



TAMPEREEN
AMMATTIKORKEAKOULU

ENERGIATEHOKAS PIENTALO

Riku Bomberg

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2016
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka



TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka
Talonrakennustekniikka

BOMBERG, RIKU:
Energiatehokas pientalo

Opinnäytetyö 55 sivua, joista liitteitä 8 sivua
Huhtikuu 2016

Hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi rakennuksien energiatehokkuutta joudutaan parantamaan. Tämän seurauksena rakennuksia ja rakenteiden toimivuutta pitää tarkastella uudestaan. Pitää selvittää mitkä asiat vaikuttavat rakennuksen energiatehokkuuteen.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda katsaus siihen, mitä on otettava huomioon rakennettaessa energiatehokasta pientaloa. Ja eroaako Ruotsissa rakennettu energiatehokas pientalo Suomessa rakennetusta. Opinnäytetyössä tutkittiin, miten arkkitehtuuri, rakennustekniikka ja talotekniikka vaikuttavat energiatehokkaassa pientalossa. Ja miten rakenteet muuttuvat kiristyneiden lämmöneristysvaatimusten myötä. Opinnäytetyöhön hankittiin tietoa aiheeseen liittyvästä materiaalista. Vieraskielinen materiaali oli työn edistymisen kannalta välttämätöntä.

Opinnäytetyön tuloksena oli, että rakennuksen muodolla, sijainnilla tai tilasuunnittelulla voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, mutta tärkeimmät keinot energiatehokkuuden parantamiseen olivat lämmöneristävyyden, ilmatiiviyden ja lämmöntalteenoton parantaminen. Opinnäytetyössä huomattiin, että erot Suomen ja Ruotsin välillä olivat pienet koskien energiatehokasta rakentamista. Syynä tähän olivat, määräysten yhdenmukaisuus sekä samankaltaiset ilmasto-olosuhteet.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Construction technology
Building construction technology

BOMBERG, RIKU:
Energy efficient small residential building

Bachelor's thesis 55 pages, appendices 8 pages
April 2016

In order to reduce carbon-dioxide emissions, we have to improve buildings energy efficiency. Therefore, we have to study again buildings and structures functions. We have to find out, what are the things that affects buildings energy efficiency.

Bachelor's thesis goal was to create a look into what needs to take account when you're constructing an energy efficient small residential building. And does energy efficient house in Sweden has any difference from Finland. In this Bachelor's thesis were examined how architecture, construction technology and building services affects in energy efficient building. And how structures will change when thermal insulation amounts are getting stricter. Information for thesis was received from material based on the subject. Foreign material was inevitable for continuing with the Bachelor's thesis.

Bachelor's thesis result was, that you can improve buildings energy efficiency by affecting in buildings shape, location or space design. But the most important ways of improving buildings energy efficiency were thermal insulance, air tightness and improved heat transfer. In this Bachelor's thesis were noticed that differences in energy efficient buildings between Sweden and Finland are quite small. Reasons for this were uniform regulations and same kind of climate conditions.

Key words: buildings energy efficiency, thermal insulance, air tightness

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUSDIREKTIIVI.....	7
	2.1 Kansainvälinen määritelmä.....	7
	2.2 Suomessa	7
	2.3 Ruotsissa	7
3	ENERGIATODISTUS	9
	3.1 Tavoite	9
	3.2 Käyttö.....	10
	3.3 E-luku.....	10
4	PIENTALON VAIHTOEHDOT.....	12
	4.1 Johdanto	12
	4.2 Matalaenergiatalo.....	12
	4.3 Passiivitalo	13
	4.4 Lähes nollaenergiatalo	14
	4.5 Plusenergiatalo	16
5	ARKKITEHTUURI	18
	5.1 Johdanto	18
	5.2 Muoto.....	18
	5.3 Sijainti	19
	5.4 Pohja ja tilat	20
	5.5 Ovet.....	21
	5.6 Ikkunat	22
6	RAKENNUSTEKNIikka	24
	6.1 Johdanto	24
	6.2 Lämmöneristävyys	24
	6.3 Ilmatiiveys	26
	6.4 Kosteus.....	28
	6.5 Perusrakenne	30
	6.6 Alapohjarakenne	31
	6.7 Ulkoseinärakenne.....	33
	6.8 Yläpohjarakenne	36
7	TALOTEKNIikka	38
	7.1 Johdanto	38
	7.2 Ilmanvaihtolämmitys	38
	7.3 Maalämpö	39
	7.4 Hybridilämmitys	39

7.5	Jäähdytys.....	40
7.6	Ilmanvaihto	41
8	HAASTEET	42
8.1	Tieto ja taito	42
9	POHDINTA.....	44
9.1	Työn tulokset	44
9.2	Työn johtopäätökset.....	44
	LÄHTEET.....	45
	LIITTEET	48
	Liite 1. Ilmanpitävyyden rakentaminen.....	48
	Liite 2. Dof-lämpö-tulosteet	52

1 JOHDANTO

Energiatehokkuutta tukeva rakennusten lämmöneristysvaatimusten kiristyminen on johdantanut energiatehokkaisiin rakennuksiin, joissa rakenteita on jouduttu muuttamaan hiilidioksidipäästöjen vähentämiseksi. Rakennuksen lämmittäminen pelkästään radiaattoreilla tai vesikiertoisella lattialämmityksellä yhdessä painovoimaisen ilmanvaihdon kanssa ei enää toimi energiatehokkaassa rakennuksessa. Rakenteet ovat ilmatiiviitä ja energian käyttöön kiinnitetään enemmän huomiota. Rakenteet muuttuvat energiatehokkuuden vaatimusten myötä paksummiksi ja tiiviimmiksi.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tarkastella arkkitehtuurin, rakennetekniikan ja talotekniikan vaikutuksia energiatehokkaassa pientalossa. Tarkasteluissa otettiin huomioon vain tärkeimmät energiatehokkuuteen vaikuttavat tekijät. Rakenteiden laskennallinen tarkastelu jäi kosteuden ja u-arvon tutkimiseen DOF-Lämpö ohjelmalla.

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda katsaus siihen, mitä on otettava huomioon rakennettaessa energiatehokasta pientaloa. Ja eroaako Ruotsissa rakennettu energiatehokas pientalo Suomessa rakennetusta. Tietoa tästä ei ollut, eikä voinut varmuudella sanoa, miten rakentamisen määräyksiä ja ohjeita tulkitaan kansallisesti.

2 RAKENNUSTEN ENERGIATEHOKKUUSDIREKTIIVI

2.1 Kansainvälinen määritelmä

Lähtökohtana energiatehokkaille rakennuksille on Euroopan Unionin antama rakennusten energiatehokkuutta koskeva direktiivi (2010/31/EU) vuonna 2010. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin tavoitteena on vähentää hiilidioksidipäästöjä parantamalla rakennusten energiatehokkuutta. Direktiivi vaikuttaa pientalojen uudis- että korjausrakentamiseen. Direktiivissä otetaan huomioon kolme eri osa-aluetta: energiatodistuksen käyttöönotto; energiatehokkuuden vähimmäisvaatimukset; ja lämmityskattiloiden ja ilmastointilaitteiden määräaikaistarkastukset. Direktiiviä joudutaan soveltamaan maittain, sillä ilmasto-olosuhteet, paikalliset olosuhteet, sisäilmastolle asetetut vaatimukset ja kustannustehokkuus eivät pysy samoina kaikissa maissa. (Motiva 2015.)

2.2 Suomessa

Suomi sitoutui EU:n jäsenmaana yhdessä muiden EU jäsenmaiden kanssa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjen kokonaismäärää vuoteen 2020 mennessä vähintään 20 prosenttia vuoden 1990 tasosta ja 30 prosenttia, jos saadaan aikaan kansainvälinen sopimus. Tavoitteena on myös lisätä uusiutuvien energialähteiden osuutta energian loppukäytöstä 20 prosenttiin ja lisätä energiatehokkuutta 20 prosentilla, jotta saavutetaan energia- ja ilmastotavoitteet 20-20-20. (Euroopan parlamentin ja... 2010, 155/13.)

2.3 Ruotsissa

Ruotsi sitoutui myös EU:n jäsenmaana yhdessä muiden EU jäsenmaiden kanssa vähentämään kasvihuonekaasupäästöjä 20 prosentilla vuoden 1990 tasoon verrattuna sekä lisäämään uusiutuvien energialähteiden osuutta energian loppukäytöstä 20 prosenttiin ja lisäämään energiatehokkuutta 20 prosentilla. Ruotsi asetti omat kansalliset tavoitteet ajamaan läpi tarvittavat uudistukset. Kansallisten tavoitteiden tulee olla kunnianhimoisia, mutta realistisia ja noudattaa kestäväää kasvua ja tervettä julkista taloutta. Lisäksi Ruotsissa py-

ritään puolittamaan energian ominaiskulutus vuoteen 2050 mennessä vuoden 1995 tasosta. Tavoitteesta käytetään nimeä ”Hyvin rakennettu ympäristö”. Noin 40 prosenttia Ruotsin kokonaisenergiankulutuksesta kuluu rakennuksissa, joten rakennusten energiankulutuksen pienentäminen vaikuttaa koko maan energiankulutukseen. (Government Offices of Sweden, 2015.)

3 ENERGIATODISTUS

3.1 Tavoite

Energiatodistus on työkalu, jolla seurataan EU-direktiiviä rakennusten energiatehokkuudesta sekä rakennusten energiatehokkuutta määrittämällä rakennuksille energiatehokkuusluokka. Energiatehokkuusluokan avulla kuvataan rakennuksen kokonaisenergian kulutusta, asteikolla A–G. Laskennassa painotetaan erilaisia energiamuotoja kertoimilla, suosien uusiutuvia energiamuotoja. Taulukossa 1 näkyy Ruotsissa käytettävät kertoimet ja taulukossa 2 Suomessa käytettävä kertoimet. Mitä pienempi kerroin, niin sitä parempi arvo on rakennuksen energiatehokkuuden näkökulmasta. (YMPARISTO 2015.)

Taulukko 1. Energiamuotojen kertoimet Ruotsissa (Wahlström 2009, 22.)

Energibärare	Energiviktningfaktor
Avfall	0,7
Biogas	0
Biobränsle	1,2
El	2,0
Kol	1,4
Industriell spillvärme	0
Naturgas	1,2
Olja	1,2
Returträ	0,7
Solvärme	0
Torv	1,1

Taulukko 2. Energiamuotojen kertoimet Suomessa (Finlex 176/2013, 3.)

Energiamuoto	Kerroin
Sähkö	1,7
Kaukolämpö	0,7
Kaukojäähdytys	0,4
Fossiiliset polttoaineet	1,0
Uusiutuvat polttoaineet	0,5

3.2 Käyttö

Energiatodistus on ollut Suomessa käytössä vuodesta 2008 lähtien kaikessa uudisrakentamisessa sekä vuodesta 2009 myynti- ja vuokraustilanteissa suurissa rakennuksissa sekä uusissa pientaloissa. Uudistetut energiatodistukset tulivat voimaan 1.6.2013, mutta niiden käyttöönotto aloitettiin vaiheittain. (Ympäristö 2015.) Ruotsissa laki energian käyttöön rakennuksissa sertifiointiin hyväksyttiin vuonna 2006. Tammikuun 2009 jälkeen todistus vaadittiin jo kaikilta rakennuksilta.

3.3 E-luku

Energiatehokkuusluokan määrittää laskennallinen energialuku (E-luku), joka koostuu rakennuksen vuotuisesta ostoenergian tarpeesta neliometriä kohti (kWh/m² vuodessa) ja m² on lämmitetty nettoala, joka tarkoittaa rakennuksen ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettua pinta-alaa. Rakennuksen energiatodistuksessa ilmoitettava kokonaisenergiankulutus eli E-luku lasketaan jokaiselle rakennukselle tai erikseen rakennuksen käyttötarkoituusluokkien mukaisille osille. (Finlex 176/2013, 3.)

Ruotsissa paras energiatehokkuusluokka A saavutetaan puolittamalla nykymääräysten vaatiman talon kokonaisenergiankulutus. Nykymääräysten vaatiman talon energiatehokkuusluokka on C. Huonoin luokka G, puolestaan tulee, kun rakennuksen kokonaisenergiankulutus on yli 235 prosenttia suurempi. Muiden luokkien vaatimukset näkyvät taulukossa 3 (Boverket, 2014).

Taulukko 3. Ruotsin energiatehokkuusluokitus (Boverket, 2014.)

A = $E \leq 50$ %
B = $E > 50 - \leq 75$ %
C = $E > 75 - \leq 100$ %
D = $E > 100 - \leq 135$ %
E = $E > 135 - \leq 180$ %
F = $E > 180 - \leq 235$ %
G = $E > 235$ %

Suomessa paras energiatehokkuusluokka A saavutetaan kokonaisenergiankulutuksella, joka on pienempi kuin 83 kWh/m^2 . Nykymääräysten vaatiman talon energiatehokkuusluokka on C. Huonoin luokka G, puolestaan tulee, kun rakennuksen kokonaisenergiankulutus on yli 453 kWh/m^2 . Muiden luokkien vaatimukset näkyvät taulukossa. Suomen energiatehokkuusluokitukset näkyvät taulukossa 4. Suomessa luokitukset vaihtelevat rakennuksen pinta-alan mukaan. Taulukossa 4 näkyvät arvot ovat rakennukselle: $150 < A < 600 \text{ m}^2$. (Finlex 176/2013, 19.)

Taulukko 4. Suomen energiatehokkuusluokitus (Finlex 176/2013, 19.)

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh_E/m^2 vuosi)
A	$E\text{-luku} \leq 83 - 0,02 \times A_{\text{netto}}$
B	$83 - 0,02 \times A_{\text{netto}} < E\text{-luku} \leq 131 - 0,04 \times A_{\text{netto}}$
C	$131 - 0,04 \times A_{\text{netto}} < E\text{-luku} \leq 173 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
D	$173 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < E\text{-luku} \leq 253 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
E	$253 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < E\text{-luku} \leq 383 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
F	$383 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < E\text{-luku} \leq 453 - 0,07 \times A_{\text{netto}}$
G	$453 - 0,07 \times A_{\text{netto}} < E\text{-luku}$

4 PIENTALON VAIHTOEHDOT

4.1 Johdanto

Energiatehokkuuden kiristymisen myötä joudutaan rakentamaan energiatehokkaampia rakennuksia. Energiatehokkaalle rakennukselle on useita vaihtoehtoja energiankulutuksen ja määräysten mukaan. Vaihtoehtoina ovat mm. matalaenergiatalo, passiivitalo, lähes nollaenergiatalo ja plusenergiatalo. Rakennukset eroavat toisistaan mm. rakenteiltaan ja energiankulutukseltaan.

4.2 Matalaenergiatalo

Uusien rakentamismääräysten ja tiukentuneiden vaatimusten myötä, myös matalaenergiatalon määritelmä on muuttunut Suomessa. Uusien rakentamismääräysten ohjeiden mukaan matalaenergiarakennusta suunniteltaessa tulisi laskennallisten lämpöhäviöiden olla enintään 85 prosenttia rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Suomen määritelmän mukaan matalaenergiatalo kuluttaa lämmitysenergiaa 60 kWh/brm² - 90 kWh/brm² vuodessa, riippuen sijainnista. Ruotsissa matalaenergiatalo puolestaan määritellään taloksi, jonka vaatimukset ovat passiivitalon ja rakentamismääräysten mukaisen talon välillä. (Motiva. Matalaenergiatalo, 2015.)

Suomi on yksi seitsemästä Euroopan maasta, jolla on virallinen määritelmä matalaenergiatalolle. Muut ovat: Itävalta, Tšekki, Tanska, Iso-Britannia (Englanti & Wales), Ranska, ja Saksa. Maita, joilla on suunnitteilla virallinen määritelmä, ovat: Belgia, Luxemburg, Romania, Slovakia, Norja, Sveitsi ja Ruotsi. Ruotsi aikoo saada virallisen määritelmän matalaenergiatalolle, mutta se on vielä vaiheessa. (Thomsen & B. 2008, 6.)

Ruotsissa on käynnissä useita aloitteita matalaenergiatalon määritelmän määrittämiseksi. Ensimmäisenä standardointi SIS tk189, joka aloitti työryhmän standardoidakseen määritelmän matalaenergiatalolle Ruotsin energiaviraston aloitteesta. Toisena aloitteena tutkimusprojekti ”rakentamisen vuoropuhelu”, jossa annetaan ehdotuksia rakennusten energiatehokkuuden luokitukseen. Ehdotuksia annettiin kolme; energiankulutus per lämmitetty alue, virrankulutus per lämmitetty alue tai peruspoltoainetyypin käyttöön liittyvä

luokitus. National Board ja energiajärjestö aikovat yhdessä tarkastella mahdollisuuksia tehdä Ruotsin ehdotus matalaenergia- ja passiivitaloille. (Thomsen & B. 2008, 15.)

