.111.144.156/rakennusalanperustutkinto/lampo/kosteudesta.htm>
- [25] Jämerä. *Energiamääräykset muuttavat rakentamista* [verkkodokumentti]. Julkaisuaika tuntematon [viitattu 25.11.2008]. Saatavissa: <http://www.jamera.fi/files/jamera/energiatalous-sisaltoja/energiamaaraykset-artikkeli.pdf>

[Kansi](#)

## ENERGIATODISTUS

(VTT-energiainfo 6.2, kehitysversio 6.2.06)

## Rakennus

Rakennustyyppi	Omakotitalo	Valmistumisvuosi	2005
Osoite	Kourankuja 2 90460 Oulunsalo	Rakennustunnus	
		Asuntojen lkm	1

Energiatodistus perustuu laskennalliseen kulutukseen ja on annettu

rakennuslupamenettelyn yhteydessä  
 erillisen tarkastuksen yhteydessä

ET-luku	Vähän kuluttava	Rakennuksen ET-luokka
-150	A	A
151-170	B	-
171-190	C	-
191-230	D	-
231-270	E	-
271-320	F	-
321-	G	-

Paljon kuluttava

Rakennuksen energiatehokkuusluku (ET-luku, kWh/bm<sup>2</sup>/vuosi): **75**  
 Energiatehokkuusluvun luokitteluasteikko: PIENET ASUINRAKENNUKSET

Energiatehokkuusluku perustuu rakennuksen laskennalliseen energiankulutukseen. Todellinen kulutus riippuu rakennuksen sijainnista, asukkaiden lukumäärästä ja asumistottumuksista.

Todistuksen antaja	Todistuksen tilaaja
Jari Myllynen	Jussi Eilola
Allekirjoitus	
Todistuksen antamispäivä:	Viimeinen voimassaolopäivä
28.3.2008	27.3.2018

Energiatodistus perustuu lakiin rakennusten energiatodistuksesta (487/2007) ja 19.6.2007 annettuun ympäristöministeriön asetukseen energiatodistuksista. Tämä energiatodistus on asetuksen lomakkeen 1 mukainen.

Passiivitalo. Energiatodistus [verkkodokumentti]. Julkaisu-aika tuntematon [viitattu 25.11.2008]. Saatavissa:  
<http://209.85.129.132/search?q=cache:bN389ByBOtkJ:passiivitalo.net/Energiatodistus%2520Talo%25201.pdf+energiatodistus,+oulu+n+rakennusvalvonta+ja+vtt&hl=fi&ct=clnk&cd=1&gl=fi&client=firefox-a>