4.3 Passiivitalo

Passiivitalo on vaihtoehto hieman energiatehokkaammalle rakennukselle. Passiivitalolle on olemassa useita erilaisia määritelmiä. Suomessa ja Ruotsissa ovat omat määritelmät passiivitaloille, missä otetaan huomioon paikallinen ilmasto. Yleisen määritelmän mukaan passiivienergiatalo ei tarvitse lainkaan lämmitys- eikä jäähdytysenergiaa. Tähän on kuitenkin mahdotonta päästä kustannustehokkaasti Pohjoismaissa. Suomen VTT:n määritelmän mukaan passiivitalo tarvitsee Suomessa lämmitysenergiaa 20 kWh/brm² - 30 kWh/brm² vuodessa, riippuen sijainnista. Kriteerit passiivitalolle vaihtelevat eri maissa riippuen olemassa olevasta paikallisesta ilmastosta ja rakennusmääräyksistä. (Motiva. Passiivienergiatalo, 2015.)

Ruotsin nollaenergiataloihin keskittyvän järjestön (SCNH) määritelmä passiivitaloille on: "Talot, joissa on korkeatasoista mukavuutta, hyvää laatua, käyttää vain vähän energiaa ja edistää hiilidioksidipäästöjen vähentämistä" [IPha 2010]. SCNH on järjestö, jonka tavoitteena on edistää matalaenergiatalojen rakentamista, koskien myös passiivitaloja. SCNH on julkaissut määräyskokoelman (FEBY 12), jossa luetellaan vaatimukset lähes nollaenergia-, passiivi- ja matalaenergiataloille. Vaatimuksissa otetaan huomioon kansainväliset kriteerit, sekä Ruotsin eri ilmastoalueiden vaikutukset. (Danielski, Svensson & Fröling 2013, 2.)

Ruotsissa on kolme eri ilmastoaluetta; 1, 2 ja 3. (Kuvio 1.) Alueeseen 1 kuuluvat: Norrbottens, Västerbottens och Jämtlands län. Alueeseen 2 kuuluvat: Västernorrlands, Gävleborgs, Dalarnas och Värmlands län. Alueeseen 3 kuuluvat: Västra Götalands, Jönköpings, Kronobergs, Kalmar, Östergötlands, Södermanlands, Örebro, Västmanlands, Stockholms, Uppsala, Skåne, Hallands, Blekinge och Gotlands län. (BFS 2013:14, 39.)



Kuvio 1. Ruotsin ilmastoalueet (Danielski, Svensson & Fröling 2013, 2.)

Ruotsissa rakennuksen lämmitysenergian tarve riippuu käytettävästä lämmitysmuodosta (Taulukko 5.). Sähkön käyttämistä pidetään pahana energiatehokkaassa rakennuksessa, mikä näkyy myös suurena energiamuotokertoimena taulukossa 2. Lämmitystarve on Ruotsissa minimissään sama, kuin Pohjois-Suomessa. Ruotsissa kannustetaan energiatehokkaaseen rakentamiseen rahoittamalla passiivitalojen rakentamista ja dokumentointia. (Danielski, Svensson & Fröling 2013, 2.)

Taulukko 5. Ruotsin vaatimukset passiivitalolle. (Danielski, Svensson & Fröling 2013, 2.)

Ilmastoalue		I	II	III
Lämmitysenergian vaatimus	W/m^2	19	18	17
Ei sähkölämmitys	$kWh/m^2 a$	63	59	55
Sähkölämmitys	$kWh/m^2 a$	31	29	27
Lämmitysjärjestelmien yhdistely	$kWh/m^2 a$	78	73	68

4.4 Lähes nollaenergiatalo

Rakennusten energiatehokkuusdirektiivin myötä kaikkien uudispientalojen tulee täyttää lähes nollaenergiatalon vaatimukset vuodesta 2020 lähtien. Lähes nollaenergiatalolle ei ole vakiintunutta määritelmää, vaan sille on käytössä erilaisia määritelmiä laskentatavasta riippuen. Lähes nollaenergiatalossa käytetään uusiutuvaa energiaa, jolla talo ja käyttövesi

lämmitetään. Rakennuksessa käytetyn uusiutuvan energian johdosta määritelmät perustuvat rakennuksessa käytön aikana tuotetun ja kulutetun energian taseeseen. Esimerkiksi Ruotsissa nollaenergiatalo on kuin passiivitalo, mutta johon lisäksi vaaditaan, että rakennukseen toimitetun kokonaisenergian on oltava pienempi tai yhtä suuri kuin rakennuksen tuottama kokonaisenergia vuoden aikana. Ruotsi on lähettänyt ehdotuksen koskien lähes nollaenergiatalojen energiankulutusta (Kuvio 2.). (Nieminen & Lylykangas 2009, 18.)

	Eluppvärmda byggnader (kWh/m ²)
Klimatzon I	45
Klimatzon II	35
Klimatzon III	25

Kuvio 2. Ruotsin vaatimukset lähes nollaenergiatalolle (renZERO.)

Suomi on laatinut FInZEB-hankkeen, jonka tavoitteena on luoda pohja kansalliselle tulokinnalle lähes nollaenergiarakennuksia koskeviin määritelmiin. FInZEB-hankkeessa määritellään ehdotus ominaisuuksista, jotka lähes nollaenergiarakennuksen tulee täyttää. Lähes nollaenergiatarkastelu tulee tehdä vaiheittain, jolloin osa vaatimusten täyttymisestä osoitettava rakennuslupaa haettaessa ja loppujen vaatimusten on täytyttävä käyttöönotto-tarkastukseen mennessä. Ensimmäisessä vaiheessa tarkastellaan rakennuksen lämpöhäviöitä. Toisessa vaiheessa tarkastellaan rakennuksen keinoja rajoittaa sähkötehoa huippu-aikoina. Kolmannessa vaiheessa tarkastellaan rakennuksen kokonaisenergiankulutusta ja E-lukua. Pientaloissa E-luvun vaatimusraja vaihtelee koon mukaan, tässä esitetyt kokoluokalle 270...100 m². (Kuvio 3.) Pientalolla muutos voi olla noin 22 %. Viimeisessä vaiheessa tarkastellaan rakennuksen muita vaatimuksia. (Reinikainen, Loisa & Tyni 2015, 8, 26-30.)

	E-lukuraja D3/2012	Ehdotus nZEB-E- luvulle	Muutos nykyisestä
Pientalot *	154...204	120...204	
Hirsitalot **	180...229	140...245	
Asuinkerrostalo	130	116	-11 %
Toimisto	170	90	- 47 %
Koulu	170	104	- 39 %
Päiväkoti	170	107	- 37 %
Liikerakennus	240	143	- 40 %
Liikuntahalli	170	115	- 32 %
Majoitusliikerakennus	240	182	- 24 %
Sairaala	450	418	- 7 %

Kuvio 3. Ehdotukset eri rakennusten nZEB-E-lukutasoksi (Reinikainen, Loisa & Tyni 2015, 26.)

4.5 Plusenergiatalo

Haastavimpana vaihtoehtona energiatehokkaalle pientalolle, voidaan pitää plusenergiataloa. Plusenergiatalossa kokonaisenergian tuotto vuodessa on suurempi, kuin mitä kulutus. Vaikka energiaa ei tuotettaisikaan enemmän joka päivä, riittää että esimerkiksi keväällä ja kesällä tuotetaan sähköä kattamaan pimeimpänä ja kylmimpänä vuodenaikana ostettu sähkö. Pohjoismaissa energian tuottaminen on haastavaa talviaikaan ja illalla, eikä kulu- tusta voida näin ollen ajoittaa aina tuoton mukaan. (Energiatehokas koti 2016.)

Plusenergiatalossa yhdistetään monia energiatehokkaita ratkaisuja. Plusenergiatalo hyödyntää energiaa, joka on jo talossa, mutta keskittyy myös ulkoisen energian tuottamiseen. Aurinkopaneeleiden ja aurinkokennojen avulla plusenergiatalo tuottaa sähköä sekä lämmittää käyttöveden, mikä saa omistajat täysin riippumattomaksi energiantoimittajista. Ylimääräinen energia mahdollistaa myös energian myymisen, kun sitä ei tarvita. Tämä auttaa minimoimaan talon käyttökustannuksia, jos sähkön myynti on mahdollista. Tämä ei kaikissa sähköyhtiöissä onnistu, ja myydyin sähkön hinta ostettuun on vain noin kolmannes. Yhtenä tärkeimpänä ratkaisuna toimii lämmöntalteenotin, joka lämmittää ulkoa

tulevan ilman sisäilmasta otetun energian avulla. Tämän voidaan odottaa vähentävän energiankulutusta 75 prosentilla verrattuna perinteiseen määräysten mukaiseen pientaloon. Energiatehokas pientalo on rakennus, joka vähentää energiankulutusta ja ympäristön pilaantumista. (Lågenergihus, passivhus eller...)

5 ARKKITEHTUURI

5.1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkittiin miten arkkitehtuuri vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakennuksen arkkitehtuuriin voidaan vaikuttaa rakennuksen muodolla, sijainnilla, tilojen sijoittelulla sekä ikkunoilla ja ovilla. Liiallinen auringon tuottama lämpö on parhaiten estettävissä juuri arkkitehtuurin avulla, jolloin voidaan suojautua esimerkiksi kiinteillä varjostavilla rakenteilla. Kaavoitus rajoittaa rakentamista, joten arkkitehtuurin hyödyntäminen korostuu energiatehokkaassa rakentamisessa.

5.2 Muoto

Jo rakennuksen muodolla voidaan vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen. Rakennuksen muodon määrittelyllä on merkittävä vaikutus energiantarpeeseen. Rakennettaessa energiatehokasta pientaloa, on todettu että suorakaiteen muotoinen talo on energiatehokain. Erkkereiden ja monimuotoisen talon rakentaminen ovat haluttuja piirteitä rakentamisessa, mutta niitä tulisi välttää, koska ne heikentävät talon energiatehokkuutta ja ovat riski talon tiiviynen kannalta sekä tuovat lisäkustannuksia. Jos halutaan rakentaa monimuotoinen rakennus, niin muodosta aiheutuvat lämpöhäviöt tulee korvata muilla energiatehokkuuden parantamisen ratkaisuilla. Muodon pitäminen yksinkertaisena auttaa myös vähentämään rakennusvirheitä. (Nollaenergiatalo)

Energiatehokkaan rakennuksen muodon kompaktiutta voidaan kuvata muotokertoimella. Muotokerroin lasketaan rakennuksen lämmöneristekerroksen ulkopinta-alan ja lämmitettävän tilavuuden suhdelukuna A/V . Pienen muotokertoimen omaavat rakennukset ovat energiatehokkuuden kannalta parhaimpia. Pallolla, sylinterillä ja kuutiolla ovat pienet muotokertoimet, mutta niiden muotoisia rakennuksia on hankala rakentaa. Muotokertoimeen vaikuttaa myös rakennuksen koko. Pienten rakennusten muotokerroin muodostuu huonoksi, sillä lämpöhäviöitä aiheuttavaa ulkovaippaa on paljon suhteessa lämmitettävään tilavuuteen. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 17.)

Ruotsalaisessa tutkimuksessa tutkittiin rakennuksen muotokertoimen vaikutusta energian loppukulutukseen käyttämällä viittä eri muotokerrointa rakennuksissa. Erojen havaittiin

olevan rakennuksissa suuria, jopa n. 10 % - 20 % niiden energian loppukulutuksesta. Tutkimus osoittaa, että rakennusten muotokerrointa tulisi pitää tärkeänä energiatehokkaana toimenpiteenä Pohjoismaiden ilmastossa, koska sillä on merkittävä vaikutus energian loppukäyttöön rakennuksissa. Tutkijoiden mukaan olisikin järkevää energian kulutuksen kannalta määritellä rajat muotokertoimelle, jotta voidaan vähentää kokonaisenergian käyttöä uusissa rakennuksissa. Näin menetellään ainakin Kiinassa. (Danielski, Joelsson, Fröling, 5.)

5.3 Sijainti

Rakennuksen sijainnilla voidaan myös vaikuttaa energiatehokkuuteen. Sijainnin hyödyntäminen on tosin vaikeaa, sillä kaavoituksessa monesti määritellään rakennuksen sijoittaminen tontilla. Katukuva ei saa muuttua liikaa kaupunkimaiseen ympäristöön rakennettaessa. Energiatehokkuuden kannalta on suotavaa rakentaa etelärinteeseen ja hyödyntää vireisten rakennusten ja kasvillisuuden varjostus. Näitä pyritään hyödyntämään tontin ja kaavan salliessa. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 16.)

Kaavan salliessa tai rakennettaessa kaava-alueen ulkopuolelle voidaan myös hyödyntää tehokkaasti passiivista aurinkoenergiaa, mutta tämä edellyttää juuri eteläsuuntausta. Passiivisen aurinkoenergian hyödyntäminen on tehokasta, kun rakennuspaikka on aurinkoinen tasamaan tai etelän puoleisen rinteeseen tontti, jolloin myös aktiivisesta aurinkolämmöstä saadaan suurin hyöty. Tontin salliessa tulee talo rakentaa riittävän etäälle muista rakennuksista, jotta muut rakennukset eivät varjosta taloa. Tontin lehtipuut puolestaan toimivat kesäaikaisena aurinkosuojana, mutta talvella päästävät auringonvalon rakennuksen sisään. Pitää varoa rakentamasta taloa laaksoon, jonne kylmä ilma kerääntyy talvisin. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 16.)

Rakennuksen suuntauksella päästään harvoin vaikuttamaan tilojen lämmitystarpeeseen ja näin ollen energiatehokkuuteen, koska nykypäivän rakennuksessa ikkunoita on tasaisesti joka puolella. Energiatehokkaisuuteen rakennuksiin valitaan myös monesti ikkunat, joiden lasien g-arvo (auringonsäteilyn kokonaisläpäisevyys) on matala. Pihajulkisivun kääntäminen etelästä pohjoiseen lisää tilojen lämmitystarvetta n. 1–6 % ikkunapinta-alasta ja rakennuksen energiatehokkuudesta riippuen. Ikkunapinta-alaa muuttamalla voidaan vai-

kuttaa vain vähäisessä määrin tilojen lämmitystarpeeseen. Ja mitä paremmin lämmöneristetty rakennuksen ulkovaippa on, sitä vähäisempi merkitys rakennuksen sijoittelulla on sen lämmitysenergiatarpeeseen. (Lylykangas, Andersson... 2015, 24)

Rakennuksen ja ikkunoiden sijoittelulla voidaan päästää auringonsäteily sisätiloihin, jolloin auringosta saatavalla ilmaisenergialla voidaan pienentää rakennuksen lämmitysenergian kulutusta talvisin. Kesäisin auringon energia voi vastaavasti myös aiheuttaa sisätilojen ylikuumenemistä, jos suojaus on puutteellinen. Rakennuksen sijoittelu ja suojan tarve tulee selvittää jo suunnittelussa, jotta auringonsäteily saadaan parhaiten hyödynnettyä. (Lylykangas, Andersson... 2015, 25)

5.4 Pohja ja tilat

Nykypäivänä halutaan asua isoissa rakennuksissa, joissa on paljon tilaa. Näin on monesti, koska varaudutaan perheenisäyksiin ja tilan loppumiseen. Lopulta perheenjäsenet muuttavat pois, jolloin tilaa jää tarpeettomaksi. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon tilojen tarpeellisuus ja muuntojoustavuus sekä arvioida, käsittääkö rakennus tiloja, joita ei tarvitse sijoittaa lämmitettävän ulkovaipan sisään. Tilojen tehottomalla käytöllä lisätään rakennuksen lämmitysenergian kulutusta ja menetetään muilla suunnitteluratkaisuilla saavutettuja energiansäästöjä. Energiatehokkaassa rakennuksessa on kaikki tarpeellinen ja pohjaratkaisu on tehokas. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 18.)

Rakennuksen sisäisten lämpökuormien, kuten saunan, takan, keittiön ja muiden lämmönlähteiden keskittyminen talon keskelle auttavat vähentämään rakennuksen lämmitysenergian kulutusta. Auringon lämpökuorma voidaan huomioida myös tilojen sijoittelussa rakennusrungon sisällä. Esimerkiksi vähemmän lämmitystä vaativien tilojen sijoittaminen rakennuksen pohjoispuolelle auttaa myös vähentämään rakennuksen lämmitysenergian kulutusta. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 18.)

Rakennuksen energitehokkuutta voidaan parantaa myös rakennuksen termistä massaa hyödyntämällä. Terminen massa varastoi asukkaista ja laitteista syntyvää lämpöä sekä auringon energiaa, jonka se sitten luovuttaa lämpötilaerojen perusteella takaisin huoneilmaan. Kevytrakenteisen talon massiivinen lattia voi toimia tehokkaana termisenä massana, kun lämmöneristys on laatan alapuolella. Termisen massan hyödyt saadaan, kun

lämmityksen säätö on liukuva. Terminen massa auttaa myös hallitsemaan sisäilman lämpötilaa kesällä, sillä se alentaa merkittävästi sisälämpötilan vaihteluita ja kesän huippulämpötiloja. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 18.)

5.5 Ovet

Ovien merkitys energiatehokkuudessa korostuu, sillä ovien lämmöneristävyys on paljon alhaisempi kuin seinillä. Ruotsissa käytetään paljon ovia, joiden lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tätä voidaan parantaa lisäämällä ylimääräinen heiluriovi huoneeseen. Ruotsissa on markkinoilla ovilehtiä, joiden U-arvo on n. $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$, mutta niiden kysyntä on pientä. Suomessa on myös saatavilla $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ omaavia ovia. (Windows and exterior doors 2013, 19.)

U-arvon laskeminen $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ ovissa johtaa 25 kWh säästettyyn energiaan vuodessa, mikä vaikuttaa vain vähän rakennuksen kokonaisenergiankulutukseen. Tämä huomioiden, ei ole merkitystä asettaa tiukentavia määräyksiä. Pohjoismaissa on markkinoilla ovia, joiden U arvo on niin alhainen kuin $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Suomessa ovien suositelluiksi U-arvoiksi on esitetty jopa $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Taulukko 4.). Rakennettaessa ovia, joilla on näin alhainen lämmönsiirtokerroin voi aiheuttaa ongelmia. Lasin lisääminen ikkunaan heikentää oven U-arvoa. Ovien paksuus tulee kohtuuttomaksi, sekä käytännöllisyys ja esteettiset arvot vaarantuvat. Lisäksi, mitä enemmän valmistaja alentaa ovien U-arvoa, sitä suurempi riski on, että syntyy jännityseroja oven materiaaleissa. Ja on myös vaikeampi varmistaa hyvä ilmanpitävyys eri ilmasto-olosuhteissa. (Windows and exterior doors 2013, 19.)

Energiatehokas talo koostuu monesta eri asiasta, joten on otettava huomioon talon koko suorituskyky. Ovien heikon lämmönläpäisykerroimen aiheuttama lämpöhäviö voidaan kompensoida muiden komponenttien parannuksella. Monissa hyvin suunnitelluissa keskikokoisissa taloissa, standardi ovi on riittävä täyttämään energiatehokkaan talon kriteerit, sillä ovet huomioidaan lämpöhäviöiden tasauslaskennassa.

5.6 Ikkunat

Energiatohokkaaseen rakennukseen tarvitaan myös energiatohokkaat ikkunat. Suomessa ikkunoiden suositelluiksi U-arvoiksi on esitetty $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoa (Taulukko 6.). Ikkunoiden lasiosien lämmöneristävyys onkin parantunut viime vuosina merkittävästi. Lasiosan parantuneella lämmöneristävyydellä, ikkunapinnoitteilla sekä lasien välissä käytettävillä jalokaasuilla saavutetaan jo U-arvo $0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Kuvio 4.). Parhaat U-arvot saavutetaan tyypillisesti 2+2 -lasituksilla ja 3+1 -lasituksilla kiinteästi lasitetuissa ikkunoissa. Lasitukset ovat käytännössä 4K-eristyslaselementtejä, joissa käytetään Argonkaasutäytettä sen edullisen hinnan ja hyvän pysyvyyden vuoksi. Matalan lämmönläpäisykertoimen vuoksi ikkunoiden pinta pääsee huurtumaan, sillä rakennuksen sisältä tuleva lämpösäteily ei riitä pitämään ulommaista lasia kuivana. Suomalaisen ikkunaratkaisuihin erikoistuneen palveluntoimittajan Skaalan ikkunoihin on saatavilla ominaisuus, joka estää lasin huurtumisen. (Lylykangas, Andersson... 2015, 55.)



Kuvio 4. MS2E-ikkunatyypin rakenne (Skaala.)

Ikkunatyypit eroavat Ruotsissa ja Suomessa toisistaan: Suomessa kaksipuitteinen sisään-päin aukeava ikkunatyyppeä on perusratkaisu, kun taas Ruotsissa käytetään lisäksi erilaisia ikkunatyyppejä. Esimerkiksi tyypillinen ikkuna Ruotsissa on keskieurooppalainen dk-ikkuna, joka avautuu yläosastaan tuuletusta varten. Ikkunat ovat usein myös jakamattomia ja pystysuuntaisia. Ikkunoiden tyylin valinta vaikuttaa vain arkkitehtuuriin, eikä energiatehokkuuteen. (Lylykangas, Andersson... 2015, 55.)

6 RAKENNUSTEKNIikka

6.1 Johdanto

Opinnäytetyössä tutkittiin miten rakennustekniikka vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakennustekniikkaan voidaan vaikuttaa rakennuksen lämmöneristävyydellä, ilmatiiviydellä sekä kosteusteknisellä toiminnalla. Rakennuksen hyvät rakennustekniset ominaisuudet ovat lähtökohtana energiatehokkaassa rakennuksessa. Hyvä lämmöneristävyyys ja ilmatiiviyys pitävät rakennuksen kesällä viileänä ja talvella lämpimänä. Rakennuksen lämmityskustannukset pienenevät pienten lämpöhäviöiden seurauksena. Kosteuden siirtyminen sekä tiivistyminen rakenteisiin on estetty tiiviillä liitoksilla ja rakennekerroksilla. Näin ollen rakennus toimii myös kosteusteknisesti oikein, kun rakenteet ovat lämpimiä ja ilmatiiviitä.

6.2 Lämmöneristävyyys

Lämmöneristävyyys onkin yksi kolmesta tärkeimmästä keinosta parantaa rakennusten energiatehokkuutta. Lämmöneristävyyys toimii energiatehokkaan rakentamisen kulmakivenä, vaikka energiatehokkaan rakentamisen keinovalikoima onkin laajentunut. Rakennusten energiatehokkuutta ohjataan Suomessa ja Ruotsissa U-arvoilla eli lämmönläpäisykertoimilla, joille on asetettu vertailuarvot. Niiden avulla uudisrakennusten ominaisenergiankulutus ja energiankäytön kasvihuonekaasupäästöt on saatu käännettyä laskuun. (Lylykangas, Andersson... 2015, 49.)

Energiansäästö tavoitteet ovat johtaneet määräysten kiristymiseen ja näin ollen myös lämmöneristyspaksuuden kasvuun. Esimerkiksi mineraalivillalla toteutettu lämmöneristävyyys vaatii passiivipientalon seinärakenteeseen jopa 425 mm mineraalivillaa (Kuvio 10.). Kun taas sama lämmöneristävyyys voidaan saavuttaa 250 mm:n kerroksella polyuretaanieristettä. Tämä johtuu eri materiaalien lämmönjohtuvuuden arvoista. Polyuretaanilla luku voi olla 0,023 W/mK, kun taas mineraalivillalla luku voi olla 0,033 W/mK. Hyvin eristettyjen rakenteiden lämmönläpäisykertoimet ja siten myös lämpöhäviöt ovat pieniä. Rakennusosille suositeltuja U-arvoja on taulukossa 6, mutta tarkat arvot tulee määrittää aina laskelmilla tai mallinnuksella. (Rakenteiden paksuusvertailu.)

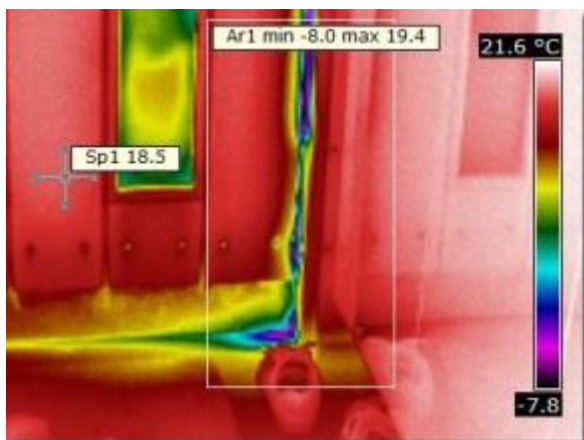
Taulukko 6. Rakennusosille suositellut U-arvot (Passiivipientalon suunnitteluohjeet.)

Rakennusosa	Vertailutaso RakMk D3 2012	Matalaenergia	Passiivienergia	Nollaenergia
Ulkoseinät, U-arvo	0,17	0,14	0,09	0,08
Yläpohja, U-arvo	0,09	0,09	0,07	0,06
Alapohja, maanvarainen, U-arvo	0,16	0,15	0,10	0,07
Ikkunat, U-arvo	1,0	0,8	0,8	0,8
Ovet, U-arvo	1,0	0,4	0,4	0,4
Ilmanpitävyys, vuotoluku q ₅₀	2	0,6	0,4	0,4
Lämmön talteenoton hyötysuhde vähintään	45 %	70 %	75 %	80%

Rakenteiden kylmäsillat sisältyvät U-arvoihin. Hyvin eristetyssä rakennusvaipassa kylmäsilltojen merkitys korostuu, mikäli niihin ei kiinnitetä tarpeeksi huomiota. Kylmäsilltoja on kolmea eri tyyppiä, riippuen tarkasteltavasta rakenteesta. Rakenteelliset kylmäsillat ovat yleisimpiä, jotka tulevat esiin tiiviysmittauksessa. Rakenteellinen kylmäsilta on rakenteen kohta, jossa lämmönjohtavuus on ympäröivää rakennetta huomattavasti suurempi. Tällainen kohta on esimerkiksi lämmöneristekerroksen läpi ulottuva runkotolppa. Kylmäsillan vaikutusta voidaan alentaa asentamalla runkojaon päälle yhtenäinen lämmöneristekerros tasaamaan rakenteen lämmönjohtavuutta. Muut tyypit ovat geometrinen kylmäsilta sekä rakenteellisen- ja geometrinen kylmäsillan yhdistelmä. Geometrisena kylmäsiltana pidetään mm. ulkonurkkaa, jossa lämmönjohtavuuden eroaminen johtuu siitä, että kyseinen rakenneosaa poikkeaa tasaisesta muodosta. (Lylykangas K. & Nieminen J.)

Yleisesti rakenteet tulee suunnitella ja toteuttaa siten, ettei rakenteeseen pääse muodostumaan haitallisia kylmäsilltoja, kosteutta, lämpötilan liiallista alenemista eikä haitallisia ilmavirtauksia. Rakennuksen lämmöneristykseen tehokkuus riippuu lämmöneristeen lämmönjohtavuudesta, asennuksen ammattitaidosta ja järjestelmän kestävyyydestä. Rakentamisessa, asennuksessa tai suunnittelussa tehty virhe johtaa vaipan lämmöneristävyyden heikentymiseen. Lämpötekniinen toimivuus voidaan selvittää nopeasti ja tehokkaasti läm-

pökameralla tehtävällä infrapunamittauksella (Kuva 1.), joka auttaa löytämään lämmöneristyksen asennusvirheet, ilmansulun vuodot sekä suuret pintalämpötilojen poikkeamat. (Lämmöneristävyys.)



Kuva 1. Ulko-oven puutteellinen tiiviste (Entec.)

6.3 Ilmatiiveys

Ilmatiiveys kuuluu yhteen kolmesta tärkeimmästä keinosta parantaa rakennusten energiatehokkuutta. Ulkovaipan läpi virtaa ilmaa rakennuksen ulko- ja sisäpintojen paine-eron seurauksena. Virtaava ilma kuljettaa mukanaan sisäilman kosteutta ja rakenteissa olevia epäpuhtauksia sisäilmaan, sekä viilentää talvella rakenteiden sisäpintoja ja aiheuttaa vedon tunnetta. Ilmavuodot lisäävät myös rakennuksen lämpöhäviöitä. Ilmavuotojen vaikutus rakennuksen lämmitystarpeeseen on 15 - 30 % pientalossa, jonka ilmavuotoluku q50 on 4 l/h (Aho & Korpi 2009).

Rakennuksen vaipan ilmatiiveys on tärkeää, sillä tiiviillä rakennuksella säästetään energiaa ja ehkäistään rakenteiden kosteusvaurioita. Energiatehokkaalle rakennukselle ilmanvuotoluvun q50 tulee Ruotsissa olla jopa alle 0,3 l/h, kun taas Suomessa luvun tulee olla alle 0,6 l/h. Tavoitetasona voidaan kuitenkin pitää lukua 0,4 l/h. Rakennuksen ilmatiiveys tulee mitata rakentamisen aikana, jotta voidaan varmistua tavoitetason varmistumisesta. (Lylykangas, Andersson... 2015, 73.)

Rakennuksen ilmanpitävyyden mittaaminen on helppo ja turvallinen keino varmistua ulkovaipan lämpöteknisestä laadusta ja rakennuksen ilmanpitävyydestä. Rakennuksen ilmavuotoluvun määrittäminen tapahtuu ali- ja ylipaineistamalla rakennus ulko-oveen tai

ikkunan tuuletusluukun paikalle asennetulla puhaltimella (Kuva 2.). Puhallin aiheuttaa 50 Pa:n paineen ulkoilmaan nähden. Ennen mittausta, ulkovaipan tulee olla tiivistetty. Mittauksen yhteydessä voidaan suorittaa myös lämpökuvaus (Kuva 1). (Lylykangas, Andersson... 2015, 74.)



Kuva 2. Ilmanpitävyyden mittaus ”puhallusovi” -kokeella. (Technobothnia.)

Rakennuksen ilmatiiviys saavutetaan tiiviillä rakennekerroksilla ja rakenteiden liitoksilla. Ilmatiiviiden liitosten toteuttaminen vaatii hyvät detaljipiirustukset rakennesuunnittelijalta. Valmiit piirustukset helpottavat työmaan toimintaa ja ehkäisevät rakentamisen virheitä. Vaativimmat kohdat rakennuksessa ovat alapohjan ja ulkoseinän liitos, välipohjan ja ulkoseinän liitos sekä ovi- ja ikkunaliitokset. Puutteita on myös yläpohjassa ilmanvaihtokanavien, viemärien tuuletusputkien ja savupiipun tiivistämisessä ilmansulkukerrokseen. Liitteessä 1 on esitetty ilmanpitävien liitosten rakentaminen oikeaoppisesti. Liitoksia suunniteltaessa tulee ottaa huomioon myös pitkäaikaiskestävyys, sillä liitosten ilmanpitävyyden korjaus edellyttää lähes poikkeuksetta rakenteen avaamisen. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 22.)

Ilmansulkukerrosta suunniteltaessa tulee huomioida myös kerroksen lävistävät asennukset, joita ovat erilaiset ilmastointikanavat ja muut putkitukset. Läpimenot tulee keskittää, jotta vältetään useilta aukoilta ilmansulkukerroksessa sekä tiivistää hyvin joko vaahdot-

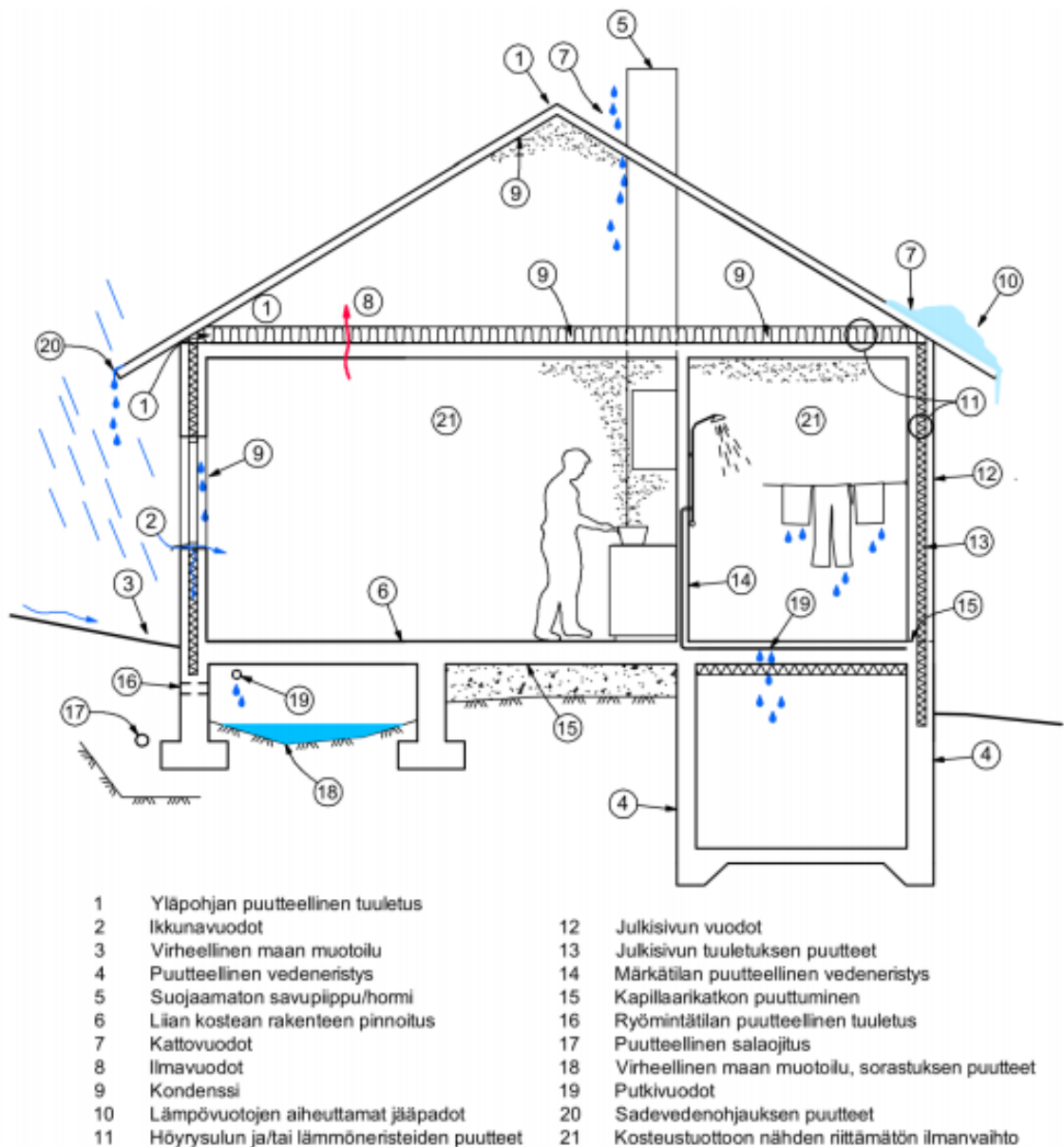
tamalla, kittaamalla tai teippaamalla ilmansulkukerroksesta riippuen. Asennettavien laitteiden mahdollisia omia tiivistekappaleita tulee käyttää ensisijaisesti kunnollisen tiiviyyden saavuttamiseksi. Ilmansulkukerroksen yhtenäisyys varmistetaan juuri detaljien suunnittelulla ja huolellisella toteutuksella. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 22.)

Ilmansulkukerros voidaan toteuttaa joko muovikalvolla, rakennuspaperilla, polyuretaanilevyillä, tasoitteella tai itse rakenteella. Rakenne määrää monesti käytettävän ilmansulkukerroksen materiaalin. Yhtenäinen muovikalvo tai rakennuspaperi on yleisin ja edullisin vaihtoehto puurakenteiselle seinälle. Polyuretaanilevy on kalliimpi vaihtoehto, mutta tällöin rakentaja saa lämmöneristeen samalla. Harkkorakenteissa ilmasulku saavutetaan tasoitteella. Massiivisissa rakenteissa ei puolestaan tarvita mitään ilmansulkukerrosta. Materiaalista huolimatta, tulee varmistaa että ilmansulkukerrosten saumat on tiivistetty huolellisesti materiaalienkohtaisesti. Energiatohokkuuden ja pitkäaikaiskestävyyden kannalta saumat tulisi lisäksi kiinnittää mekaanisesti. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 22.)

Rakennuksen rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden ja sisäilmaston vedottomuuden sekä rakennuksen pitkäaikaisen toimivuuden varmistamiseksi suositellaan käytettäväksi parempaa ilmanpitävyyden arvoa, kuin on ohjeistettu. Hyvän ilmanpitävyyden saavuttaminen vaatii vain hyvät suunnitelmat ja toteutuksen, mikä onnistuu huolellisuudella rakentamisen kaikissa vaiheissa. (Lylykangas, Andersson... 2015, 73.)

6.4 Kosteus

Energiatohokkaaseen rakennukseen liittyy samoja kosteusriskejä, kuin mitä tavanomaiseenkin rakennukseen (Kuvio 5.). Energiatohokkaiden rakennusten tiiviistä rakenteesta johtuen, on lisääntynyt riski kosteusvaurioihin. Talot on varustettu tuloilman ilmanvaihdolla, mutta ilmanvaihtojärjestelmät eivät aina tuota haluttua vaikutusta. Pyörivät lämmönvaihtimet voivat sen sijaan tuoda kosteutta taloihin ja näin ollen kaksinkertaistaa kosteuskuormat. Erittäin hyvin eristetyssä talossa ilmaraon lämpötila on pitkälti sama kuin ulkoilman. Ilmaraon kyky tuulettaa kosteus katoaa ja siksi kosteus kasvaa rakenteiden ulko-osissa. Talon eristyskyky vähenee korkeassa kosteuspitoisuudessa. (Ekobyggportalen.)



Kuvio 5. Rakennuksen kosteusvaurioiden aiheuttajat (Ympäristöministeriö 2015, 9.)

Rakenteen lämmöneristävyuden parantamisen seurauksena lämpöhäviöt rakenteiden kautta pienenevät, mikä myös heikentää rakenteen kuivumiskapasiteettia sekä aiheuttaa suuria lämpötilaeroja pintojen välille. Alapohjissa ongelmallisoin aika on kesäisin, jolloin lämmin ulkoilma kohtaa kylmän ilman ryömintätalassa alapohjan pienen lämmönhäviön seurauksena. Tällöin kosteus pääsee kondensoitumaan rakenteisiin. Yläpohjissa kosteus pääsee monesti kondensoitumaan kattotuoleihin puutteellisen ilmanpitävyyden tai suurten lämpötilanvaihteluiden yhteydessä. Tiiviysongelmat aiheuttavat monesti kosteusvaurioita rakennuksissa. Suurin kosteusvaurioiden aiheuttaja on kuitenkin sadeveden tunkeutuminen rakenteisiin puutteellisten kaatojen, vuotojen tai tuuletuksen seurauksena. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 22.)

”Paksuihin lämmöneristyskerrokseen liittyy myös oletus, että kuumina auringonpaisteina päivinä kosteusvirran suunta vaihtuu rakenteen ulkopinnalta sisäänpäin, koska rakenteen uloimmat kerrokset lämpenevät sisäilman lämpötilaa selvästi korkeammiksi”. Laskennallisten tarkastelujen perusteella tämä ei kuitenkaan aiheuta kosteusriskiä, koska kosteuden nousu on lyhytaikainen. On kuitenkin huomattava, että lämmöneristekerroksien paksuntaminen voi aiheuttaa rakenteille kosteusriskejä, jos suunnittelu tai toteuttaminen on puutteellista. (Lylykangas, Andersson... 2015, 86.)

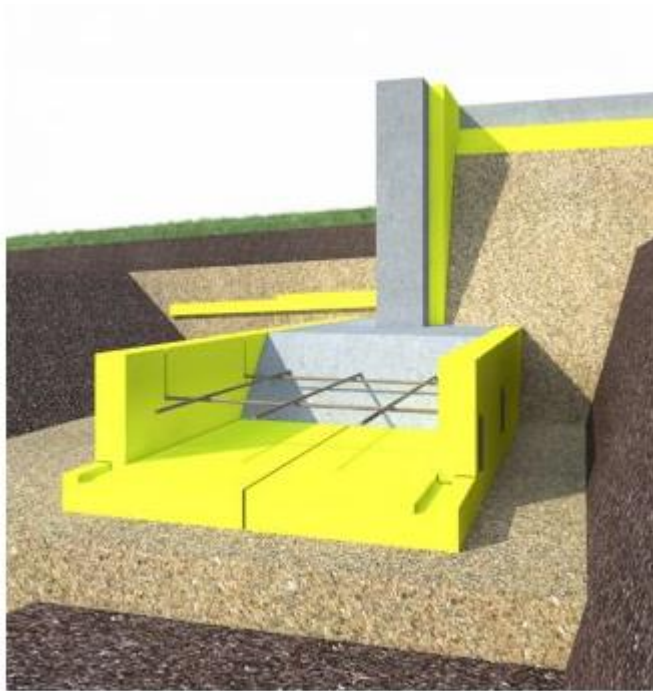
Ongelmien ehkäisemiseksi, lämmöneristys on aina sijoitettava rakenteiden ulkopuolelle. Lisäksi on varmistettava, että kosteudelle alttiit materiaalit ovat lähimpänä rakenteen sisäpuolta ja etteivät ne jää kahden tiiviin kerroksen väliin. Kosteudelle arat tuotteet on suojattava varastoinnin ja rakentamisen aikana. Ja jos rakenteeseen pääsee kosteutta, niin sen on päästävä myös kuivumaan, ilman että rakenteeseen pääsee syntymään vaurioita. Tämä voidaan hoitaa hyvällä ilmastoinnilla rakenteessa tai käyttämällä salaojitusmateriaaleja. (Samuelson I., 12.)

Rakennusten kosteusvaurioihin ei yleensä ole yhtä selkeää syytä, vaan ne ovat useimmiten monen vaikuttavan tekijän summa. Siksi paksu lämmöneristys ei yksinään aiheuta kosteusriskin kasvua. Nämä tekijät koskevat kaikkea rakentamista. Huolimattomuus ja asenteet yhdessä väärin työtapojen tai työjärjestyksen kanssa aiheuttavat aivan liian paljon kosteusvaurioihin johtavia virheitä. Rakenteiden kosteus- ja homevauriot liittyvät kuitenkin aina virheisiin. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 23.)

6.5 Perustusrakenne

Rakennuksen perustamistavalla ei ole merkitystä rakennettaessa energiatehokasta pientaloa. Perustamistavaksi valitaan mahdollisimman edullinen ja käytännöllinen, jos tontti antaa tähän mahdollisuuden. Energiatehokkuuden parantumisen myötä energiatehokkaan talon alapohjassa on pienemmät lämpöhäviöt kuin juuri ja juuri nykymääräykset täyttävässä talossa. Tämä johtaa routaeristyksen lisäämiseen perustusten ja alapohjan ympärille, sillä rakenteiden läpi ei virtaa lämpöä pitämään routaa poissa. Kuviossa 6 on esitetty perustuksen routasuojaus, käyttäen rakenteelle sopivia eristelevyjä. Routasuojaus on erittäin tärkeä osa rakennuksen perustusta. Routiminen voi aiheuttaa vaurioita perustuksille, seinärakenteille, putkille ja salaojille. Rakennusten perustukset ja niiden

routasuojaus on suunniteltava huolellisesti, sillä virheellisestä toteutuksesta aiheutuneiden vaurioiden korjaaminen on erityisen vaikeaa ja kallista. (Paroc, lämpöhäviö.)



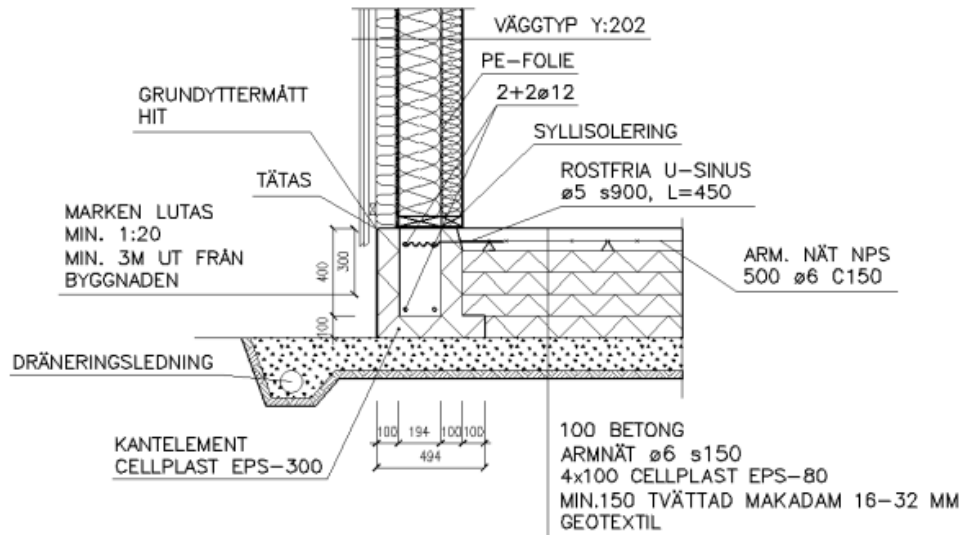
Kuvio 6. Perustusten routaeristys (Finnfoam.)

6.6 Alapohjarakenne

Rakennuksen alapohja kannattaa rakentaa erittäin energiatehokkaaksi, vaikka rakennus ei esimerkiksi passiivitalo olisikaan, koska alapohjan lisäeristäminen myöhemmin tulee erittäin kalliiksi tai jopa mahdottomaksi. Ja mitä vähemmän lämpöä karkaa alapohjan läpi, niin sitä pienempi on myös lämmitysenergian tarve. Alapohjaa rakennettaessa liitosten ja läpivientien tiivistäminen ilmatiiviiksi on erittäin tärkeää rakenteen energiatehokkuuden kuin myös kosteudenkin kannalta. Radonin suojaus tulee myös muistaa alapohjaa rakennettaessa. Alapohja on tärkeä osa rakennusta ja energiatehokasta rakentamista. Rakennuksen alapohja voidaan toteuttaa joko maanvaraisena tai tuulettuvana eli ryömintätilaisena. Eli rakennuksen energiatehokkuus ei vaikuta alapohjan valintaan. Alapohjarakenteella pitäisi olla hyvä kantavuus, lämmöneristyskyky sekä kyky toimia rakennuksen kosteussulkuna maata vastaan.

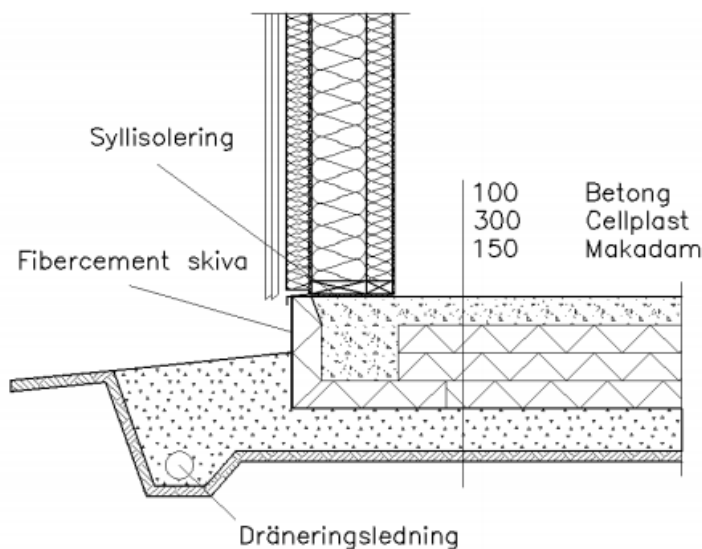
Näitä toimintoja pyritään saavuttamaan yleensä seuraavalla tyypillisellä perustusratkaisulla Ruotsissa (Kuvio 7.): 150 mm salaajituskerros, 400 mm EPS ja betonilaatta. Laatan reunat on rakennettu U-muotoon rikkoakseen kylmäsilat rakenteesta EPS U-elementtejä

hyödyntäen. Paksu lämmöneristys luo suuren lämpötilaeron maan ja betonilaatan pinnan välille. Tällöin suhteellinen kosteus betonilaatan pinnalla pysyy matalana n. 53 %:ssa, mikä on hyvä rakenteen kosteustarkastelussa. (Almquist K. & Svensson J. 2010, Abstract.)



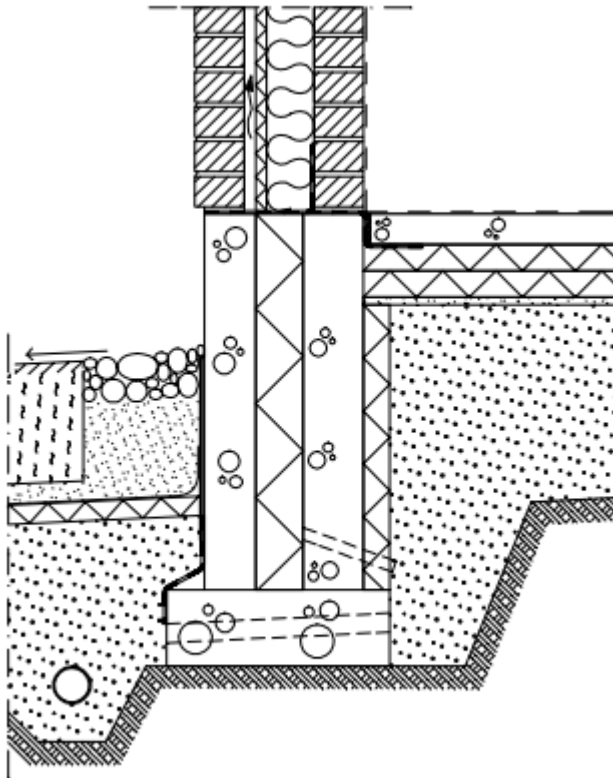
Kuvio 7. Laatta U-reunalla (Almquist K. & Svensson J. 2010, 44.)

Laatan reunat ovat usein myös rakennettu L-muotoon (Kuvio 8.), joka on käytännöllinen sekä hyvin lujuutta ja kosteutta kestävä rakenne. Mutta tämä aiheuttaa rakenteen reunoille huomattavan kylmäsilan. Kylmäsilat kasvattavat U-arvoa merkittävästi, joten niitä tulisi minimoida energiankulutuksen vähentämiseksi. Ruotsin uuden lainsäädännön mukaan kylmäsilat onkin sisällytettävä energian laskelmiin. (Almquist K. & Svensson J. 2010, Abstract.)



Kuvio 8. Laatta L-reunalla (Almquist K. & Svensson J. 2010, 40.)

Suomessa tyypillisin nykyaikainen alapohjarakenne on myös maanvarainen betonilaatta-alapohja (Kuvio 9.). Riittävät salaojituskerrokset alapohjan alla ja perusmuurin ympärillä sekä routaeristykset rakennesuunnitelmien mukaan, takaavat toimivan ja energiatehokkaan alapohjan. Puurakenteinen alapohja ryömintätalalla eli rossipohja on Suomessa tyypillisin ja perinteisin rakenne vanhoissa 1900-luvun omakotitaloissa. Sen toimivuudesta Suomen olosuhteissa on pitkäaikaista näyttöä. Ryömintätalalla varustellun alapohjan toiminta on joutunut kyseenalaiseksi eristyspaksuuden kasvaessa, sillä riskit kosteuden syntymiselle ovat lisääntyneet. Toimivuuteen vaikuttaa myös muut tekijät, joten kosteuden lisääntyminen ei yksistään heikennä alapohjaa.



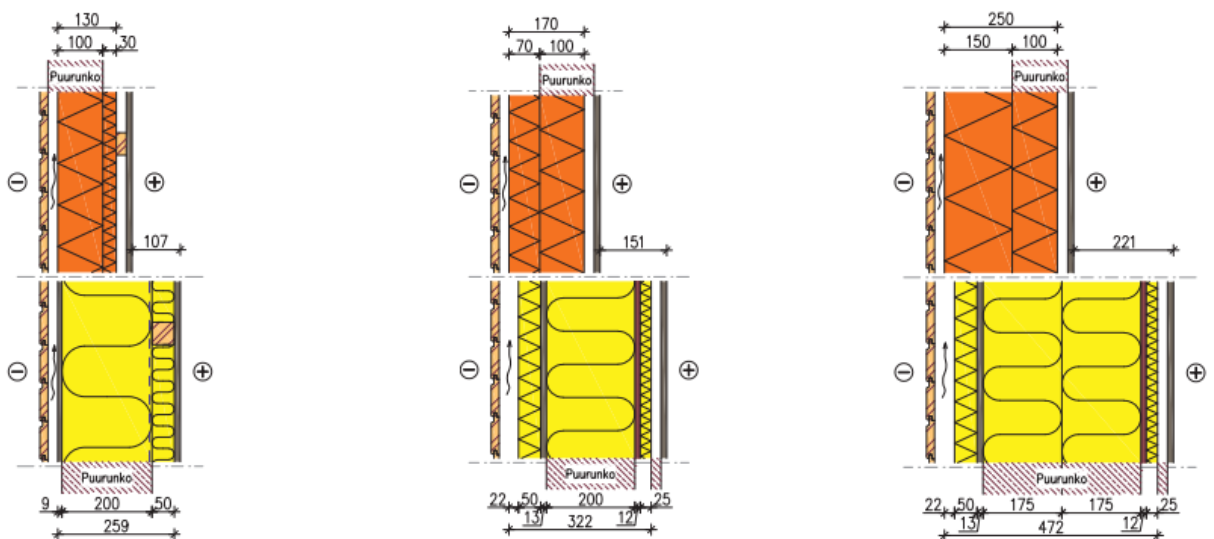
Kuvio 9. Maanvarainen betonilaatta-alapohja anturaperustuksella (RT 81-10854, 6)

6.7 Ulkoseinärakenne

Lähtökohtana seinärakenteelle on, että seinärakenteen tulee täyttää vaadittu U-arvo. Seinärakenteen tulee olla myös mahdollisimman tiivis, suojassa kosteudelta ja hyvin lämmöneristetty, ja jossa on mahdollisimman vähän kylmäsiltoja. Energiatehokasta taloa rakennettaessa erityisesti seinän ilmatiiveys ja ulkopuolinen tuulensuojaeristyksen merkitys kasvaa. Estämällä ilmavirtausten kulku seinärakenteen läpi voidaan parantaa rakenteen

kosteusteknistä toimintaa, sillä ilmavirrat kuljettavat kosteutta rakenteeseen ja sen läpi. Haasteellinen kohta seinärakenteessa on höyrystä sulkuovi, johon tulee rakentamisen aikana helposti reikiä. Reiät täytyy paikata ja liitokset limittää oikeaoppisesti, jotta voidaan estää vesihöyryn tiivistyminen rakenteen sisälle. Hyvällä ilmaraolla voidaan kuitenkin haihduttaa rakenteeseen päässyt ylimääräinen kosteus. Rakenne pitää alusta alkaen suunnitella toimivaksi ja lisäksi toteutuksessa pitää olla huolellinen, jotta voidaan välttyä vahingoilta. (Isover, ulkoseinä.)

Lämmöneristyspaksuuden kasvattaminen vanhoista määräyksistä uusiin määräyksiin kasvattaa seinäpaksuutta ja syö samalla käytettävissä olevaa huonealaa (Kuvio 10). Rakenteen paksuus riippuen eristeestä voi vaihdella 200 mm – 550 mm välillä. Tämän seurauksena eristeet, joilla lämmönjohtavuus on pieni, ovat kasvaneet. Näiden eristeiden käyttö maksaa enemmän, mutta samalla säästää rakentamalla pienemmän rakennuksen samalla huonealalla. Vaihtoehtoiset eristeet ovat lisääntyneet energiatehokkuuden parannuttua. Mineraalivilla on yleisin seinärakenteen eriste sekä Ruotsissa että Suomessa. Muina yleisinä eristeinä käytetään polyuretaania, EPS-solumuovia ja selluloosaa. Paksuuntunut rakenne lisää haasteita myös rakenteen jäykkyyden toimintaan, jos sitä ei ole otettu huomioon suunnittelussa.

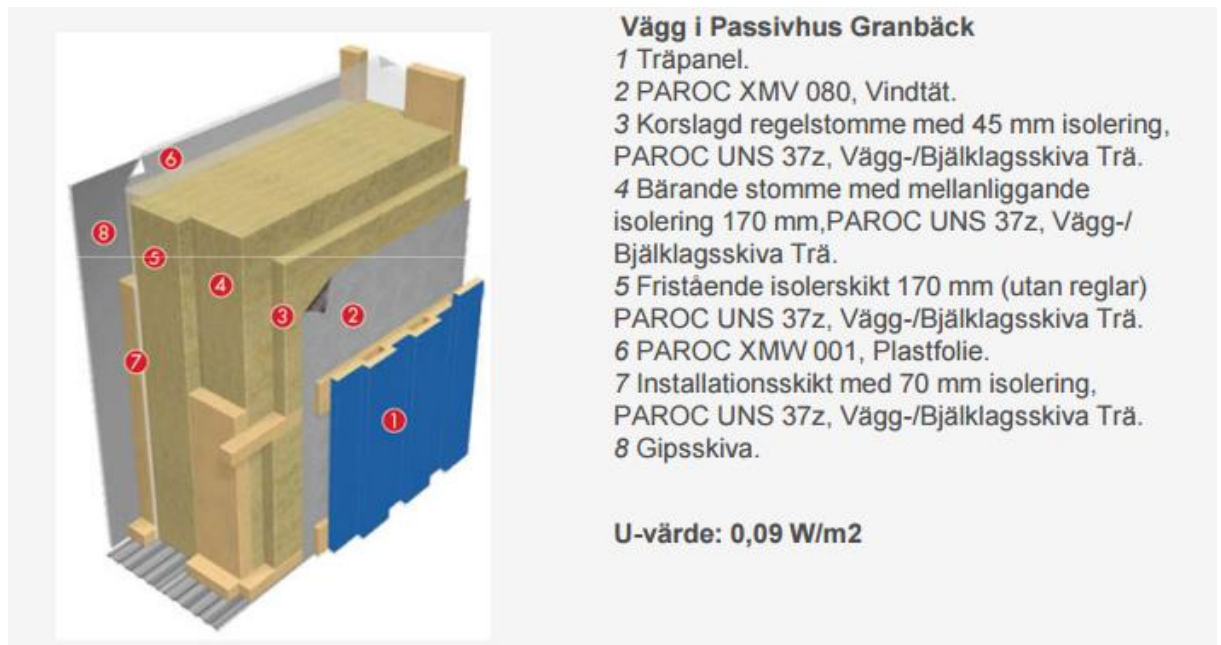


Kuvio 10. Mineraalivillan ja polyuretaanin erot seinärakenteessa (Kingspan.)

Puurakenteisella seinärakenteella varmistetaan rakenteen kosteusteknisestä toiminnasta, ilmatiiviydestä ja kylmäsillattomuudesta. Varmistuskeinoja ovat sisäpuolinen ristikoolaus, jonka alla höyrystä sulkuovi pysyy ehjänä ja rungon ulkopuolinen tuulensuojajeriste, jolla puolestaan katkastaan tehokkaasti kylmäsillat ja saadaan ulkovaipasta tuulenpitävä

sekä tiivis kokonaisuus. Höyrynsulkumuovi voidaan puurakenteisessa seinärakenteessa jättää pois vain jos käytetään solumuovieristettä. Solumuovieristeellä höyrynsulkua ei tarvita, sillä eristeen vesihöyrynvastus voi olla jopa moninkertainen höyrynsulkumuoviin verrattuna. Myöskään massiivisilla seinärakenteilla, kuten kivirunkoisilla seinillä ei tarvita erillistä höyrynsulkukalvoa, mutta eristeen ja kosteusteknisen toimivuuden kannalta ulkopuolinen ilmantiiviys on puurunkoisten rakenteiden tapaan erittäin tärkeää, sillä näin suojataan seinä kylmyyttä ja kosteutta vastaan. (Isover, ulkoseinä.)

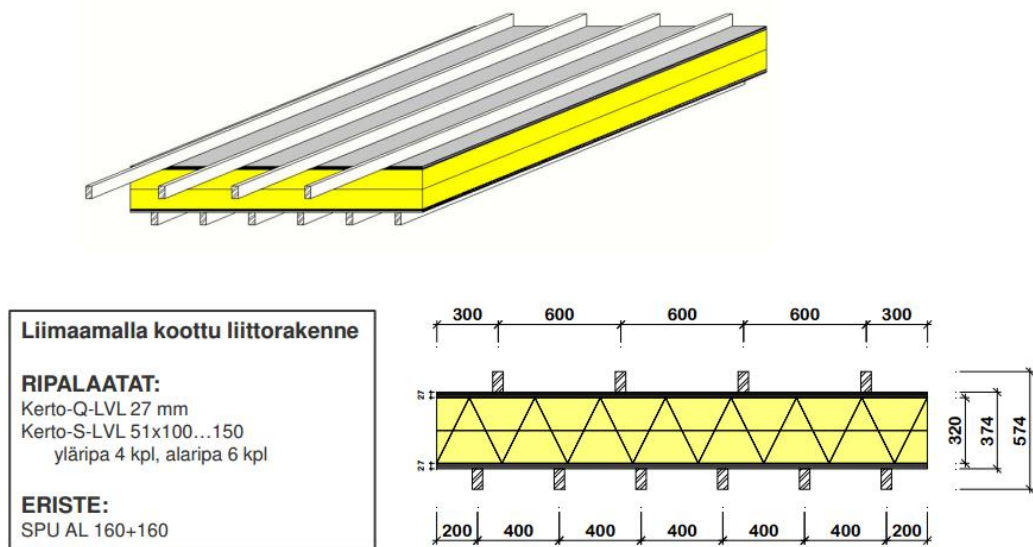
Liitteessä 2 on tutkittu kuvion 11 rakenteen kosteusteknistä toimivuutta DOF-lämpö ohjelmalla sekä laskettu rakenteen U-arvo uudestaan. Puurunkoinen seinärakenne on Parocin passiivitalopilottikohteesta, ”Passiivitalo Granbäck”. ”Parocin passiivitalopilottien tavoitteena on parantaa yleistä tietoisuutta passiivirakentamisesta ja vauhdittaa taistelua ilmastonmuutosta vastaan”. Seinärakenteeksi valikoitui Passiivitalo Granbäckin puurunkoinen seinä, sillä Paroc on ollut rakentamassa Suomen ensimmäistä passiivitaloa, samoin kuin Tukholman ensimmäistä passiivitaloa. Rakenteita, jotka on rakennettu jo 17 vuotta sitten, ja jotka ovat todettu toimiviksi ratkaisuiksi energiatehokkaassa pientalossa, on syytä tarkastella uudestaan. (Paroc.)



Kuvio 11. Passiivitalon puurunkoinen seinärakenne (Passivhus Granbäck 2009.)

6.8 Yläpohjarakenne

Yläpohjan rakenteena voidaan käyttää kaikkia yläpohjarakenteita, mutta yleisimpiä rakenneratkaisuja ovat kuitenkin kattoristikot ja vinot palkkirakenteet. Markkinoilla on lisäksi valmiita kattoelementtejä, jotka ovat juuri tarkoitettu energiatehokkaaseen rakentamiseen (Kuvio 12.). Esimerkiksi Kingspanilta löytyy valikoimistaan passiivikattoelementti, joka on lämmöneristävyyden ja ilmanpitävyyden lisäksi erittäin nopea asentaa. Rakenne mahdollistaa lämmityksen kytkemisen päälle jo katon asennuspäivänä, mikä parantaa energiatehokkuutta jo rakentamisen aikana (Kuvio 12.). (SPU passiivikatto.)



Kuvio 12. Passiivikattoelementin rakenne (SPU passiivikatto.)

Lämmöneristyspaksuuden kasvattaminen vanhoista määräyksistä uusiin määräyksiin puolestaan kasvattaa yläpohjan paksuutta n. 200 mm. Kun halutaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, niin yläpohjasta on helpoin aloittaa, sillä puhallusvillaa on helppo lisätä vanhojen villojen päälle. Yläpohjan tulee kuitenkin lisäeristämisen jälkeenkin päästä hyvin tuulettumaan, mikä tulee muistaa asennusta tehdessä. Energiatehokkaassa rakennuksessa pitää välttää kylmäsiltoja myös yläpohjassa, jotta rakenteen sisäpinnan lämpötila ei pääse kylmäsiltojen kohdalla laskemaan paikallisesti muita kohtia alhaisemmaksi. Tämä voi johtaa kosteuden tiivistymiseen rakenteeseen. (Isover, yläpohja.)

Jotta koko rakennus täyttää energiankulutuksen vaatimukset, niin rakenteiden energiankulutusta voidaan seurata rakenteiden u-arvoilla. Yläpohjalle tyypillisiä U-arvoja Ruotsissa ovat 0,06-0,1 W/m²K. Suomessa arvoa 0,06 W/m²K suositellaan käytettäväksi jo

nollaenergiarakennuksessa. Kuvion 12. rakenteella, jossa eristettä on 320 mm, saavutetaan U-arvo $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$. Kuvion 13. rakenteella, jossa eristettä on 500 mm, saavutetaan myös U-arvo $0,07 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rakenteessa on käytetty puhallusvillaa, joka on yleinen eriste yläpohjarakenteessa. Puhallusvillaa käytettäessä pitää muistaa puhallusvillan painuminen ajan saatossa, joten puhallusvillaa tulee laittaa asennusvaiheessa ”painumavaran” verran enemmän. Kuvion 13 yläpohjarakenne on samasta Parocin passiivitalopilottikohteesta, kuin seinärakenne. Rakenne koostuu kantavista I-palkeista, puhallusvillasta ja ristikkäis-tukirakenteesta. Vinossa kattorakenteessa on vaikea seurata puhallusvillan painumista harjalla, jonne voi muodostua tyhjää tilaa puhallusvillan painumasta johtuen. Liitteessä 2 on tutkittu rakenteen kosteusteknistä toimivuutta DOF-lämpö ohjelmalla sekä laskettu rakenteen U-arvo uudestaan. (Paroc.)



Kuvio 13. Yläpohjarakenne (Passivhus Granbäck 2009.)

Toimivissa yläpohjissa rakenteen ulko- ja sisäpuolinen ilmatiiveys, tuulensuojaus ja tuulenhajaimien asennus on hoidettu oikeaoppisesti, jotta rakenne toimii lämpö- ja kosteusteknisesti oikein. Tiiviillä rakenteella estetään myös paine-erojen liiallinen tasoittuminen. Toisin sanottuna energiatehokas rakentaminen näkyy yläpohjaratkaisussa paksuna eriste-kerroksena ja rakenteen ilmatiiveyden huolellisella suunnittelulla. (Isover, yläpohja.)

7 TALOTEKNIikka

7.1 Johdanto

Energiatehokkaita rakennuksia ei tarvitse määritelmien mukaan lämmittää, mutta määritelmässä ei ole huomioitu Pohjoismaiden ilmastoa, joka vaatii rakennusten lämmittämisen. Lämmitysjärjestelmän valinnassa auttaa, että rakennuksen ulkovaippa on hyvin lämmöneristetty ja ilmanpitävä. Tämän seurauksena talon lämpöhäviöt ovat pienet, jolloin lämmönjako voidaan hoitaa esimerkiksi ilmanvaihtolämmityksellä. Tällöin perinteisten lämmönjakojärjestelmien, kuten radiaattoreiden tai lattialämmityksen käyttö vähenee, mutta ovat edelleen mahdollisia vaihtoehtoja. Lisälämmönlähteenä lattialämmitys tai takka ovat käytännöllisiä. Tärkeintä on kuitenkin valita uusiutuvaa energiaa hyödyntävä lämmitysjärjestelmä, jolla voidaan lämmittää talo sekä käyttövesi energiatehokkaasti ja edullisesti. Mitä omavaraisempi rakennuksen lämmitysjärjestelmä on, niin sitä enemmän säästetään luontoa ja taloutta. Energiatehokkaan rakennuksen hyvä lämmöneristys ja ilmatiiveys pitävät talon lämpimänä talvella sekä viileänä kesällä. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 24.)

7.2 Ilmanvaihtolämmitys

Energiatehokkaassa rakennuksessa lämpöhäviöt ovat pienet ja siten myös lämmitystarve on pieni, vain n. 10-20 W/m² passiivitalossa. Tämä tulee huomioida ilmanvaihtojärjestelmää valittaessa, jotta lämmitysjärjestelmäksi valitaan teholtaan pieni ja nopeasti muutokseen reagoiva. Ilmanvaihtolämmitystä käytettäessä lämpötiloja pystytään säätämään huonekohtaisesti korkean energiatehokkuuden ja viihtyvyyden aikaansaamiseksi. Kun lämmitys toimii huonekohtaisesti ja automaattisesti, niin tuloilman lämpötila säätyy automaattisesti huoneen lämmöntarpeen mukaan. (Climecon, ilmalämmitys.)

Huonekohtainen lämpötilan säätö edellyttää tuloilman lämmitystä joko päätelaitteissa tai kanavissa päätelaitteiden edessä. Tässä tapauksessa ilman lämpötila voidaan säätää halutuksi. Toisena vaihtoehtona tuloilmaa voidaan lämmittää keskitetysti heti ilmanvaihtokoneen jälkeen, jolloin saadaan tuotettua jokaiseen huoneeseen saman lämpöistä ilmaa. Ilmanvaihtolämmityksen toimivuus tulee varmistaa energia- ja olosuhdesimuloinnein

suunnitteluprosessin aikana. Ilmanvaihtolämmitys vaatii lisälämmönlähteen kovimmille pakkasille. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 25.)

7.3 Maalämpö

Maalämpö on energiatehokkaaseen rakentamiseen sopivin lämmitysjärjestelmä, sillä auringon maahan sitoutunutta lämpöä on saatavilla koko vuoden ja maalämpöpumppu pystyy keräämään energiaa hyvällä hyötysuhteella. Maalämpö on lisäksi pitkäikäinen hankinta, joten käyttö tulee pitkällä aikavälillä edulliseksi. Maalämpöpumppuihin voit lisätä myös energiatehokkaan viilennyksen, jossa maan sisällä olevaa viileyttä siirretään sisätiloihin ilman kompressorin käyttöä. (Callidus, maalämpö.)

Maalämpöpumppu toimii kylmäainekierron toimintaperiaatteen mukaisesti. Rakennukseen pumpataan maahan varautunutta lämpöä, joka kerätään maasta keruuputkiston avulla. Keruuputkisto sijoitetaan maahan joko horisontaalisesti kaivamalla tai vertikaalisti poraamalla kallioon. Lämpöä voidaan kerätä myös vesistöistä. (Callidus, maalämpö.)

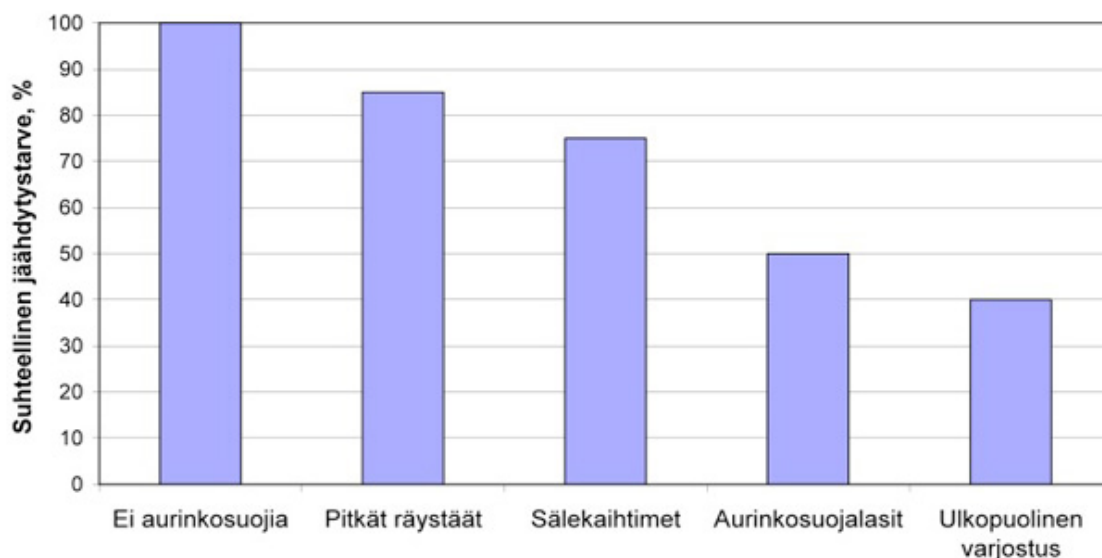
7.4 Hybridilämmitys

Hybridilämmitysjärjestelmät ovat usein kaikkein järkevin ratkaisu passiivi- tai nollaenergiatalojen lämmitykseen. Nolla- ja plusenergiatalot vaativat itse tuotettua sähköä, jotta rakennusten vaadittu vähäinen energiankulutus täyttyy. Hybridilämmityksessä hyödynnetään useampaa lämmönlähdettä. Lämmönlähteinä voivat toimia öljy, kaasu, sähkö, maalämpö, ilmalämpö, vesistölämpö tai vaikkapa puu. Rakennuksen energiatehokkuutta parannetaan, kun voidaan hyödyntää kunkin lämmönlähteet parhaat puolet mahdollisimman tehokkaasti. Aurinkokeräimiä tai -paneeleja voidaan käyttää käyttöveden tai itse rakennuksen lämmitykseen keväästä syksyyn, kun aurinkosäteilyä on saatavilla. Niiden ohkeen tarvitaan kuitenkin aina jokin muu lämmönlähde. Sähkövastukset tai vesitakka puolestaan lämmittävät taloa ja käyttövettä talvella, kireimmillä pakkasilla. (Callidus, hybridilämmitys.)

7.5 Jäähdytys

Monet energiatehokkaat talot ovat lämmenneet liikaa, mutta syynä tähän on ollut suuret eteläikkunat tai ylimitoitettu lämmitysjärjestelmä. Puutteellinen suunnittelu aiheuttaa yllämpenemistä, jolloin sisäilman lämpötila joudutaan pitämään sopivana koneellisen viilennyksen avulla. Koneellisen viilennyksen tarve on kuitenkin useimmissa rakennustyypeissä kokonaan vältettävissä suunnittelun keinoin. Suunnittelijan tulee arvioida rakennuksen yllämpeneminen ja passiiviset keinot sen estämiseksi, jotta vältytään koneelliselta viilennykseltä. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 26.)

Yllämpeneminen voidaan estää esimerkiksi ikkunaluukuin, kaihtimin, auringonsuojalasein tai kiinteillä varjostavilla rakenteilla, jotka voivat olla osa rakennuksen arkkitehtuuria. Lasin ulkopuolelle sijoitetut varjostavat rakenteet toimivat tässä tarkoituksessa tehokkaammin kuin lasin sisäpuolelle sijoitetut (Kuvio 14.). Hyviä keinoja ovat yöllä jäähdytys ilmanvaihdon avulla ja päiväaikainen ilmanvaihdon tehostaminen. Ilmanvaihdon korvausilma voidaan tuoda talon pohjoispuolelta, josta saadaan viileämpää ilmaa. Rakennusta voidaan viilentää myös rakennukseen asennetulla lämmitysjärjestelmällä. Tähän sopivat maa- ja ilmalämpöpumppu sekä aurinkosähköjärjestelmät. (Lylykangas & Andersson.)



Kuvio 14. Passiivisten keinojen vaikutus jäähdytystarpeeseen (Lylykangas & Andersson.)

7.6 Ilmanvaihto

Rakennusten kolmantena tärkeänä keinona parantaa energiatehokkuutta on ilmanvaihto ja erityisesti ilmanvaihtolaitteen lämmöntalteenotto. Hyvässä energiatehokkaassa rakennuksessa lämmöntalteenoton hyötysuhde on yli 70 % tai jopa yli 80 %. Esimerkiksi passiivitalossa suositellaan käytettäväksi yli 70 % hyötysuhteen omaavia laitteita. Mitä suurempi hyötysuhde, niin sitä vähemmän lämpöä karkaa ilmanvaihdon seurauksena.

Toimiva ja oikein mitoitettu ilmanvaihtojärjestelmä on välttämätön myös rakenteiden kosteusteknisen toimivuuden kannalta. Rakennusten rakenteiden ilmatiiviuden myötä rakenteista ei pääse virtaamaan ilmaa, jolloin ilman vaihtumiseen on käytettävä koneellista ilmanvaihtoa. Oikein mitoitetulla ilmanvaihtojärjestelmällä tilojen ilmanvaihtomäärät ovat oikean suuruiset sekä sisäilman kosteus pysyy sallituissa rajoissa.

Ilmanvaihdolle löytyy määräyksistä minimi-ilmanvaihdon arvo, joka tulee saavuttaa. Energiatehokkaalle rakennukselle suositellaan kuitenkin käytettäväksi määräysten minimitasoa suurempaa ilmanvaihtoa. Minimi-ilmanvaihto on 0,5 ilmanvaihtokertaa tunnissa, riippuen huoneen käyttötarkoituksesta. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 25.)

Tuloilman päätelaitteet voivat sijaita väliseinissä, katossa tai lattiassa. Kattoasennuksia varten on varattava riittävä tila kanaville, sekä kasvatettava tuloilman nopeutta, jotta sekoittuminen on tehokasta. Seinissä päätelaitteet pilaavat sisustuksen ja ilman nopeuden tulee taas olla matala, jotta ilmavirtaus ei heikennä viihtyvyyttä. Lattiassa olevien päätelaitteiden kautta tuloilma sekoittuu hyvin, mutta samalla nostattaa pölyä. Lämpöviihtyvyys ja sisäilman laatu edellyttävät tuloilman hyvää sekoittumista sisäilmaan. Sekoittuminen myös pienentää huonetilan ilman korkeussuuntaista lämpötilaeroa. Korkeissa huonetiloissa hyvä terminen viihtyvyys on hankalampi saavuttaa, sillä tuloilma ei pääse sekoittumaan hyvin. Energiatehokkaassa rakennuksessa pienten lämpötilaerojen ylläpitäminen on helppoa rakennuksen hyvän ilmatiiviuden ja lämmöneristävyyden myötä. (Sepponen, Nieminen, Tuominen... 2013, 25.)

8 HAASTEET

8.1 Tieto ja taito

Yhä useampiin rakentamiseen ja asumiseen liittyviin asioihin syntyy haasteita ja ongelmia energiatehokkaan rakentamisen seurauksena. Ongelmia on ilmennyt rakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa, mikä on ilmennyt mm. vaipan ulko-osien viilentymisenä. Sisäilman laatu on heikentynyt, mikä on johtunut rakennuksen ylikämmenemisestä kesällä ja jäähdystistarpeen lisääntymisestä. Rakenteiden tiiviiden kasvaessa rakenteiden paineero kasvaa, mikä voi puolestaan lisätä haitallisten aineiden tuloa sisäilmaan. Rakennuksen esteettisyys heikkenee ikkunoiden määrän ja sijoittelun sekä monimuotoisuuden heikentyessä. Tekniset järjestelmät monimutkaistuvat, jolloin niiden toiminta tai viat voivat aiheuttaa kosteus- ja turvallisuusriskejä. Huollon ja ylläpidon tarve korostuu, jotta laitteet toimivat jatkossakin ja takaavat terveellisen sisäympäristön. Kustannukset lisääntyvät ja näin ollen rakentaminen kallistuu entisestään. (Vinha 2014, 3.)

Ongelmien ja haasteiden takana on monesti tietämättömyys, välinpitämättömyys (puutteellinen valvonta) tai taito tehdä asiat oikeaoppisesti. Ensinnäkin kokemukset ovat vielä vähäisiä. Ruotsin ensimmäisestä passiivitalosta on vasta 17 vuotta, joten pitkäaikaista tietoa rakenteiden kosteus- ja lämpöteknisestä toiminnasta ei ole saatavilla. Määräyksistä ja ohjeista löytyy kattavat tiedot rakentaa kosteus- ja lämpöteknisesti toimiva rakennus 1990-luvulle, muttei 2016-luvulle. Määräyksiä ja ohjeita joudutaan soveltamaan vastaamaan nykypäivän vaatimuksia. Ei voida ottaa mallia muista Euroopan maista, joissa ilmasto-olosuhteet ovat erilaiset. Ruotsalaisista asuu selvästi yli puolet Helsingin eteläpuolella, joten lämmitystarve on täysin erilainen Suomeenkin nähden. Rakennusten energiatehokkuuteen panostetaan Ruotsissa kuitenkin muutenkin kuin määräyksillä, esim. rahallista tukea annetaan rakentamiseen ja dokumentointiin.

Rakennuksen lopullinen keino vaikuttaa energiatehokkuuteen viimeistellään rakennusvaiheessa, joten rakentamisen aikaisella laadulla voidaan suuresti vaikuttaa rakennuksen energiatehokkuuteen. Rakenteet voivat nimellisesti vastata passiivitalon vaatimuksia, mutta ne eivät täytä edes matalaenergiatalon tavoitteita lämpöeristeiden ja höyrysulun huonon asennuksen vuoksi. Tehdasasennuksella tähän saadaan lisävarmuutta. Hankitta-

essa koti käyttäen urakoitsijaa, tulee tehdä selväksi urakoitsijalle ja urakoitsijoiden vastaaville työnjohtajille sekä työntekijöille eri suunnitteluratkaisujen merkitys ja työvaiheiden vaatimukset kodin energiatalouteen. Tällöin kaikilla on tieto rakennuksen laatuvaatimuksista ja eri rakennusvaiheet voidaan toteuttaa suunnitelmien mukaisesti. Rakentamisen laatua voidaan lisäksi seurata konkreettisilla laatumittareilla (ilmatiiveysmittaus). Tällöin rakentamisen laatu voidaan todeta jo rakentamisen aikana ja mahdolliset virheet voidaan korjata. Työ tulee aina toteuttaa huolellisesti ja suunnitelmien mukaisesti, mutta haasteena on välinpitämättömyys suunnitelmia kohtaan sekä huolimattomuus. Tämä johtuu rakennuksen mm. kiireellisistä aikatauluista ja puutteellisesta valvonnasta.

Valvonnan tehtävänä on varmistaa suunnittelun laatu siten, että suunnitelman toteuttaminen on vaihtelevissa työmaaolosuhteissa mahdollista. Valvojan tulee myös yhdessä urakoitsijan kanssa varmistaa, että talo rakennetaan suunnitelmien mukaisesti. Liian usein kuitenkin valvonta on puutteellista, eikä näin ollen rakentamisen virheitä huomata. Uudistalojen ongelmat voitaisiin välttää pitämällä huolta rakennuksen suunnittelun ja toteutuksen laadusta.

9 POHDINTA

9.1 Työn tulokset

Arkkitehtuuri vaikuttaa energiatehokkuuteen rakennuksen muodolla, sijainnilla, tilasuunnittelulla sekä ovien ja ikkunoiden rakenteilla. Vaikutukset ovat yksittäin aika pieniä, mutta yhdessä vaikuttavat suuresti rakennusten energiatehokkuuteen. Rakennetekniikan vaikutus on kaikkein suurin, sillä lämmöneristävyys ja ilmatiiveys ovat tärkeimpiä energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä. Talotekniikka vaikuttaa energiatehokkuuteen lämmön tuoton optimoinnilla ja lämmöntalteenoton hyvällä hyötysuhteella. Suuri hyötysuhde mahdollistaa pienet lämpöhäviöt yhdessä tiiviiden ja lämpimien rakenteiden kanssa.

Rakenteiden laskennallinen tarkastelu tehtiin DOF-Lämpö ohjelmalla, jolla tutkittiin seinä- ja yläpohjarakenteiden kosteusteknistä toimivuutta sekä varmistettiin valmistajan ilmoittamat u-arvot. Rakenteiden kosteustekninen toimivuus oli kunnossa eli rakenteisiin ei päässyt tiivistymään kosteutta. Myös u-arvot olivat kunnossa eli alittivat valmistajan ilmoittamat arvot. Rakenteiden materiaaliarvojen syöttäminen oli hankalaa, sillä tuotteet ovat uudistuneet. Laskennassa käytettiin uusia materiaaleja, joiden arvot olivat lähimpänä oikeita arvoja.

9.2 Työn johtopäätökset

Opinnäytetyön tuloksena oli, että rakennuksen muodolla, sijainnilla tai tilasuunnittelulla voidaan parantaa rakennuksen energiatehokkuutta, mutta tärkeimmät keinot energiatehokkuuden parantamiseen olivat lämmöneristävyden, ilmatiiviyden ja lämmöntalteenoton parantaminen. Opinnäytetyössä huomattiin, että erot Suomen ja Ruotsin välillä olivat pienet koskien energiatehokasta rakentamista. Syynä tähän olivat määräysten yhdenmukaisuus sekä samankaltaiset ilmasto-olosuhteet. Nykypäivän ohjeita ja määräyksiä noudattaen voidaan rakentaa toimiva energiatehokas pientalo, jossa energiatehokkuus on huomioitu jo suunnitteluvaiheessa. Käyttäjät kuitenkin määrittelevät todellisen rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen käytöllään, joten lopputulos on kiinni käyttäjistä.

LÄHTEET

Almquist K. & Svensson J. 2010. Platta på mark för Passivhus. Luettu 14.3.2016. <http://www.bkl.lth.se/fileadmin/byggnadskonstruktion/publications/THID/THID5185.pdf>

Boverket. 7.8.2014. Energiklasser från A–G. Luettu 1.2.2016. <http://www.boverket.se/sv/byggande/energideklaration/energideklarationens-innehall-och-sammanfattning/sammanfattningen-med-energiklasser/energiklasser-fran-ag/>

Callidus. Maalämpö. Luettu 24.3.2016. <http://www.callidus.fi/fi/lammitys/ratkaisut/maalampo>

Callidus. Hybridilämmitys. Luettu 25.3.2016. <http://www.callidus.fi/fi/lammitys/ratkaisut/hybridilammitys>

Climecon. Ilmalämmitys. Luettu 22.3.2016. <http://www.climecon.fi/ratkaisut/ilmalammitys>

Danielski I., Svensson M. & Fröling M. 2013. Adaption of the passive house concept in northern Sweden - a case study of performance. Passivhus Norden 2013. Luettu 3.2.2016. http://www.laganbygg.se/UserFiles/Presentations/1._Session_1_I._Danielski.pdf

Energiatohokas koti. Plusenergiatalo. Päivitetty 5.2.2016. Luettu 5.2.2016. http://www.energiatohokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa/nolla-_ja_plusenergiatalo

Entec. Lämpökuvaukset. Luettu 13.3.2016. <http://www.entec.fi/lampokuvaus/>

Euroopan unionin virallinen lehti. 18.6.2010. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2010/31/EU. Luettu 25.1.2016. <http://eur-lex.europa.eu/legalcontent/FI/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=FI>

Finlex. Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta, 176/2013. Luettu 1.2.2016. <http://www.finlex.fi/data/sdliite/liite/6186.pdf>

Finnfoam. Form för grundplatta. Luettu 21.3.2016. <http://www.finnfoam.se/anvandningsomraden/hallfast-och-vattenavvisande-tjalisolering/form-grundplatta/>

Government Offices of Sweden. 20.3.2015. Headline objectives and Sweden's national targets. Luettu 2.2.2016. <http://www.government.se/sweden-in-the-eu/europe-2020/headline-objectives-and-swedens-national-targets/>

Isover. Ulkoseinä. Luettu 16.3.2016. <http://www.isover.fi/ratkaisut/uudisrakentaminen/pien-ja-rivitalot/passiiviratkaisut/ulkoseina>

Isover. Yläpohja. Luettu 18.3.2016. <http://www.isover.fi/ratkaisut/uudisrakentaminen/pien-ja-rivitalot/passiiviratkaisut/ylapohja>

Kingspan. Suositeltavat matala-, passiivi- ja nollaenergiatalon rakennusosat. Luettu 10.3.2016. <http://www.spu.fi/suunnittelu/suunnitteluohjeet/passiivipientalo/>

Kingspan. Lämmöneristävyys. Luettu 10.3.2016. <http://elementit.kingspan.fi/Lammoneristavyys-12200.html>

Kingspan. SPU eristeet ja muut eristemateriaalit: rakenteiden paksuusvertailu. Luettu 14.3.2016. http://spu.studio.crasman.fi/pub/Website+material/PDF+and+other+files/Own+instructions%2C+manuals%2C+brochures%2C+material/SPU_Eristeet_Rakenteiden_Paksuusvertailu_2013.pdf

Lylykangas K. & Nieminen J. Passiivi.info. Passiivitalon talotekniikka, rakenteet ja detaljisuunnittelu. Luettu 11.3.2016. <http://www.passiivi.info/data-.php?sivu=detalji>

Lylykangas K., Andersson A., Kiuru J., Nieminen J. & Päätaalo J. 8.9.2015. Rakenteellinen energiatehokkuus. Ladattu 15.12.2015. http://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf

Motiva. Matalaenergiatalo. Päivitetty 23.7.2015. Luettu 2.2.2016. http://www.motiva.fi/rakentaminen/millainen_on_energiatehokas_pientalo/matalaenergiatalon_maaritelmaa

Motiva. 16.7.2015. Rakennusten energiatehokkuusdirektiivi. Luettu 25.1.2016. http://www.motiva.fi/taustatietoa/ohjauskeinot/direktiivit/rakennusten_energiatehokkuusdirektiivi

Nieminen J. & Lylykangas K. 2009. Passiivitalon määritelmä. Luettu 3.2.2016. http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf

Nieminen J. Mikä on passiivitalo. VTT. Luettu 3.2.2016. <http://passiivitalo.vtt.fi/files/mika%20on%20passiivitalo.pdf>

Nollaenergiatalo. Koko ja muoto. Luettu 19.2.2016. <http://www.nollaenergiatalo.fi/nollaenergiatalon-suunnittelu/koko-ja-muoto>

Nordic Ecolabelling. 19.3.2014. About Nordic Ecolabelled Windows and Exterior doors 4.1. Luettu 3.3.2016. http://www.ecolabel.dk/kriteriedokumenter/062_4_1_Background_document.pdf

Paroc. Lämpöhäviö. Luettu 13.3.2016. <http://www.paroc.fi/knowhow/energiatehokkuus/rakennusten-suunnittelu/rakennuksen-vaippa>

Passivhus Granbäck. 2009. Konstruktion. Luettu 18.3.2016. <http://www.granback.se/om-huset/konstruktion/>

REC Indovent AB. Lågenergihus, passivhus eller plusenergihus – vad är skillnaden? Luettu 23.2.2016. <http://www.rec-indovent.se/sv/vart-att-veta/lagenergihus-passivhus-eller-plusenergihus-vad-ar-skillnaden/>

Reinikainen E., Loisa L. & Tyni A. 2015. FInZEB-hankkeen loppuraportti. Luettu 22.2.2016. http://finzeb.fi/wp-content/uploads/2015/04/FInZEB_loppuraportti.pdf
renZERO™ projektet. Luettu 23.2.2016. <http://www.renzero.se/pdf/RenZero-broschyr-web.pdf>

RT 81-10854. Pientalon perustukset ja alapohjien liittymät. Syyskuu 2005.

Samuelson I. Bygg & teknik 5/08. Ökar risken för fuktskador i passivhus? Luettu 23.2.2016. http://www.fuktsakerhet.se/sv/fakta/Documents/IS%20BT%205_08.pdf

Sepponen M., Nieminen J., Tuominen P., Kouhia I., Shemeikka J., Viikari M., Hemmilä K. & Nykänen V. 2013. Lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeet. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskukseen raportteja 2/2013. Ladattu 15.12.2015. https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40307/browse?type=dateissued&sort_by=3&order=DESC&rpp=20&offset=15

Skaala. Skaala ikkunakuvasto. Ladattu 3.3.2016. <http://www.skaala.com/ikkunat.html>

SPU passiivikatto. Luettu 18.3.2016. <http://spu.studio.crasman.fi/pub/Website+material/PDF+and+other+files/Own+instructions,+manuals,+brochures,+material/SPU+Passiivikatto+-yleisesitys>

Technobothnia. Rakennusteknilliset palvelut. Rakennusten tiiviysmittaukset. Luettu 13.3.2016. <http://www.technobothnia.fi/yrityspalvelut/rakennusteknillisia-palveluja/>

Thomsen K. E. & B. K. 2008. European national strategies to move towards very low energy buildings. Luettu 15.2.2016. http://www.euroace.org/PublicDocumentDownload.aspx?Command=Core_Download&EntryId=107

Wahlström Å. 2009. Bakgrund till ft-SS-24300, Byggnaders energiprestanda. Luettu 22.2.2016. http://www.energy-management.se/attachments/documents/68/rapport_standard_energiklassning_byggnader_091005.pdf

Ympäristö. 5.11.2015. Rakennuksen energiatodistus. Luettu 1.2.2016. http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennuksen_energiatodistus

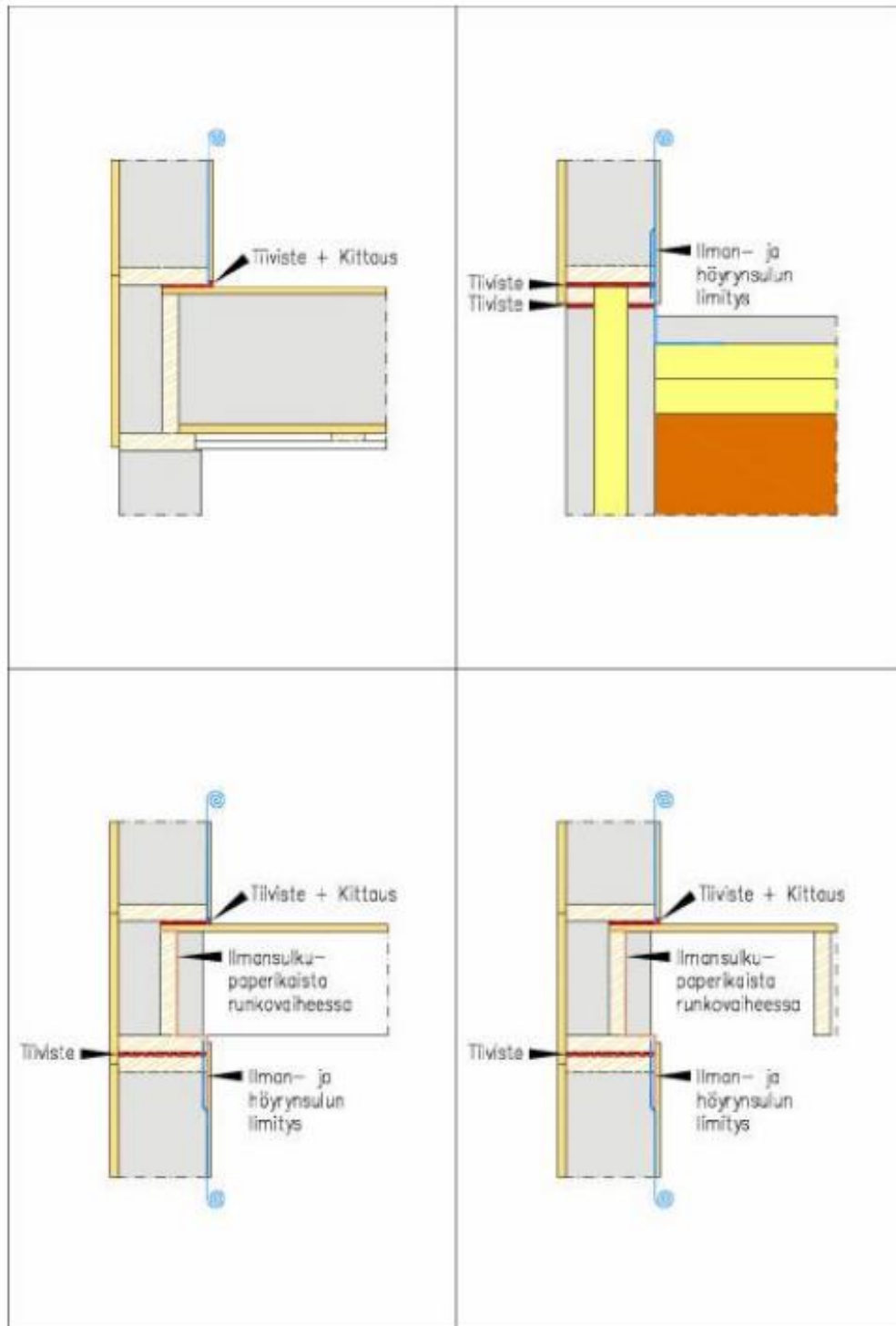
Ympäristöministeriö. 23.1.2015. Lausuntopyyntö luonnoksesta rakennusten kuntotutkimusoppaaksi. Luku 7 Rakenteiden kosteusvaurioriskin arviointi. Ladattu 11.4.2016. [http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot_ja_lausuntoyhteenveto/2015/Lausuntopyynto_luonnoksesta_rakennusten_\(32552\)](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Lausuntopyynnot_ja_lausuntoyhteenveto/2015/Lausuntopyynto_luonnoksesta_rakennusten_(32552))

LIITTEET

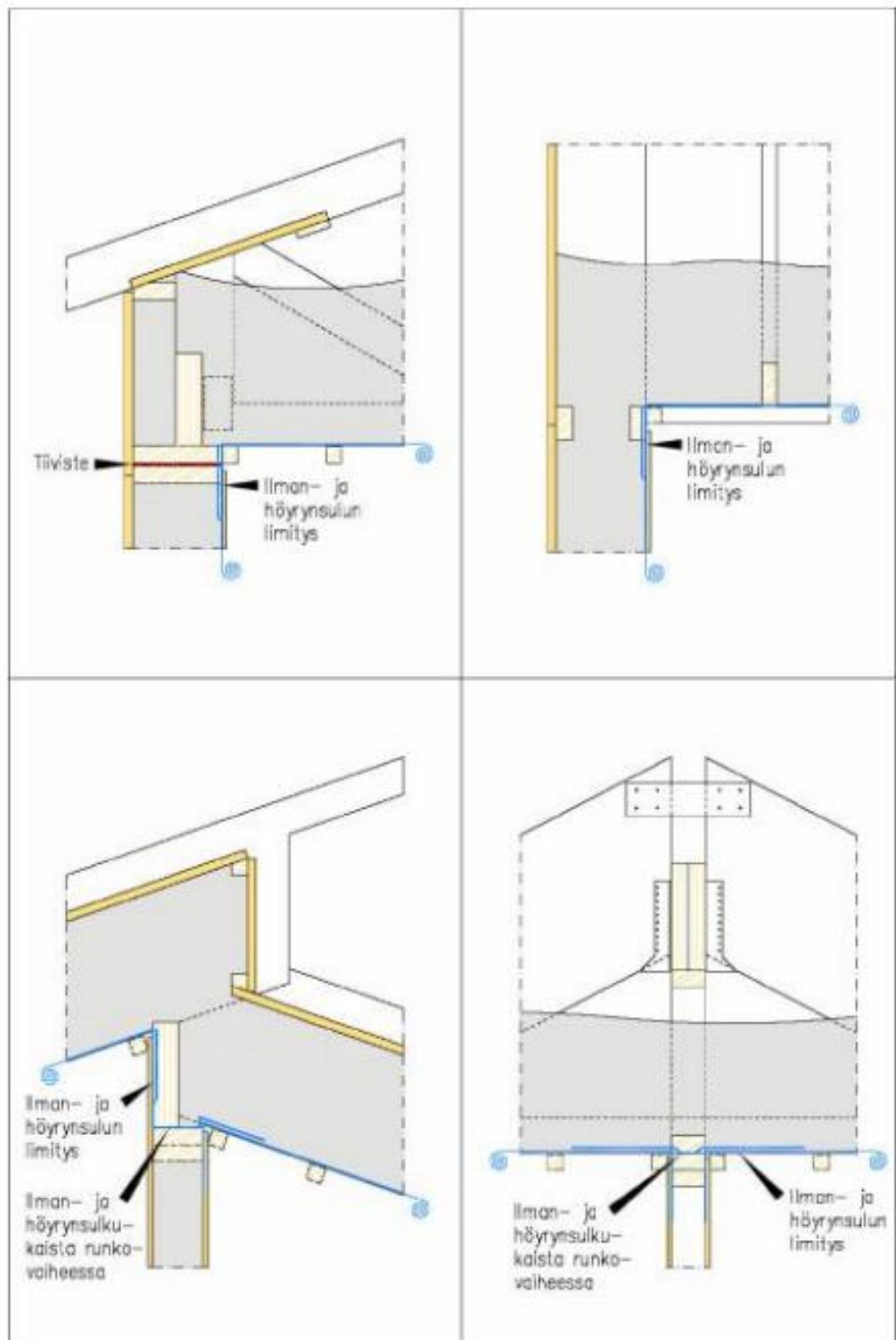
Liite 1. Ilmanpitävyyden rakentaminen

Ilmanpitävyyden rakentamisen ohjeet (Nieminen, 14.)

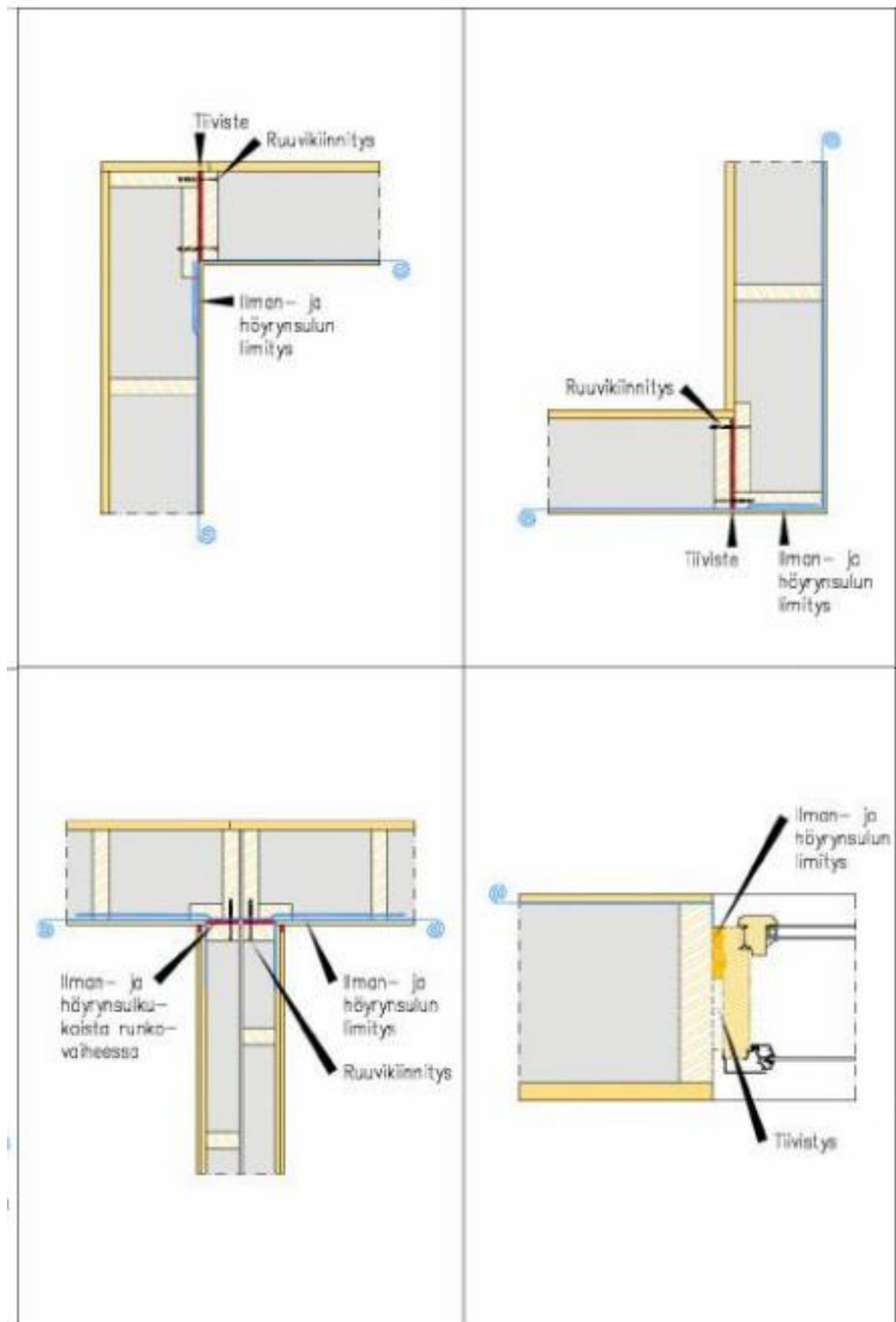
1(4)

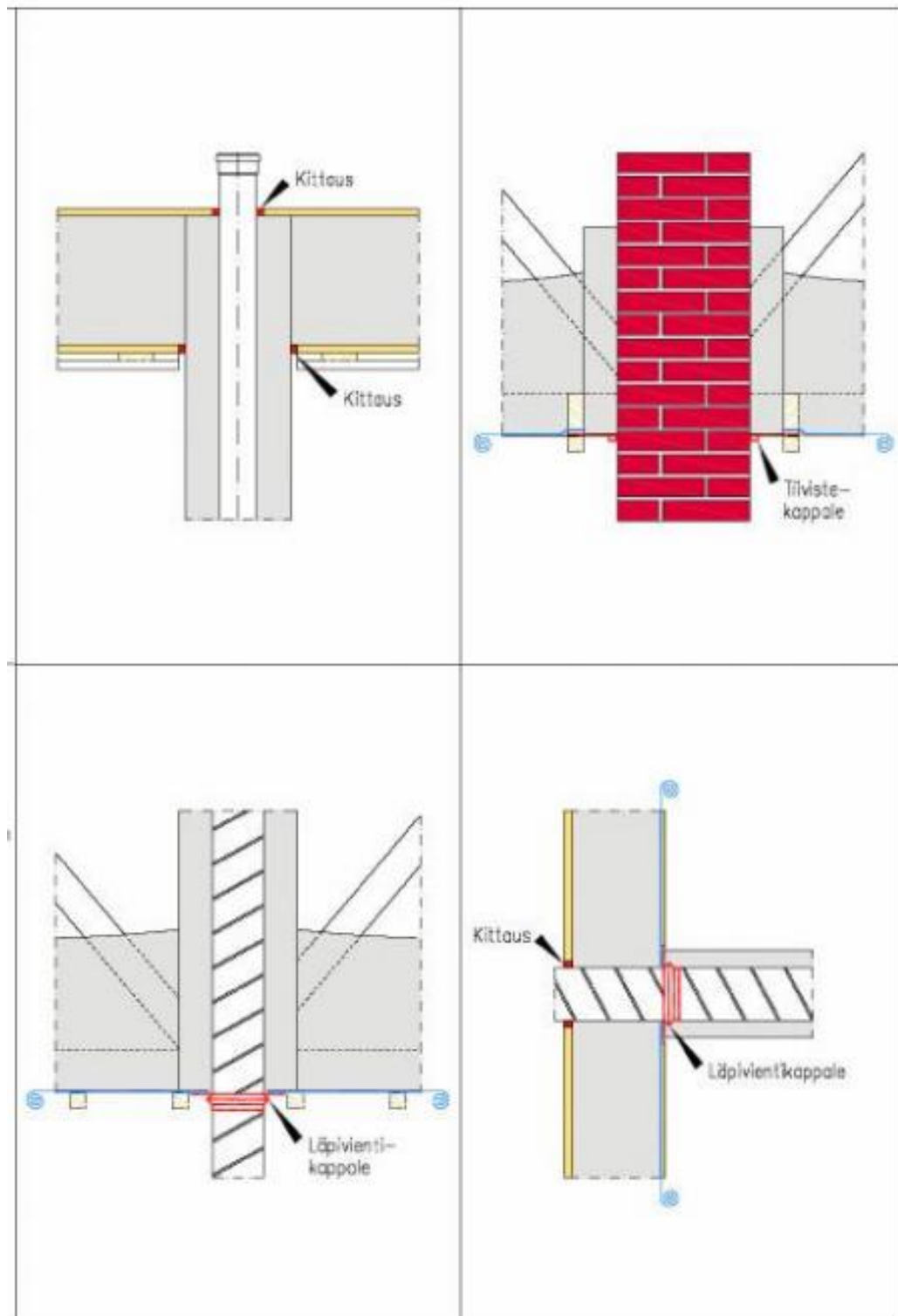


(jatkuu)



(jatkuu)

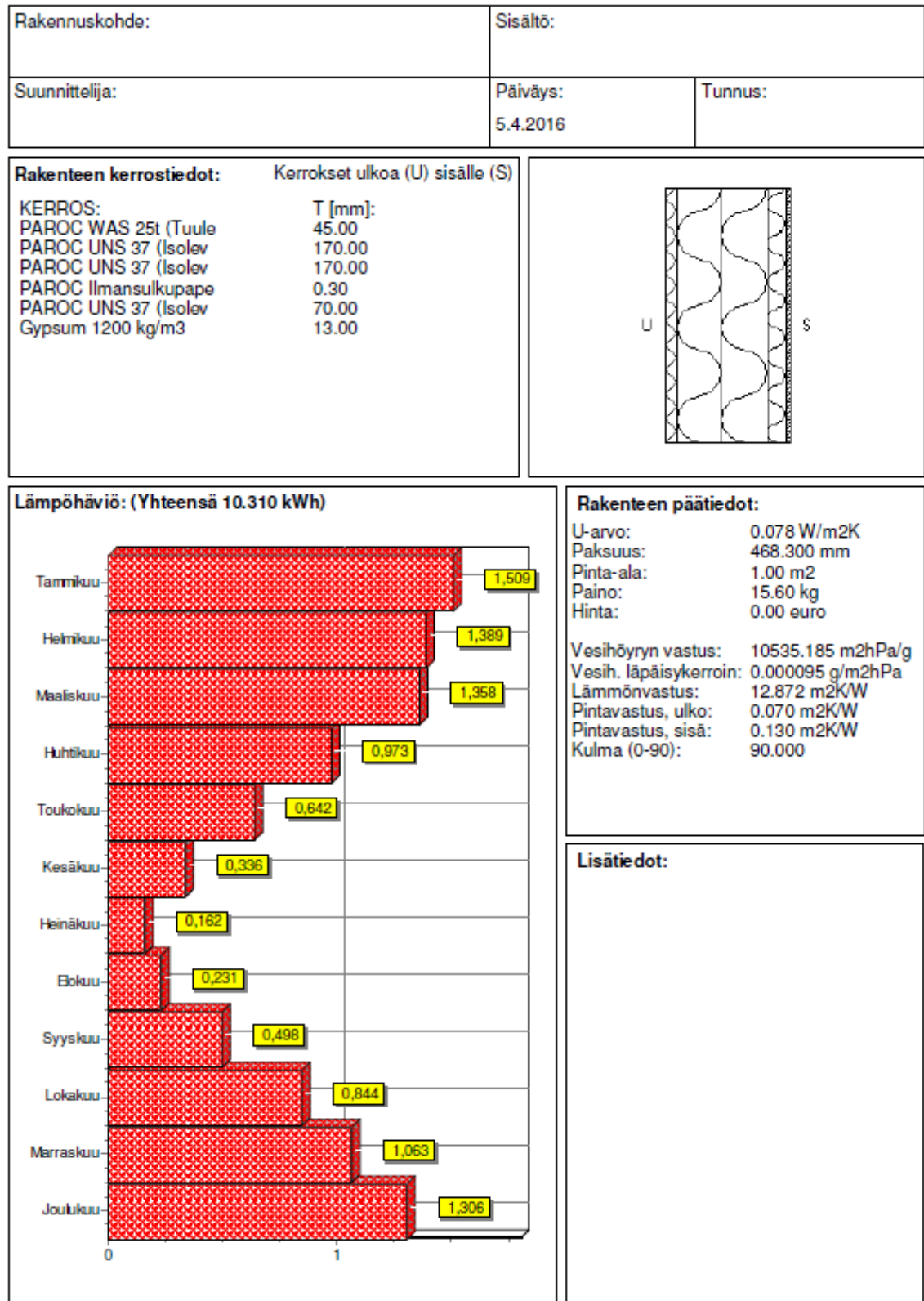




Liite 2. Dof-lämpö-tulosteet

Ulkoseinän Dof-lämpö-tulosteet

1(4)



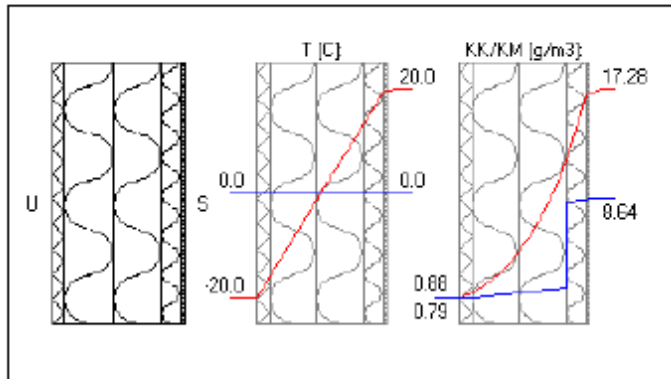
(jatkuu)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 5.4.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.078 W/m²K
Paksuus: 468.300 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 15.60 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 10535.185 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000095 g/m²hPa
Lämmönvastus: 12.872 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 PAROC WAS 25t (Tuule	45.00	0.0360	3.780000e-04	0.00	0.00
2 PAROC UNS 37 (Isolev	170.00	0.0360	3.780000e-04	0.00	0.00
3 PAROC UNS 37 (Isolev	170.00	0.0360	3.780000e-04	0.00	0.00
4 PAROC Ilmansulkupape	0.30	0.1200	3.240000e-08	0.00	0.00
5 PAROC UNS 37 (Isolev	70.00	0.0360	3.780000e-04	0.00	0.00
6 Gypsum 1200 kg/m ³	13.00	0.4300	1.800000e-04	0.00	1200.00

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

Lämpötilat ja kosteudet:

3:n päivän kylmin (0.0 h)

Lisätiedot:

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.78	0.89	0.79	88.4	0.00
2	-15.90	1.27	0.88	69.2	0.00
3	-1.22	4.44	1.21	27.3	0.00
4	13.45	11.71	1.55	13.2	0.00
5	13.46	11.71	8.45	72.1	0.00
6	19.50	16.80	8.59	51.1	0.00
7	19.60	16.89	8.64	51.2	0.00
S	20.00	17.28	8.64	50.0	0.00

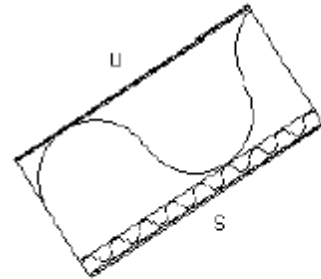
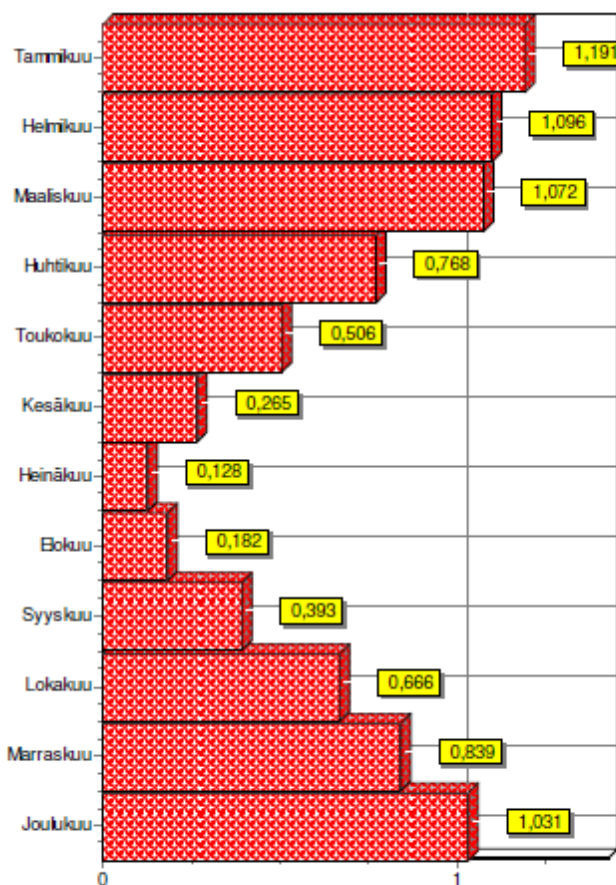
T-Lämpötila, KK-Kyllästymiskosteus, KM-Kosteusmäärä, SK-Suhteellinen kosteus

(jatkuu)

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 5.4.2016	Tunnus:

Rakenteen kerrostiedot: Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:
PAROC ROS 40 (~Alusk	9.00
PAROC UNS 37 (Isolev	500.00
PAROC Ilmansulkupape	0.30
PAROC UNS 37 (Isolev	70.00
Gypsum 1200 kg/m3	13.00


Lämpöväiö: (Yhteensä 8.137 kWh)

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0.061 W/m ² K
Paksuus:	592.300 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	15.60 kg
Hinta:	0.00 euro

Vesihöyryn vastus:	10863.228 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	0.000092 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	16.309 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.070 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	33.000

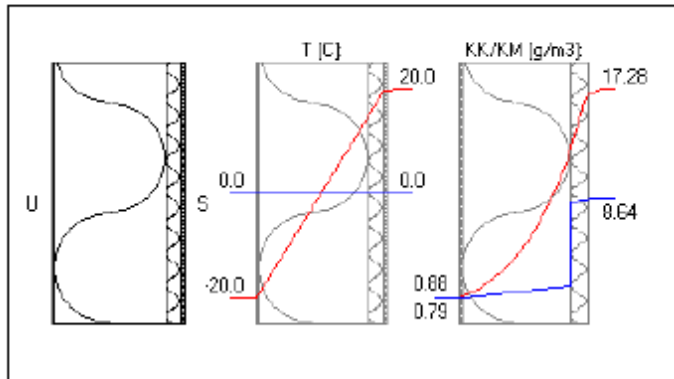
Lisätiedot:

Rakennuskohde:	Sisältö:	
Suunnittelija:	Päiväys: 5.4.2016	Tunnus:

Rakenteen pää tiedot:

U-arvo: 0.061 W/m²K
Paksuus: 592.300 mm
Pinta-ala: 1.00 m²
Paino: 15.60 kg
Hinta: 0.00 euro

Vesihöyryn vastus: 10863.228 m²hPa/g
Vesih. läpäisykerroin: 0.000092 g/m²hPa
Lämmönvastus: 16.309 m²K/W
Pintavastus, ulko: 0.070 m²K/W
Pintavastus, sisä: 0.130 m²K/W
Kulma (0-90): 33.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [gm/Nh]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 PAROC ROS 40 (-Alusk	9.00	0.0370	3.780000e-04	0.00	0.00
2 PAROC UNS 37 (Isolev	500.00	0.0360	3.780000e-04	0.00	0.00
3 PAROC Ilmansulkupape	0.30	0.1200	3.240000e-08	0.00	0.00
4 PAROC UNS 37 (Isolev	70.00	0.0360	3.780000e-04	0.00	0.00
5 Gypsum 1200 kg/m ³	13.00	0.4300	1.800000e-04	0.00	1200.00

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

Lämpötilat ja kosteudet:**3:n päivän kylmin (0.0 h)**

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	-20.00	0.88	0.79	90.0	0.00
1	-19.83	0.89	0.79	88.7	0.00
2	-19.23	0.93	0.81	86.3	0.00
3	14.83	12.73	1.76	13.8	0.00
4	14.84	12.73	8.46	66.4	0.00
5	19.61	16.90	8.59	50.8	0.00
6	19.68	16.97	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

Lisätiedot: