

Toini Heikkinen

**MATALAENERGISEN PIENTALON RAKENNUSPROJEKTIN TOTEUTUS**

Insinöörityö  
Kajaanin ammattikorkeakoulu  
Tekniikka ja liikenne  
Rakennustekniikka  
Kevät 2013



Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Rakennustekniikka
Tekijä(t) Toini Heikkinen	
Työn nimi Matalaenergisien pientalon rakennusprojektin toteutus	
Vaihtoehdot ammattiopinnot	Ohjaaja(t) Matti Tiainen
	Toimeksiantaja Rakennustyö K. Liuski
Aika Kevät 2013	Sivumäärä ja liitteet 66+34
<p>Insinööritöiden tavoitteena on ollut toteuttaa matalaenerginen pientalo, joka on rakennettu kiinnittämällä huomiota kokonaisvaltaiseen rakennuskonseptin energiatehokkuuteen. Tämä on saatu aikaan arkkitehtuurin sekä rakenne- ja talotekniikkajärjestelmien sekä huolellisen rakentamisen ja valvonnan yhteistyön tuloksena. Matalaenergiarakennusten arkkitehti-, rakenne- ja talotekniikkasuunnittelun keskeisenä periaatteena on ollut yksinkertaisuus ja varmatoimisuus.</p> <p>Insinööritöiden tekijä on toiminut kohteen arkkitehti- ja rakennesuunnittelijana, pääsuunnittelijana, rakennustyön valvojana ja rakennuttamisen konsulttina. Kohderakennuksesta on tehty rakennuslupakuvat, energialaskelmat, energiatodistus, kantavien rakenteiden mitoituslaskelmat sekä rakenne- ja työpiirustukset. Rakennukselle on toteutettu ilmanvuotomittaus ja lämpökamerakuvaus. Projektista on laadittu kustannusarvio, jota verrataan toteutuneisiin kustannuksiin. Insinööritöiden lopputulokset saavutettiin lähes kaikilta osin asetettujen tavoitteiden mukaisesti.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	matalaenergiarakentaminen, energiatehokkuus, talonrakennus, ilmanpitävyys
Säilytyspaikka	<input type="checkbox"/> Verkkokirjasto Theseus <input type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto



School School of Engineering	Degree Programme Construction Engineering
Author(s) Toini Heikkinen	
Title Construction Project Implementation of a Low-energy Detached Home	
Optional Professional Studies	Instructor(s) Mr. Matti Tiainen
	Commissioned by Rakennustyö K,Liuski
Date Spring 2013	Total Number of Pages and Appendices 67+34
<p>The objective of this thesis is to implement a low-energy detached home built paying attention to the overall concept of building and the energy efficiency. This was achieved by taking into account architectural, structural and building services systems, as well as careful construction and inspection.</p> <p>The author of the thesis has been working as the architect and structural engineer, chief designer, the building administrator and construction consultant of the project. As a result, the building now has the construction pictures and building energy calculations, as well as an energy certificate. The air leakage measurement and thermal imaging has been made to the building. The project cost estimate has been calculated and compared to the actual costs. The final results of this thesis were achieved in almost all respects in accordance with the objectives set.</p>	
Language of Thesis	Finnish
Keywords	low-energy building, energy efficiency, house building, air tightness
Deposited at	<input type="checkbox"/> Electronic library Theseus <input type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 MATALAENERGIARAKENNUS	3
2.1 Määrittely	3
2.2 Toteutusperiaate	4
2.3 Lämpöhäviöt	5
2.4 Määräykset ja ohjeet	5
3 EKO- JA ENERGIA TEHOKKAAN RAKENNUKSEN SUUNNITTELU	7
3.1 Lähtötiedot	7
3.2 Tontinkäyttösuunnitelma	8
3.3 Rakennustyyppi	9
3.4 Luonnos- ja arkkitehtisuunnittelu	10
3.5 Talotekniikka	12
3.6 Tulevaisuuden muutokset energiatehokkuudessa	14
4 RAKENNETEKNINEN SUUNNITTELU	16
4.1 Lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu	16
4.2 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus	17
4.3 Kantavat puurakenteet	18
5 ILMATIIVIYS JA LÄMPÖKAMERAKUVAUS	20
5.1 Ilmatiiviys	20
5.2 Pientalon ilmanvuotokohdat	21
5.3 Lämpökamerakuvaus ja ilmatiiviysmittaus	22
6 KOHDE TALON SUUNNITTELU ENERGIA TEHOKKUUDEN KANNALTA	23
6.1 Tontin käyttösuunnitelma	23
6.2 Arkkitehtisuunnittelu	25
6.3 Talotekniikka ja energiatehokkuus	26
7 KOHDE TALON RAKENTEET	29
7.1 Rakennuspohja ja perustus	29

7.2 Alapohja	32
7.2.1 U-arvo	32
7.2.2 Lämpö- ja kosteustekninen toiminta	33
7.2.3 Toteutus	34
7.3 Ulkoseinä	38
7.3.1 U-arvo	38
7.3.2 Lämpö- ja kosteustekninen toiminta	39
7.3.3 Toteutus	39
7.4 Yläpohja	42
7.4.1 U-arvo	42
7.4.2 Lämpö- ja kosteustekninen toiminta	43
7.4.3 Toteutus	44
7.5 Ikkunat ja ovet	48
7.6 Kantavat rakenteet	50
7.6.1 Laskennan toteutus ja lähtöarvot	50
7.6.2 Vesikaton kannatinpalkki	51
7.6.3 Terassin kattopalkit	52
8 RAKENNUKSEN ENERGIALASKELMAT JA MITTAUKSET	53
8.1 Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskenta	53
8.2 Energiatodistus	54
8.3 Toteutettu lämpökamerakuvaus	55
8.4 Toteutettu ilmatäivysmittaus	56
9 KUSTANNUSARVIO/TOTEUTUNEET KUSTANNUKSET	58
10 TULOSTEN ANALYSOINTI	60
11 YHTEENVETO	62
LÄHTEET	64
LIITTEET 34 kpl	

## TERMIT JA MÄÄRITELMÄT

**Ilmansulku** Rakennusosassa oleva ainekerros, joka estää haitallisen ilmavirtauksen rakennusosan läpi puolelta toiselle.

**Kylmäsilta** Rakennusosassa oleva, viereisiin aineisiin verrattuna hyvin lämpöä johtavasta aineesta tehty rakenneosa, jonka kohdalla lämpötilaeron vaikutuksesta rakennusosan pintojen läpi kulkevan lämpövirran tiheys on jatkuvuustilassa viereiseen alueeseen verrattuna suurempi.

**Käyttörajatila** Rajatila, joka liittyy rakenteen tai rakenneosan toiminta normaalikäytössä, ihmisten mukavuuteen tai rakennuskohteen ulkonäköön.

### Leikkausvoima, $Q$ , $N$

Kannattimen poikkileikkauksen leikkausvoimaksi sanotaan niiden kahden sisäisen voimasysteemin resultantteja eli summavektoreita, jotka estävät kyseessä olevan leikkauksen eri puolilla olevia kannattimen osia siirtymästä toisiinsa nähden poikittaissuunnassa leikkauksen kohdalla.

**Lämmöneriste** Rakennusaine, jota käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella olennaisesti lämmöneristämiseen.

**Lämmöneristys** On yhdestä tai useammasta lämmöneristeestä rakennusosaan tehty eristekokonaisuus.

### Lämmöntalteenotto

Ilmanvaihdon lämmöntalteenotto on tapa vähentää energian kulutusta. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottolaitteet pyrkivät vähentämään ilmanvaihdon aiheuttamaa lämpöhäviötä.

### Lämmönvastus $R$ , ( $m^2 K$ )/ $W$

Termisessä jatkuvuustilassa olevan tasapaksun ainekerroksen tai kerroksellisen rakenteen lämmönvastus ilmoittaa rakenteen eri puolilla olevien isotermisten pintojen lämpötilaeron ja ainekerroksen läpi kulkevan lämpövirran tiheyden suhteen.

<b>Lämpöhäviö</b>	Rakennuksen lämpöhäviö on vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö.
<b>Lämpötilaindeksi</b>	Lämpötilaindeksillä voidaan arvioida rakennuksen vaipan lämpöteknistä toimivuutta. Vaipan pintalämpötiloja voidaan arvioida ja verrata toisiinsa lämpötilaindeksiä käyttämällä silloin, kun lämpötilojen mittauksia ei voida tehdä vakio-olosuhteissa ( $-5\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$ :n ulkolämpötilassa ja $+20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ sisälämpötilassa). Lämpötilaindeksi annetaan prosentin tarkkuudella.
<b>Murtorajatila</b>	Rakenteen tasapainon menetys, vaurioituminen tai murtuminen tai väsymisen aiheuttama murtuma.
<b>Rajatilamitoitus</b>	Muodostuu rakenne- ja kuormitusmalleihin, mikään rajatila ei saa ylittyä, kun malleissa käytetään asianmukaisia mitoitusarvoja kuormille, materiaali ja tuoteominaisuuksille sekä mittatiedoille.
<b>Taivutusmomentti M, Nm</b>	Lujuusopissa käytettävä suure, joka kuvaa kappaleessa vallitsevan jännitysjakauman taivuttavaa vaikutusta.
<b>Tuulensuoja</b>	Rakennusosassa oleva ainekerros, jonka pääasiallinen tehtävä on estää haitallinen ilmavirtaus ulkopuolelta sisäpuoliseen rakenteen osaan ja takaisin.
<b>U-arvo, W/(m<sup>2</sup> K)</b>	<b>Lämmönläpäisykerroin</b> ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen.

[27. ja 31. ja 32.]

## 1 JOHDANTO

Työn tilaaja Rakennustyö K.Liuski oli rakentamassa pientaloa Sotkamoon ja tunsin mielenkiintoa lähteä suunnittelemaan rakennuksen kokonaisvaltaista toteutusta. Marraskuussa 2010 tiedustelin yliopettaja Jari Kurteliukselta mahdollisuudesta tehdä insinöörityö rakennusprojektista, joka toteutetaan suunnittelusta aina valmistumiseen saakka hyvin pitkällä ajalla vuosien 2011 ja 2012 aikana. Esitin hänelle insinöörityön alustavan sisällön ja kävi ilmi, että sisältö oli sen verran laaja, että siitä olisi mahdollista eriyttää projektityö omaksi aiheekseen.

Käytyäni keskustelua yliopettajan ja rakennustekniikan opettajien kesken tavoitteeksi muodostui luoda projektityö, joka olisi ajallisesti aikaisimmassa vaiheessa toteutusta ja muodostaisi oman aihekokonaisuuden, josta voisin jatkaa tätä insinöörityötä.

Projektityö käsitteli kohteen tarve-, hanke- ja rakennussuunnittelun sekä tavoitehinnan. Työn tuloksina syntyivät tilaohjelma ja projektin toteutusaikataulu, tavoitehinta muodostui rakennusosa-arvion perusteella. Rakennussuunnittelu keskittyi lähinnä rakennuksen sisätilojen tilasuunnitteluun vaikuttaviin tekijöihin esteettömyyden ja majoittumisen kannalta. Tila- ja rakennussuunnittelu toteutettiin kevään 2011 aikana, jolloin on piirretty arkkitehti- ja rakennuskuvat. Projektityö *Esteettömän majoitusrakennuksen tilasuunnittelu* on luovutettu joulukuussa 2011.

Projektityössä syntyneet luonnospiiirustukset toimivat pienten muutosten ja lisäysten jälkeen rakennuslupahakemuksen pääpiiirustuksina haettaessa rakennuslupaa kohteelle elokuussa 2011. Ulkoseinän/alapohjan ja ulkoseinän/yläpohjan leikkauspiiirustus liitettiin rakennusvalvonnan arkistoon rakennepiiirustuksina. Projektityössä suunnitellut rakenteiden yksityiskohdalliset detaljit ala- ja yläpohjasta sekä ulkoseinästä esitellään tässä insinöörityössä kosteus- ja lämpöteknisen toimivuuden kannalta. Rakennedetaljit käydään myös läpi rakennusvalvonnan lopputarkastuksessa, jolloin ne liitetään osaksi talon huoltokirjaa. Kaikkia näitä piiirustuksia on käytetty hyväksi talon rakentamisen eri vaiheissa, ja niiden perusteella on luotu erilaisia työpiiirustuksia.



Tässä työssä keskitytään tuomaan esille matalaenergiatalon, ekologisuuden ja energiatehokkuuden vaatimukset rakentamisessa, rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus sekä kantavien puurakenteiden lujuuslaskenta. Lähdeaineistona on käytetty vuonna 2011 voimassa olevia määräyksiä ja ohjeita.

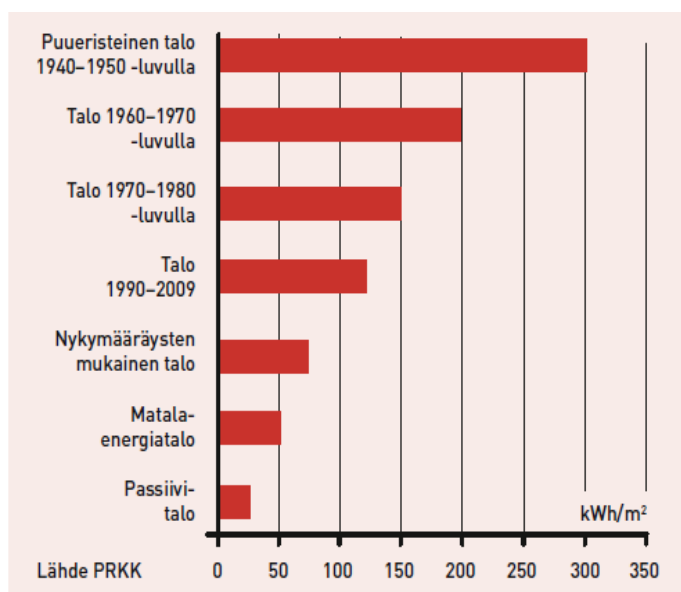
Kohderakennuksesta on tehty rakennuslupakuvat ja energialaskelmat sekä energiatodistus. Insinööriyön tekijä on toiminut kohteen arkkitehti- ja rakennesuunnittelijana, pääsuunnittelijana, rakennustyön valvojana ja rakennuttamisen konsulttina. Rakennukselle on toteutettu ilmanvuotomittaus ja lämpökamerakuvaus. Projektista on laadittu kustannusarvio, jota verrataan toteutuneisiin kustannuksiin. Rakennus oli lähes valmis 2012 joulukuksi.

## 2 MATALAENERGIARAKENNUS

### 2.1 Määrittely

Matalaenergiarakennus määritellään tässä tekstissä tilojen lämmityksen ja jäähdytyksen nettoenergian ominaistarpeen sekä ostoenergian ominaiskulutuksen perusteella [1].

Matalaenergiarakennukset jaetaan kahteen luokkaan: matalaenergiatalo (enintään 50 kWh/(m<sup>2</sup>a) ja passiivitalo (enintään 25 kWh/(m<sup>2</sup>a) [1]. Arvot pätevät Jyväskylän ilmastotiedoilla [1]. RIL 249:n mukaisesti Pohjois-Suomen kertoimena Jyväskylän tasoon käytetään 1,27, eli matalaenergiseksi rakennukseksi insinööritoimistossa Sotkamossa voidaan todeta rakennus, jonka lämmitysenergian kulutus on 63,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Kuvassa 1 näkyy energiankulutus lämmitykseen eri aikakausien pientalossa.



Kuva 1. Energiankulutus lämmitykseen eri aikakausien pientalossa.

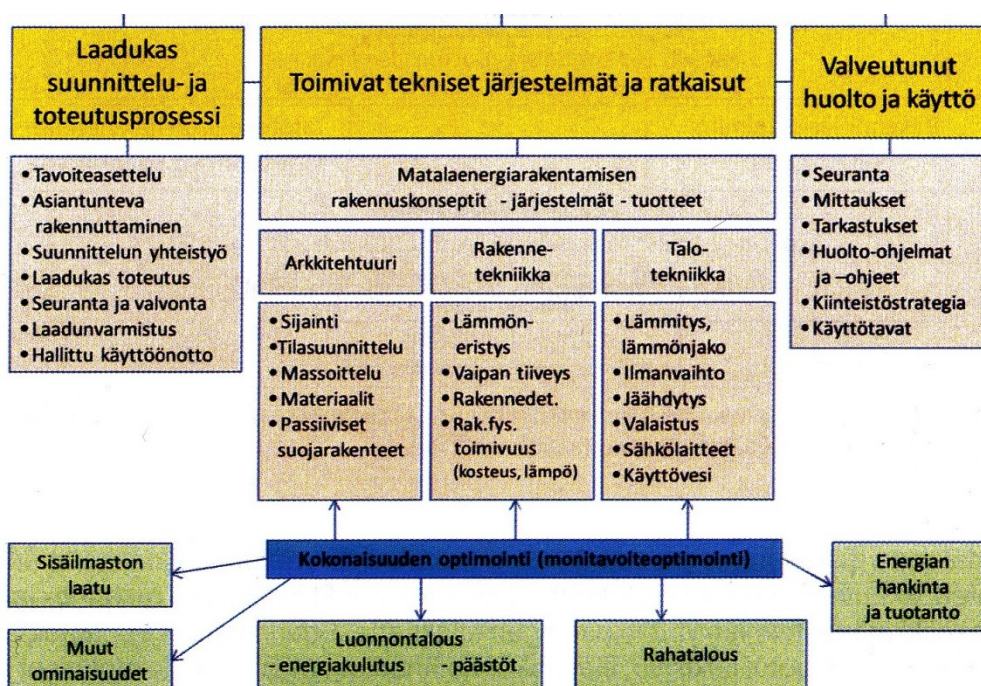
Matalaenergiarakentaminen perustuu kokonaisvaltaiseen rakennuskonseptin energiatehokkuuteen, joka saavutetaan rakennuksen arkkitehtuurin sekä rakenne- ja talotekniikkajärjestelmien yhteistoiminnan tuloksena. Matalaenergiatalo toteutetaan etsimällä rakennushankkeen alussa määriteltyjen kustannus- ja laatutasotavoitteiden puitteissa optimaalinen energia- ja kustannustehokkuus. Yhteiskunnan kannalta tavoitteena on myös luonnonkulutuksen eli luonnonvarojen kulutuksen ja päästöjen selkeä vähentäminen. [1.]

## 2.2 Toteutusperiaate

Matalaenergiarakennusten arkkitehti-, talotekniikka- ja rakennesuunnittelun keskeisenä periaatteena on yksinkertaisuus ja varmatoimisuus. Passiivisten energiatehokkuustekijöiden, kuten aurinkolämmön ja rakennuksen sisäisen lämmöntuoton hyödyntäminen lämmityskaudella ja sisätilojen viilentäminen kesäkaudella aurinkosuojilla ja ilmanvaihdon kautta yöilmalla ovat tärkeitä tekijöitä. Energiatehokkuuteen liittyvät myös oleellisesti julkisivu- ja tilasuunnittelua koskevat ratkaisut. [1.]

Matalaenergiarakentaminen edellyttää toimivaa ja laadukasta suunnittelu- ja toteutusprosessia sekä tehokasta laadunvarmistusta. Erityisesti vaaditaan em. teknisten avaintekijöiden tekijöiden osalta aiempaa parempaa huolellisuutta ja tarkkuutta kaikissa elinkaaren vaiheissa sekä ratkaisujen toimivuuden varmistamista mm. mittausmenetelmillä. Näin voidaan myös poistaa samalla tehokkaasti nykyisten rakennusten tyypilliset sisäilman laadun, rakennusfysikaalisen toimivuuden ja homeenmuodostuksen ongelmat. Edellytyksenä tähän on myös rakenteiden ja materiaalien valmistuksen, kuljetuksen ja työmaakäsittelyn aikainen tarkka kosteudenhallinta. [1.]

Matalaenergiarakennuksen toteutuksen pääosat sekä kokonaisuuden optimoinnissa huomioitavia ominaisuuksia ja näkökohtia on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Matalaenergiarakennuksen toteutuksen pääosat ja kokonaisuuden optimointi [1].

### 2.3 Lämpöhäviöt

Kun suunnitellaan matalaenergiarakennusta, tulisi rakennuksen laskennallisen lämpöhäviön olla enintään 85 % rakennukselle määritetystä vertailulämpöhäviöstä. Esimerkiksi ulkoseinälle on annettu RakMK C3:ssa vaipan lämpöhäviön vertailuarvo  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja matalaenergiatalon vastaava arvo 85 % olisi  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . [2.]

Taulukkoon 1 on koottu rakenteiden lämpöhäviöt Normitalolle 2010 ja rakennettavalle kohdetalolle asetetut tavoitearvot.

Taulukko 1. Rakenteiden U-arvot.

<b>Rakenne</b>	<b>Normitalo RakMK C3-määräys, 2010 U-arvo <math>\text{W}/(\text{m}^2\text{K})</math></b>	<b>Matalaenergiatalo tavoitearvot 85 %</b>
<b>Ulkoseinä</b>	0,17	0,14
<b>Yläpohja</b>	0,09	0,08
<b>Alapohja</b>		
maanvastainen	0,16	0,14
<b>Ikkunat</b>	1	0,85
<b>Ovet</b>	1	0,85

### 2.4 Määräykset ja ohjeet

Yksityiskohtaiset energiatahokkuuden määräykset ja ohjeet sekä niihin liittyvät määrittelyt ja laskentaohjeet on esitetty seuraavissa Suomen Rakentamismääräyskokoelman (RakMK) osissa ja niihin liittyvissä ohjeissa. Työn tekemisessä on käytetty vuonna 2011 voimassa olevia määräyksiä ja ohjeita.

- RakMK:n osat
  - C3 Rakennuksen lämmöneristys. Määräykset 2010
  - C4 Lämmöneristys. Ohjeet 2003
  - D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2010

- D3 Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet 2010
- D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta. Ohjeet 2007
- Energiatodistusopas 2007. Rakennuksen energiatodistus ja energiatehokkuusluvun määrittäminen. Uusittu versio 12.1.2009. Ympäristöministeriö, 2009. [1.]

Rakennuksen energian kulutus lasketaan:

- tarkoituksenmukaisella dynaamisella tai kuukausitason laskentatyökalulla
- Ympäristöministeriön Energiatodistusoppaan 2007/2009 määritelmiä ja laskentasääntöjä käyttämällä. [1.]

Rakennuksen vaipan lämmönläpäisykerroimen ym. teknisten arvojen laskennassa noudatetaan seuraavia julkaisuja:

- ensisijaisesti voimassa olevia standardeja, mm.
  - EN ISO 6946 Rakennusosat. Lämmönvastus ja läpäisykerroin. Laskentamenetelmä
  - EN ISO 10456 Rakennusaineet ja -tuotteet. Lämpö- ja kosteustekniset ominaisuudet. Taulukoidut suunnitteluarvot ja menetelmät ilmoitetun lämpöteknisen arvon ja lämpöteknisen suunnitteluarvon määrittämiseksi
- C4 Lämmöneristysohjeet Ohjeet 2003
- RIL 225-2004 Rakennusosien lämmönläpäisykerroimen laskenta soveltuvin osin
- muita luotettavan alan julkaisuja ja tietokoneohjelmia. [1.]

Energiatehokkuuden yleinen sertifiointimenettely on esitetty standardissa EN15217 ”Rakennusten energiatehokkuus. Menetelmät rakennusten energiatehokkuuden ilmoittamiseen ja energialuokitteluun (sertifiointiin)”. [1.]

### 3 EKO- JA ENERGIATEHOKKAAN RAKENNUKSEN SUUNNITTELU

#### 3.1 Lähtötiedot

Ekotehokkaassa rakentamisessa hankkeelle asetetut toiminnalliset vaatimukset pyritään täyttämään mahdollisimman vähän ympäristöä kuormittavalla maan ja resurssien käytöllä rakennuksen koko elinkaaren aikana. Ympäristöä säästävä rakentaminen tarkoittaa elinkaariajattelun toteuttamista rakennushankkeiden vaatimusten asettamisessa, suunnittelussa, toteutuksessa ja kiinteistöpidossa. Ekologisesti kestävässä rakennussuunnittelussa hankkeelle asetetut toiminnalliset vaatimukset toteutetaan mahdollisimman vähäisellä resurssien käytöllä ja ympäristökuormituksella, so. mahdollisimman vähän luonnon resursseja ja haitallisia päästöjä aiheuttamalla, kun otetaan huomioon koko rakennuksen elinkaari. Rakennussuunnittelun tasolla keskeisimmät ratkaisut rakennuksen materiaali- ja energiavirroista tehdään tilamitoituksessa rakenne- sekä rakennuksen käyttöiän ja taloteknisessä suunnittelussa. [3.]

Energiatehokkuustekijöiden hyödyntäminen perustuu teknisesti ensi sijassa rakennuksen vaipan tiiveyteen, ulkovaipan lämmöneristävyyteen, matalaenergiainkunoihin ja oviin, kylmäsiltojen poistamiseen, lämmityksen toteuttamiseen sekä tarkasti ohjattuun ja tehokkaalla lämmön talteenotolla varustettuun koneelliseen tulo- ja poistoilmajärjestelmään [1 ja 5].

Rakennushankkeen energiatehokkuuden tekniset päävalinnat ovat energiatehokkuusluokan ja energiatarveluokan valinta, toiminnallisten ja teknisten järjestelmien valinta (ARK, RAK, LVIS), taloteknisten komponenttien valinta ja energiahankinnan ja energiamuotojen valinta [3].

Energiatehokkuusvaatimukset on määritelty Ympäristöministeriön laatimissa määräyksissä ja ohjeissa, Suomen Rakentamiskokoelmassa D3, joka on tullut voimaan 1.1.2010. Rakennus ja siihen kiinteästi liittyvät laitteet suunnitellaan ja rakennetaan siten, että tarpeetonta energiankäyttöä ja energiahäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. [2.]

### 3.2 Tontinkäyttösuunnitelma

Talon energiataloudellisessa sijoittamisessa on kolme olennaista seikkaa: aurinkoisuus, tuulisuus ja korkeusasema. Rakennus kannattaa sijoittaa siten, että mahdollisimman suuri osa julkisivuista suunnataan etelään tai lounaaseen. Näin varmistetaan sisätilojen valoisuus ja rakennuksen suuri ilmaisenergian saanti. [4.]

Rakennus olisi pyrittävä sijoittamaan tontille mahdollisimman aurinkoiseen paikkaan. Se olisi suojattava kylmiltä tuulilta maaston muotoja, puustoa, rakennuksia tai puuistutuksia hyväksi käyttäen. Tuulensuojat sijoitetaan usein pohjois- ja itäisivustoille, joista tuulet yleensä puhaltavat Suomen oloissa kylmimpänä vuodenaikana. Helpoimmat keinot tuulensuojaukseen ovat tuuliesteet, kuten aidat, muurit, katokset ja rakennukset. Puut ovat myös oleellinen osa tuulisuojauksessa. Pohjois- ja itäpuolelle kannattaa sijoittaa havupuita ja eteläsivulle lehtipuita. Auringon puolella kasvavat lehtipuut suojaavat rakennusta kesähelteiltä. Edullisimmassa tilanteessa rakennus sijaitsee tyynellä ja aurinkoisella etelärinteellä. Epäedullisimmassa tilanteessa rakennus sijaitsee tuulisessa, korkeiden mäkien, metsien tai rakennusten varjostamassa paikassa, jossa alaviin paikkoihin muodostuu herkästi ns. kylmiä järviä. Tällöin rakennusten energiankulutus on yli 40 % suurempi edullisempaan tilanteeseen verrattuna. [4.]

Kun rakennuspaikan aurinkoisuutta tarkastellaan viihtyisyyden kannalta, pätevät siinä suunnilleen samat ohjeet kuin energian hyödyntämisessäkin. Tällöin tarkastelun kohteena itse rakennuksen sijasta ovat kuitenkin pihat, leikkipaikat ja rakennuksen edustat. Saattaa olla myös aiheellista korostaa esimerkiksi länsisuuntaa etelän sijasta, jos suunniteltua ulkotilaa käytetään lähinnä iltapäivällä. Toisaalta on otettava huomioon, että idästä eniten aurinkoa saava piha-alue lämpenee ja kuivuu iltapäivään mennessä paremmin kuin pääasiassa lännestä aurinkoa saava piha-alue. [4.]

Rakennuksen sijoittaminen tontille vaikuttaa välittömästi rakentamisen energiankulutukseen ja kustannuksiin. Näitä ovat muun muassa mahdolliset louhinta- ja maansiirtotarpeet. Näiden lisäksi sijoittelulla lyödään lukkoon jatkorakentamisen reunaehdoja ja siten vaikutetaan tuleviin ratkaisuihin, mm. putkireitityksiin. Samalla saatetaan aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia. [3.]

Ekologisuuteen pyrittäessä tontin käyttösuunnitelmassa tulisi noudattaa seuraavia ohjeita:

- Otetaan huomioon saastelähteiden sijainti (tiet, pysäköinti) ja ulkoilman ottopaikat.
- Pyritään minimoimaan ulkomelun haitat.
- Pyritään välttämään tarpeetonta louhintaa (radonriski).
- Vakioidaan ja yksinkertaistetaan perustamistavat, joko maanvarainen tai tuuletettu alapohja.
- Tutkitaan, voidaanko kesäaikaisen yllämmön vähentämiseksi jättää varjostavaa puustoa tontille.
- Ulkopuoliset energia- ja vesiliitynnät tehdään lyhyiksi ja yksinkertaisiksi.
- Suunnitellaan pintavesien johtaminen tontilla, mahdollisuudet vesien hyödyntämiseen ja salaojitus.
- Rakennetaan mahdollisuuksien mukaan energiataloudellisia kellaritiloja.
- Tehdään riittävän suuret kylmät tai puolilämpimät varastotilat (esim. polkupyörät tms., jotka eivät tarvitse lämmintä tilaa talvella.
- Rakennuksen suuntauksella ja ikkunoiden sijoituksella voidaan vaikuttaa keinovalon tarpeeseen ja lämmitysenergian kulutukseen. [3.]

### 3.3 Rakennustyyppi

Rakennustyypillä ja rakennuksen ulkomuodolla voidaan vaikuttaa rakennuksen ulkovaipan pinta-ala ja kerrosalan suhteeseen. Toisaalta rakennustyypistä riippuu, kuinka hajautettua tai keskitettyä tekniikka on ja minkälaisiksi talotekniikan reititykset tulevat. [3.]

Johtumishäviöt ja hallitsematon ilmanvaihto ovat verrannollisia vaipan alaan. Teoriassa vaippasuhde on pienin pallon muotoisella kappaleella. Tilavuuden pysyessä vakiona muuttaa kerrosluvun lisäys rakennuksen vaippasuhdetta.



Pientalossa kerrosluvun vaikutus on huomattava. Paritalossa (240 m<sup>2</sup>) lämmitysenergian kulutus putoaa noin 15 %, kun talo rakennetaan 1-kerroksisen sijasta 2-kerroksiseksi. [4.]

Erillistalossa ei rakennuksen kerrosluvun valinnalla ole suurta energiataloudellista merkitystä. Ratkaisun tulee perustua tontin ja tilaohjelman ominaisuuksiin. Pieniä, alle 80-neliöisiä asuntoja ei kuitenkaan pitäisi rakentaa kaksikerroksiseksi. [4.]

### 3.4 Luonnos- ja arkkitehtisuunnittelu

Jo luonnosvaiheessa tehdään ratkaisuja, jotka vaikuttavat koko rakennuksen elinkaaren. Rakennuksen tekniset ratkaisut pitäisi valita jo ennen arkkitehtisuunnittelua, jotta tila- ja reititystarpeet voidaan ottaa rakennusta suunniteltaessa huomioon. [3.]

Suurimmaksi osaksi rakennuksen ekotehokkuuteen vaikutetaan yksinomaan luonnos- ja arkkitehtisuunnitteluvaiheessa. Tärkeintä on vähentää rakennuksen ulkonurkkien ja tarpeettomien lämmitettävien tilojen määrää, minimoida rakennuksen tilavuus sekä huomioida ikkunoiden ilmansuunnat.

Seuraavassa luetellaan lyhyesti asioita, joilla pystytään luonnos- ja arkkitehtisuunnittelussa keskeisimmin vaikuttamaan rakennuksen energiankulutukseen rakennuksen käytön aikana:

- Luodaan yksinkertainen ulkomuoto.
- Tilojen ja tilaryhmien sijoittelussa huomioidaan eri ilmansuunnat.
- Suunnittelussa otetaan huomioon tilojen käyttötapa ja sisäiset lämpökuormat.
- Suunnittelussa pyritään välttämään tarpeettoman suurta vaippapinta-alaa.
- Ikkunat suunnataan ja niiden koko ja rakenne valitaan huomioiden auringon säteilyn ja luonnonvalon hyödyntäminen.
- Suunnittelussa huomioidaan liiallisen auringon tuottaman lämpökuorman estäminen ikkunoiden kautta ensisijaisesti rakenteellisin keinoin: lipat, katokset, parvekkeet, pitkät räystäät, aurinkosuojalasit, markiisit, puiden varjostus jne.

- Sijoitetaan varastot ja puolilämpimät tilat rakennuksen ulkopuolelle kiinni rakennuksen seiniin.
- Minimoidaan vesikaton ja seinien liitokset sekä jiirien ja lävistysten määrä.
- Keskitetään LVIS-järjestelmät yhteen keskeiseen paikkaan mahdollisimman lyhyin vedoin.
- Varataan talotekniikalle riittävän suuret tilat.
- Hyödynnetään lasikuisteja energiataloudellisesti.
- Minimoidaan lämmitettävä tilavuus. [ 3. ja 2.]

Asuinpientalossa turhaa lämmitettävää tilavuutta lisäävät:

- pitkät käytävät
- suuret portaikot
- takkahuoneet
- osa varastoista
- ylikorkeat tilat. [4.]

Asumisen kannalta tarpeettomat tilat lisäävät vaippapintaa ja lämmitettävää tilavuutta. Ilmanvaihdon tarpeeseen niillä on vähäisempi merkitys, koska pieni tehokkaasti käytetty tila tarvitsee lähes saman ilmamäärän kuin laajempi tila, jos käyttäjien määrä on sama. Turhan tilan välttäminen vähentää myös rakennuskustannuksia. [4.]

Suuntaamalla oleskeluun tarkoitettut tilat pääasiassa etelään voidaan energiankulutusta pienentää ns. passiivisin aurinkojärjestelmin. Pääperiaatteena on varsinaisten oleskelutilojen sijoitus lähimmäksi lämmönlähteitä ja eteläsuuntaan. Pohjoiseen ja ulkovyöhykkeelle suunnataan makuutilat ja tilapäiset oleskelutilat. Keittiössä tarvitaan päivänvaloa enemmän kuin muissa huoneissa. Keittiö voidaan sijoittaa esimerkiksi kaakkoiskulmaan, jonka ympäri voidaan tehdä esimerkiksi kulmaikkuna. Myös kylpyhuoneiden tulisi saada päivänvaloa.

Ikkunamäärän tulisi olla kaikissa huoneissa 15–20 % kerrosalasta. Ikkunat on hyvä suunnata siten, että sisällä huoneista on näkymiä kadulle, mahdolliselle vesialueelle sekä puutarhaan. Taulukossa 2 näkyy suositukset eri tilojen suuntaukseen ilmansuuntiin nähden. [4.]

Taulukko 2. Suosituksia asuinhuoneiden ilmansuuntaukseen [4].

	<b>Itä</b>	<b>Etelä</b>	<b>Länsi</b>	<b>Pohjoinen</b>
Makuuhuoneet	<b>X</b>			<b>X</b>
Olohuoneet		<b>X</b>	<b>X</b>	
Keittiö, keittokomero	<b>X</b>		<b>(X)</b>	<b>(X)</b>
Ruokailutila	<b>X</b>	<b>(X)</b>		
Lastenhuone	<b>X</b>	<b>X</b>		
Työhuone	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>
Kylpyhuone	<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>
Sauna			<b>X</b>	<b>(X)</b>
Wc				<b>X</b>
Parveke		<b>X</b>	<b>X</b>	

Viranomaismääräykset antavat perusteet ikkunoiden mitoitukselle ja suuntaukselle. Rakennusasetuksen mukaan valoaukon vähimmäispinta-ala on oltava 10 % huoneen lattia-alasta ja energiamääräysten mukaan ikkunan karmimitat saavat olla enintään 15 % kerrosalasta, ellei ikkunan tai muiden vaipan rakenteiden lämmöneristystä vastaavasti paranneta. [6. ja 7.]

Ikkunat suunnataan ja niiden koko ja rakenne valitaan siten, että auringon säteilylämpöä ja luonnonvaloa voidaan hyödyntää tehokkaasti [2]. Ikkunoiden suuntauksella on merkittävä vaikutus rakennuksen energiankulutukseen, ilmaisenergian hyödyntämiseksi pääosa ikkunoista tulisi sijoittaa etelään, kaakkoon tai länteen.

### 3.5 Talotekniikka

Tekniikoiden käytön tulee olla asukkaalle yksinkertaista. Tarvittava ohjaus- ja säätöautomaatiikka keskitetään integroituihin laitemoduuleihin, lähinnä ilmanvaihto- ja lämmön talteenottomoduuliin. Rakennus jäsenetään selkeästi passiiviseen ja aktiiviseen osaan, joita ovat tiivis ja hyvin lämpöä eristävä vaipparakenne sekä laitetekninen lämpötilan ja ilmanvaihdon hoitava, tarkasti säätävä lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmä. [5.]

Matalaenergiarakennusten arkkitehti-, talotekniikka- ja rakennesuunnittelun keskeisenä periaatteena on pyrkiä yksinkertaisiin ja varmatoimisiin teknisiin ratkaisuihin. Rakennuksen passiivinen osa (vaipparakenne) on pitkäikäinen ja pysyvä, ja aktiivinen osa (talotekniikka) sisältää hienoa säätötekniikkaa, mutta on helppo käyttää, huoltaa ja uusida. [5.]

Seuraavassa luetellaan tilaratkaisuihin liittyviä asioita, joilla voidaan vaikuttaa talotekniikan toteutukseen ja toimivuuteen:

- Asetetaan sisäilman tavoitearvot.
  - Valitaan tavoitteiden perusteella lämmitysenergiamuoto, lämmönjakotavat ja ilmanvaihtojärjestelmä.
  - Valitaan sähköjärjestelmä sekä ohjaus- ja säätötavat.
  - Lasketaan energiankulutuksen tavoitearvot lähtötiedoiksi arkkitehtisuunnitteluun.
  - Määritellään talotekniikan vaatimat sijoitus- ja asennustilat lähtötiedoiksi arkkitehtisuunnitteluun.
  - Tehdään talosta huoltokirja jo osana suunnittelua ja rakentamista.
  - LVIS-tekniikkamoduulin hyödyntäminen:
    - laitehuoneelle keskeinen ja yksi paikka
    - tilantarpeen määrittäminen
    - laitteiden suunnittelu ja sijoittelu tekniseen tilaan
    - lyhyet reititykset tekniikalle
    - keskitetään vesipisteet ja viemäröinnit lähelle toisiaan
    - huomioidaan teknisten järjestelmien huolto ja korjattavuus ja vaihdettavuus.
- [8.]

Energiamuoto/-muodot ja lämmitysjärjestelmä valitaan tapauskohtaisesti huomioiden mahdollisia omia tai paikallisia energialähteitä (mm. maalämpö, aurinko, tuuli) ja päästöjen minimoitavoitteet [1].

Tilojen lämmitys- ja jäähdytysenergian ohella merkittävin rakennusten energiankulutuksen pienentämiskohde on käyttöveden lämmitys. Sen energiatehokkuutta parannetaan vettä säästävillä vesikalusteilla ja kerrostaloasuntojen vesimäärän asuntokohtaisella mittauksella ja laskutuksella ja lämminvesijärjestelmän teknisillä ratkaisuilla. [1.]

Kotitalouskoneiden ja kotielektroniikan sähkönkulutusta alennetaan energiatehokkuutta painottavilla laitevalinnoilla ja sähköä säästävillä valaistuksen ja laitteiden käyttötavoilla. Valaistussähkön kulutusta voidaan pienentää myös käyttämällä energiaa säästäviä lamppeja LED- ja loistelamppuja. [1.]

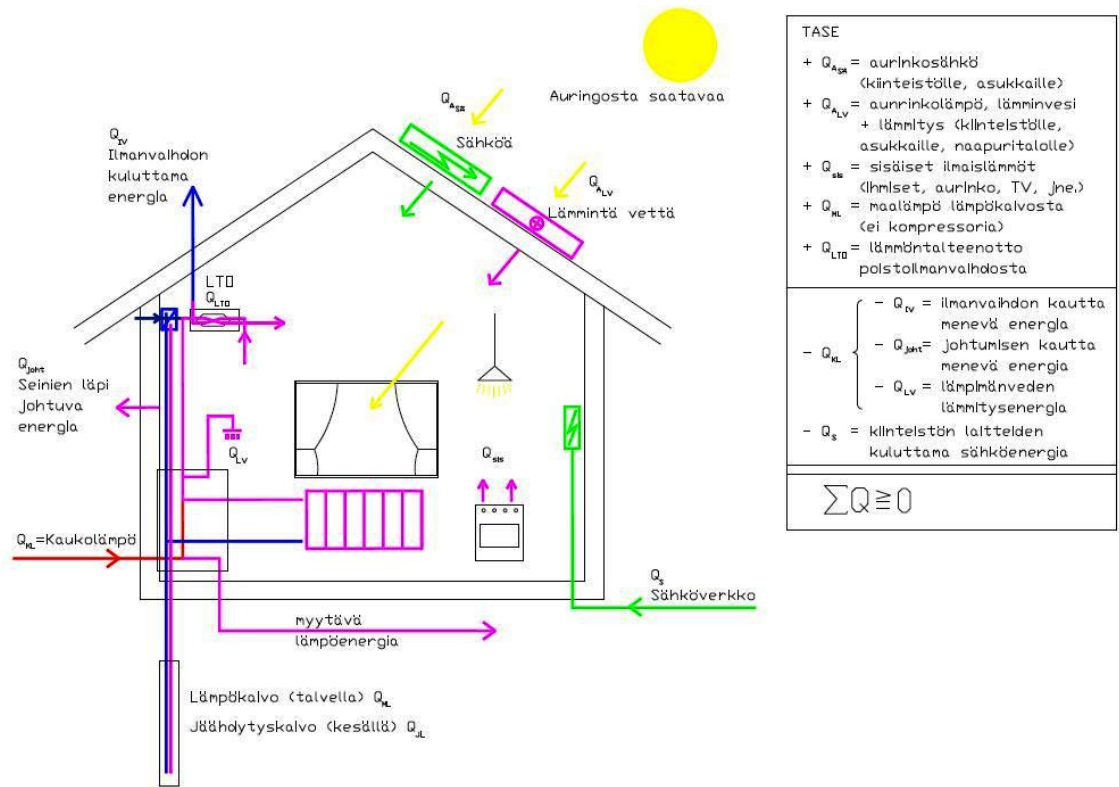
Nykyisessä rakennuskannassa asukkaan käyttötottumukset vaikuttavat varsin voimakkaasti tilojen lämmityksen nettoenergian sekä lämpimän veden tarpeeseen. Asukkaan tarvetta vaikuttaa sisäilman laatuun ja lämpötilaan voidaan matalaenergiarakennuksissa oleellisesti pienentää esim. ilmanvaihto- ja lämmitysjärjestelmän toiminnallisilla muutoksilla, säätöautomaatiikalla ja ammattitaitoisella huollolla. Todellinen energiankulutus on kuitenkin aina riippuvainen käyttäjien henkilökohtaisista tottumuksista. Onnistunut matalaenergiarakentaminen edellyttää näin ollen käyttäjän aktiivista myötävaikuttamista asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi. [1.]

Taloteknisillä töillä on hyvin suuri merkitys rakentamisessa sekä energiankulutuksen että kustannusvaikutusten osalta. Niiden osuus hankkeen kokonaiskustannuksista vaihtelee kohteittain, mutta ne voivat olla yli 50 %. Huolellinen suunnittelu, toteutus ja valvonta ovat niiden rakentamisessa ensiarvoisen tärkeitä. [8.]

### 3.6 Tulevaisuuden muutokset energiatehokkuudessa

Työn tekemisen aikana uusiutuivat rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskenta ja energiatehokkuus sekä -kulutuslaskelmat. Ne perustuvat vuonna 2012 uusittuihin lämpöhäviöiden tasauslaskenta ohjeisiin ja Suomen rakennusmääräyskokoelman D3 Rakennusten energiatehokkuus, määräykset ja ohjeet 2012 ja D5 Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehon tarpeen laskenta ja ohjeet, luonnos 14.3.2012. E-luvun laskennassa huomioidaan rakennuksen käyttämän energian tuotantomuoto energiamuotojen kertoimilla. U-arvojen laskentatavot pysyivät vuoden 2010 tasossa. 1.6.2013 lähtien energiatodistus luodaan ohjeen Energiatodistus 2013 mukaisesti.

EU tavoittelee vuoteen 2015–2020 mennessä, ettei uudistalolla olisi lämmitys tai viilennys-tarvetta, vaan vuositasolla ostoenergiatarve olisi  $0 \text{ kWh/m}^2$  [9]. Kuvassa 3 näkyy periaate-kuva 0-energiatalon toiminnasta, eli talon lämpötase on nolla: Talo kuluttaa saman verran energiaa kuin se tuottaa energiaa ja apuna käytetään erilaisia energian tuottamiskeinoja [10].



Kuva 3. Nollaenergiatalon toimintaperiaate [10].

Talojen energiantehokkuutta koskevat tulevaisuuden tavoitteet ovat korkealla tasolla. Muutokset näkyvät erilaisina tasoina kuluttaa ja tuottaa energiaa:

- 2010 lähestytään nykyistä matalaenergiatalon tasoa
- 2012 lähestytään passiivienergiatalon tasoa
- 2020 mennessä energian tuotto rakennuksissa. [9.]

## 4 RAKENNETEKNINEN SUUNNITTELU

Rakenneteknisillä keinoilla voidaan pienentää rakennuksen energiankulutusta. Ilmanpitävyys vaikuttaa viihtyisyyteen, lämmitysenergiankulutukseen sekä ilmanvaihdon ja rakennuksen painesuhteiden hallintaan ja ilmankosteuden kulkeutumiseen rakenteisiin. [3.]

Rakenteiden suunnittelussa on tärkeää energiatehokkuuden, sisäilmaston ja talotekniikan kannalta vähentää kylmäsiltoja, keskittää talotekniikan lävistyksiset ja reititykset, huomioida rakenteiden tuuletus/tuulettaminen (mm. radon), tehdä höyryn-, ilman- ja tuulensulun liitokset tiiviiksi, tarkistaa routasuojauksen mitoitus ja suunnitella auringonsuojaus. [3.]

Tässä insinööriyössä rakennetekninen suunnittelu keskittyy erityisesti vaipparakenteiden lämpö- ja kosteustekniseen suunnitteluun, rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatukseen sekä kantavien puurakenteiden lujuuslaskentaan.

### 4.1 Lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu

Rakennuksen tekninen toimivuus ja laatu eli rakennuksen ja sen osien toimivuuden varmistaminen on matalaenergiarakentamiseen siirryttäessä äärimmäisen tärkeää, minkä takia kohdistetaan suuri huomio sisäilman laatuun ja vaipparakenteiden fysikaaliseen toimivuuteen kuten lämpö- ja kosteustekniseen toimivuuteen [5.]

Vaipparakenteen keskeiset vaatimukset lämpö- ja kosteusteknisessä suunnittelussa:

- lämmöneristävyys
- ilma- ja höyrytiiviys
- tuulensuojaus
- kylmäsiltojen välttäminen
- ilmanvaihtokanavien asennus ilman- ja höyrynsulun sisäpuolelle
- ulkoseinän sisimmän eristekerroksen asennus ilman- ja höyrynsulun sisäpuolelle

- ulkopuolisten vesivuotojen ehkäisy
- rakennekosteuden poistumismahdollisuudet
- ylä- ja alapohjarakenteiden lisävaatimuksena tehokas tuuletus. [5.]

Rakenne- ja talotekniikan suunnitelmissa ja piirustuksissa esitetään selvästi rakenteiden yksityiskohdat sekä keskeiset laadunvarmistustoimet. Rakennuksen toteutusvaiheessa vaaditaan erittäin huolellista työn suoritusta ja suunnitelmien noudattamista erityisesti kriittisten teknisten laatutekijöiden osalta. Kriittisiä teknisiä laatutekijöitä lämpö- ja kosteusteknisessä suunnittelussa ovat rakennusvaipan lämmöneristyksen toiminta ja huolellinen suunnittelu ja asennus siten, että vältetään paikalliset lämpövuodot ja kylmäsillat. Rakenteiden ja materiaalien kastuminen tulee myös estää tehtaalla, kuljetuksissa ja työmaalla. [1.]

Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, ettei siitä aiheudu rakennuksen käyttäjille tai naapureille hygienia- tai terveystarve riskiä kosteuden kertymisestä rakennuksen osiin tai sisäpinoille. Rakennuksen näiden ominaisuuksien tulee normaalilla kunnossapidolla säilyä kokonaistaloudellisesti kohtuullisen käyttöajan ajan. [11.]

#### 4.2 Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivatus

Rakentamismääräyskokoelman osassa C2, Kosteus, määräykset ja ohjeet 1998 ja osassa B3, Pohjarakenteet, määräykset ja ohjeet 2004 on annettu keskeiset määräykset rakennuspohjan ja maata vasten olevien rakenteiden kuivatuksesta. Määräysten ja ohjeiden tavoitteena on hyvän rakentamistavan toteutuminen ja sitä kautta kosteusvaurioiden vähentyminen rakentamisessa. [12.]

Rakennuspohjan tehokkaalla kuivatuksella ja kosteuseristyksellä estetään rakennuksen käytölle ja rakenteille aiheutuvat haitat ja vauriot. Rakennuspohjan kuivatus käsittää pohjaveden kapillaarisen nousun katkaisemisen salaojituskerroksien avulla ja rakennuspohjan alueelle kertyvien pohja- ja vajovesien keräämisen ja johtamisen salaojien avulla. [12.]

Rakennuspohja on salaojitettava veden kapillaarivirtauksen katkaisemiseksi ja pohjaveden pinnan pitämiseksi riittäväällä etäisyydellä lattiasta tai ryömintätilan maanpinnasta sekä maahan imeytyvien pintavesien johtamiseksi pois perustusten vierestä ja rakennuksen alta. Rakennuksen salaojajärjestelmään ei saa johtaa pintavesiä tai katoilta valuvia vesiä. [13.]



Rakennuspohjan kuivatuksen lisäksi rakennuksen kosteusvaurioiden torjuntaan liittyy olennaisesti rakennuksen korkeusaseman valinta sekä rakennusta ympäröivien piha-alueiden kuivatuksen toiminta. Rakennuksen korkeusasema ja piha-alueiden tasaus tulee toteuttaa siten, ettei pihalle tulevista rakennuksen kattovesistä ja piha-alueen muista pintavesistä aiheudu haittaa ja vaurioita rakennuksen julkisivulle ja perustusrakenteille. [12.]

Rakennuspaikan radonriskit on otettava huomioon suunnittelussa ja rakentamisessa [14]. Radonpitoiselle maa- ja kallioperälle rakennettaessa on tehtävä alapohjarakenteisiin radon-suojaus, jolla estetään radonkaasujen pääsy huonetilaan [12].

Sade- ja sulamisvesien haitallinen kulkeutuminen rakennuspohjaan on estettävä rakentamisen sekä rakennuksen käytön aikana. [15.]

#### 4.3 Kantavat puurakenteet

Kantavien puurakenteiden suunnittelun ohjeet ovat olleet Ympäristöministeriössä työn alla useita vuosia kun ollaan siirtymässä kantavien rakenteiden suunnittelussa Eurokoodeihin.

Rakentamismääräysten soveltaminen Eurokoodien tultua käyttöön Eurokoodien 18 ensimmäistä kansallista liitettä tuli voimaan 1.11.2007. Tällöin alkoi rinnakkaiskäyttökausi (2007–2013), jonka aikana kantavia rakenteita voidaan talonrakentamisessa suunnitella joko Suomen rakentamismääräyskokoelman määräysten ja ohjeiden tai eurokoodien ja niiden kansallisten liitteiden mukaan. [16.]

Seuraavia puurakenteita koskevia eurokoodeja on voitu käyttää suunnittelussa 1.11.2007 alkaen:

- SFS-EN 1995-1-1: Eurokoodi 5: Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt
- SFS-EN 1995-1-2. Eurokoodi 5. Puurakenteiden suunnittelu. Osa 1-2: Yleistä. Puurakenteiden palomitoitus. [17.]

Suomen Rakennusinsinöörien Liiton RIL ry julkaisema RIL 205-1-2009 kirja ja suunniteluohje sisältävät standardin EN 1995-1-1 Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt. RIL 205-2-2009 sisältää standardin EN 1995-1-2 Puurakenteiden palomitoitus ja niiden Suomen kansalliset liitteet. [17.]

RIL-ohjeet on laadittu Ympäristöministeriön ja Metsäteollisuus ry:n rajoituksella ja ohjauksessa. Päivitykset ja korjaukset kirjaan löytyvät RIL-[www](http://www.ril.fi)-sivulta. Kuvassa 4 ovat uusimmat puurakenteiden suunnittelun kirjat Eurokoodeilla. Kirjojen sisältö on rajattu siten, että ne muodostavat kokonaisuuden käytettäväksi talonrakenteiden suunnitteluun Suomessa tehtäviin kohteisiin.



Kuva 4. Puurakenteiden suunnitteluohjeet Suomessa [17].

Puuinfon [www](http://www.puuinfo.fi)-sivulta löytyvä ilmainen Eurokoodi 5 lyhennetty suunnitteluohje soveltuu myös Suomessa sijaitsevien tavanomaisten puurakennusten kuten pientalojen suunnitteluun. Puuinfon sivulla löytyy myös ohje, jossa on esitetty rakennelaskelmia puurunkoisesta asuinrakennuksesta. Laskelmat on valittu siten, että niillä voitaisiin esitellä mahdollisimman laajasti Eurokoodi 5:n soveltamista käytännön suunnittelutyössä. [18.]

Uuden Eurokoodin ja vanhan Suomen rakentamismääräyskokoelman B-osan on suunniteltu olevan rinnakkaiskäytössä 1.7.2013 saakka, jolloin siirrytään käyttämään vain eurokoodeja. Tuorein tieto eurokoodisarjasta löytyy osoitteesta [www.eurocodes.fi](http://www.eurocodes.fi). Eurokoodien help desk opastaa eurokoodien käyttöönottoa Suomessa. Sivuille on koottu ajantasainen tieto koodien valmistumistilanteesta sekä niihin liittyvistä kansallisista liitteistä. Sivuille kootaan myös tietoa eri koodeihin liittyvistä oppikirjoista, käsikirjoista ja ohjelmista. Niiden kautta on mahdollista kysyä koodeihin liittyvistä tulkinnoista sekä mahdollisesti niissä havaituista virheistä. Sivuja päivitetään jatkuvasti. [19.]

## 5 ILMATIIVIYS JA LÄMPÖKAMERAKUVAUS

### 5.1 Ilmatiivius

Ilmatiivius on yksi matalaenergiatalon tärkeimmistä ominaisuuksista. Matalaenergiarakennuksen lämpöviihtyvyyden ja energiatehokkuuden kannalta riittävä  $q_{50}$  -luku on 0,8–1,0  $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . Passiivitalossa suositeltava  $q_{50}$  luku on enintään 0,6  $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ . [1.]  $q_{50}$  -luvun vaikutus energiakulutukseen on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Ilmanvuotoluvun vaikutus energiankulutukseen [20].

<b><math>q_{50}</math> -luvun vaikutus tilojen lämmitysenergian tarpeeseen.</b>		
<b><math>q_{50}</math> -luku</b>	<b>Sanallinen arvio</b>	<b>Energian säästö</b>
<b>&lt; 0,6</b>	<b>passiivitalon vaatimus</b>	<b>&gt;25 %</b>
<b>&lt; 1,0</b>	<b>kiitettävä</b>	<b>&gt;21 %</b>
<b>1-2</b>	<b>erittäin hyvä</b>	<b>14...21 %</b>
<b>2-3</b>	<b>hyvä</b>	<b>7...14 %</b>
<b>3-4</b>	<b>tydyttävä</b>	<b>0...7 %</b>
<b>4</b>	<b>rak. määr. vertailutaso</b>	<b>0 %</b>
<b>&gt;4</b>	<b>huono</b>	<b>kulutus kasvaa</b>

Parempi ilmanpitävyys ei aiheuta merkittävää kustannuslisää, vaatii vain asennetta ja tarkkaa työtä [20].

Ilmantiiveyden varmistamiseksi ilman- ja höyrynsulun tulee muodostaa aukoton pinta ulkovaippaan. Puuseinärakenteella ilmansulku asennetaan edullisimmin sisälevytystä vasten koolauksella asennetun 50–70 mm:n paksuisen lämmöneristekerroksen ulkopuolelle, jolloin vältetään sähköjohtojen, -rasioiden ja ruuvausten lävistyksiä tiivistyssulun läpi. [1.]

Höyrynsulun jatkokset limitetään riittävästi (vähintään 150 mm) ja teipataan sekä puristetaan vastakkain kahden puun väliin tai käytetään tarkoitukseen sopivia jatkoslistoja tai saumojen liimausta/kuumailmahitsausta. [11.]

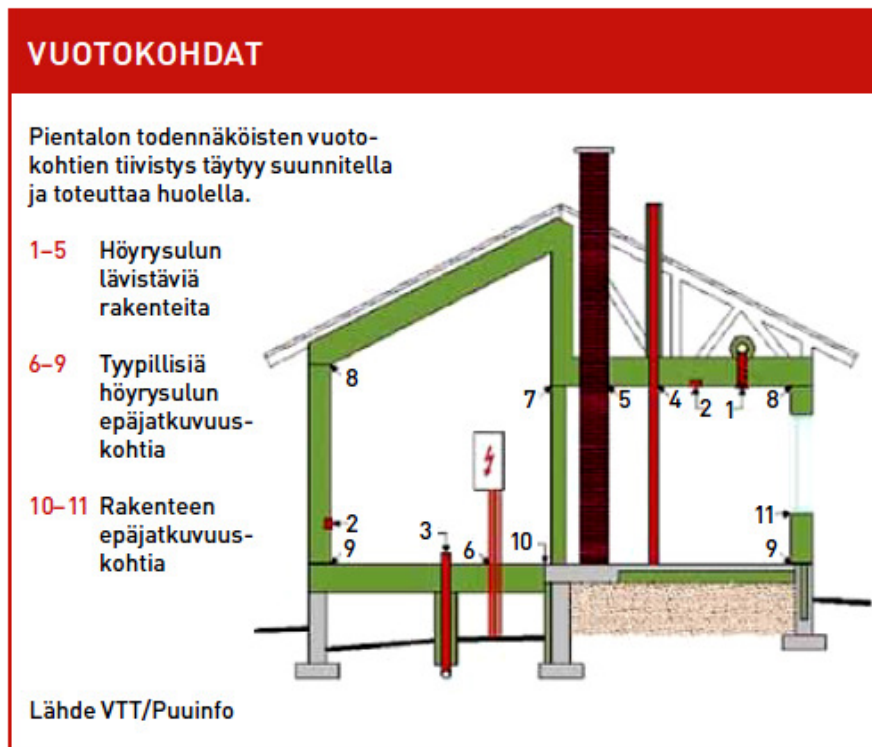
Ilmanvaihtokanavat asennetaan ilman- ja höyrönsulun sisäpuolelle, tarvittavilta osin koteloituna. Vain tulo- ja poistoilmakanavat viedään hyvin tiivistettynä ilman ja höyrönsulun läpi. Sähköt asennetaan erityisiin asennuskanaviin ilman- ja höyrönsulun sisäpuolelle puhkaisematta sulkukalvoa. Ikkuna- ja ovisaumat lämpöeristetään ja tiivistetään erityisen huolellisesti. [1.]

Hormiston juuri tiivistetään huolellisesti, koska juuren pinta-ala muodostaa suuren pinnan ja mahdollisuuden suureen lämpövuotoon.

Varmistetaan tuotetiedoista, että ilmanläpäisevyys on korkeintaan  $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s Pa}$ . Varmistetaan, että käytettävät tiivistysmateriaalit ovat pitkäikäisiä eli kestävät rakennuksen suunnitteluiän (tavallisesti 50 v.). [1.]

## 5.2 Pientalon ilmanvuotokohdat

Kuvassa 5 esitetään pientalon todennäköisimmät ilman- ja höyrönsulun vuotokohdat.



Kuva 5. Pientalon todennäköiset vuotokohdat [21].

Hyvä rakennusvaipan tiiveys saavutetaan siten, että höyryn- ja ilmansulun saumat asennetaan riittävällä limityksellä tiiviisti, minimoidaan lävistykset ja varmistetaan läpivientien tiivistys. Lisäksi tulee varmistaa ulkoseinän ja ylä- ja alapohjan välisten liitosten tiiveys sekä ikkunoiden ja ovien tiivis asentaminen seiniin.

### 5.3 Lämpökamerakuvaus ja ilmatäiviysmittaus

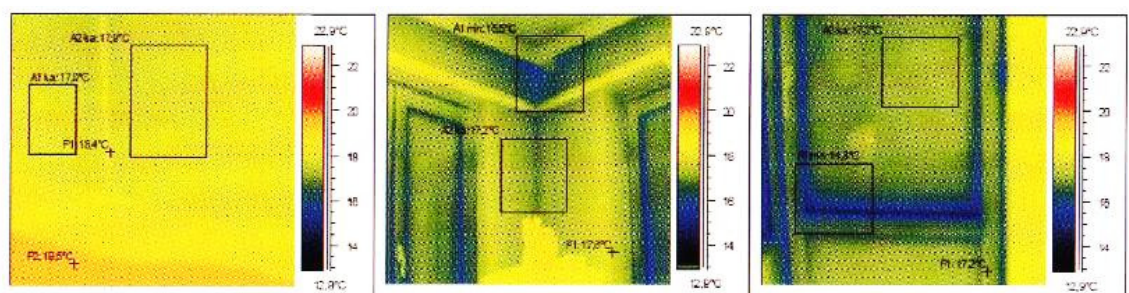
Lämpökamerakuvista havaitaan tyypillisiä rakenteiden vuotokohtia, joita ovat liitokset, erityisesti ikkunan ja elementtien väliset liitokset. Vaipan ilmanpitävyys varmistetaan mittaamalla kohteen  $q_{50}$  -luku ilmatäiviysmittauksella. Testiolosuhteissa ulko- ja sisäilman paine-ero on 50 Pa. [1. ja 20.]

$q_{50}$  -luku [ $\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ ] määritetään rakennuksen vaipan pinta-alaa kohden ja saadaan laskettua  $n_{50}$  luvun avulla seuraavasti:

$$q_{50} = n_{50} * \frac{V}{A_E}$$

- $n_{50}$ = Ilmanvuotoluku 50 Pascalin paine-erolla [1/h]
- $V$ = rakennuksen tilavuus [ $\text{m}^3$ ]
- $A_E$ = Rakennuksen vaipan pinta-ala sisämittojen mukaan [ $\text{m}^2$ ]

Täiviysmittaus tehdään jo puolivalmiille rakenteelle sen jälkeen, kun täiviiden määräävät asennukset ja saumat on tehty. Tällöin täiviyttä voidaan tarvittaessa vielä helposti parantaa. Mittausajankohdaksi kannattaa valita mahdollisimman kylmä ajanjakso, jolloin mahdolliset kylmävuodot saadaan samalla kuvatuiksi lämpökameralla. Mikäli ilmanpitävyyskokeen tuloksessa on puutteita, vuotokohdat etsitään ja tutkitaan lämpökamerakuvauksella, jonka jälkeen vuotokohdat korjataan. Lämpökamerakuvausta käytetään toisena laadunvalvonnan mittauksena erityisesti vuotokohtien ja kylmäsiltojen paljastamista varten. Kuvassa 6 on täiviiden ja hyvin eristettyjen liitosten lämpökamerakuvia. [1.]



Kuva 6. Täiviiden ja hyvin eristettyjen liitosten lämpökamerakuvat [1].

## 6 KOHDE TALON SUUNNITTELU ENERGIATEHOKKUUDEN KANNALTA

Energiatehokkuusluokaksi on valittu matalaenergiatalo ja energiatarveluokaksi M-50. Talon rakentamisessa on käytetty paikallisia toimijoita tai heidän rakennusmateriaalejaan, jolloin kuljetusmatkat ovat aiheuttaneet mahdollisimman vähän energiankulutusta.

Rakenteiden ominaisuudet on suunniteltu hyödyntämällä energiatehokkuustekijöitä kuten hyvä rakennuksen ulkovaipan lämmöneristävyys, vaipan tiiveys ja kylmäsiltojen poistaminen. Lämmitettävien rakennuskuutioiden määrää on myös pyritty minimoimaan huomioimalla tilojen koko sekä huonekorkeus.

### 6.1 Tontin käyttösuunnitelma

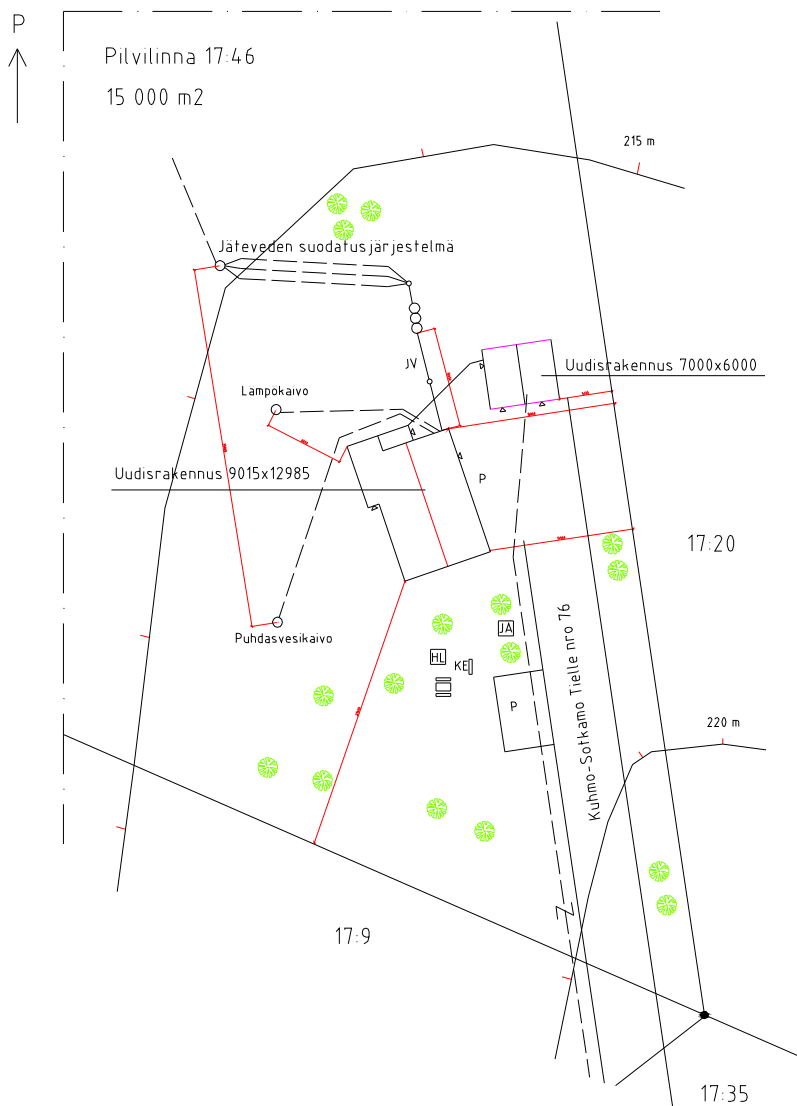
Rakennuksen suunnitteleminen aloitettiin tutustumalla tontin olosuhteisiin ja ominaisuuksiin sekä rakennuksen sijoittumiseen tontille. Tontti sijaitsee korkealla vaaralla ja sieltä ovat kaukaiset näköalat laajalti yli vesien ja monien vaarojen. Ilmansuunnaltaan tontti aukeaa luoteeseen. Päärakennuksen sijoittamisessa tontille ja tilojen sijoittamisessa ilmansuuntiin nähden on huomioitu ilmaisen energian hyödyntäminen. Ulkorakennukseen sijoitettiin tarpeelliset kylmät varastotilat. Kuvassa 7 näkyy tulevan rakennuksen paikka ennen maatotit.



Kuva 7. Tulevan rakennuksen paikka tontilla.

Rakennuksen sijoittamiseen tontilla ovat lisäksi vaikuttaneet terrassin ja huoneiden asettelu siten, että rakennuksesta saavutetaan Vuokattiin suuntautuvat näköalat, ilta-aurinko oleskelu- ja saunatiloihin sekä terassille. Rakennukset sijaitsevat tontilla mahdollisimman lähellä naapurin rajaa, jotta mahdollinen uusien rakennuspaikkojen tekeminen tontille olisi myöhemmin toteutettavissa.

Koillis-itäsuunnassa sijaitsee jylhä kuusimetsä suojaamassa kylmien vuodenaikojen tuulilta. Auringon puolelle tullaan istuttamaan kasvavia lehtipuita suojaamaan rakennusta kesähelteiden aiheuttamalta kuumuudelta. Rakennukselle toteutettiin pitkät räystäät suojaamaan liialta lämpökuormalta kesäaikana. Asuinrakennuksen pääty suuntautuu kaakko-etelään ja sivu lounas-länteen, kuten voi todeta asemapiirustuksesta (kuva 8).



Kuva 8. Kohteen asemapiirustus.

Tontti muodostaa kolmion. Sen vasen sivu on 180 m, takasivu 180,5 m ja oikea sivu 200 m. Tontin koko on 1,5 ha, joten asemapiirustuksessa eivät näy tontin sivujen päämitat. Asemapiirustuksessa näkyvän kolmion kärjen pyykin numero on 33. Piha-alue sijaitsee ilmansuunnassa etelä, ja siellä on pöytäryhmän lisäksi hiekkalaatikko ja keinu. Tieliihtymää on 300 metriä Partalankyläntielle, josta on yhteys tielle Kuhmo-Sotkamo nro 76.

Tontti sijaitsee osin kalliolla. Huolellisella suunnittelulla ja talon sijoittamisella tontille säästettiin kalliilta ja radonriskisiltä louhintatöiltä. Puhdasvesikaivo, maalämpökaivo ja jätevesikaivot sijoitettiin tontille siten, että putkireititykset ja maansiirtotarpeet pystyttiin minimoimaan.

## 6.2 Arkkitehtisuunnittelu

Luonnos- ja arkkitehtisuunnittelussa luotiin huonejärjestely ja muodostettiin tilojen väliset yhteydet. Suunnitelmat perustuvat tilaohjelmaan ja tontin ominaisuuksiin. Suunnitelmia muokattiin suunnitelmien tarkentuessa. Suunnitelma ei yleensä valmistu kerralla, vaan ajan kuluessa ja monien luonnostelmien sekä vuoropuheluiden jälkeen suunnitelma alkaa kehittyä kohti lopullista ratkaisuaan.

Oleskeluun tarkoitetut tilat suuntautuvat pääasiassa etelään ja lounaaseen. Näin voidaan energiankulutusta pienentää ns. passiivisin aurinkojärjestelmin. Makuuhuoneet suuntautuvat itään, sauna ja pesutilat länteen sekä tekninen tila pohjoiseen. Keittiö on valoisa isojen ikkunoiden ansiosta.

Talo muodostui mittasuhteiltaan ideaaliseksi (pääty-sivusuhte noin 2:3), on lähes suorakulmainen ja yksikerroksinen harjakattoinen asuinrakennus. Koska vesikaton kaltevuus on 1:2,5 (21,8 °) ja pesutilojen huonekorkeus matalampi kuin muissa tiloissa, ullakolle jäi sopivasti korkeutta pienelle nukkumaparvelle. Kahdelle—neljälle lapselle tai nuorille parvi tulee tarjoamaan mieluisan nukkuma ja leikkipaikan. Parvi on sen verran tilava, että seinän vierelle vasemmalle voidaan sijoittaa petivaatteiden säilytyspaikka liukuoven tai verhon taakse. Parven ikkuna on varustettu hätäpoistumistienä.

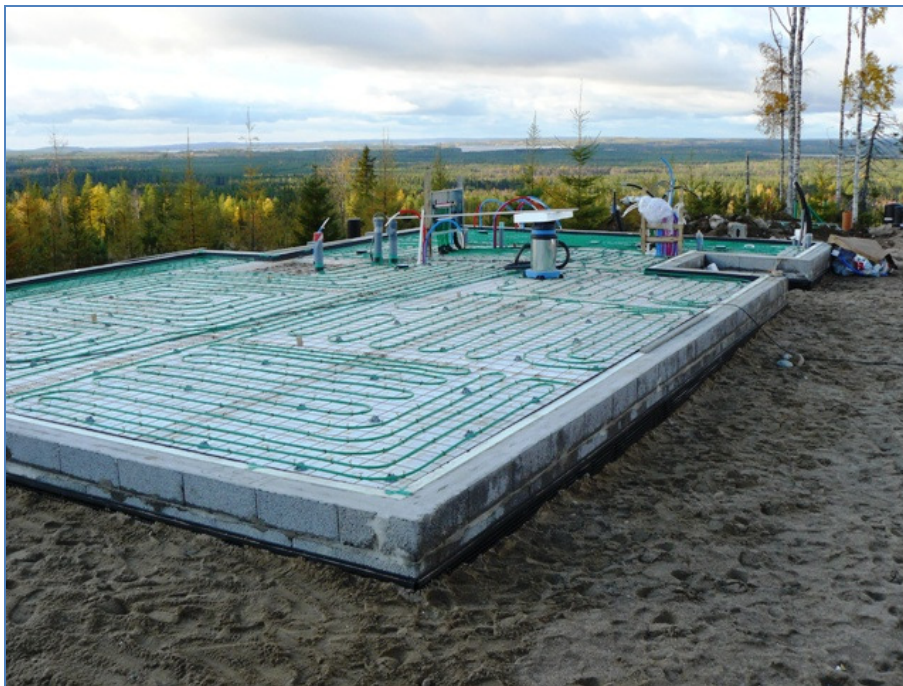
Ikkunoiden ala kerrosalasta on enintään 15 %. Rakennuksessa toteutuu ikkunoiden suuntaus kaakkoon ja länteen. Näin varmistetaan sisätilojen valoisuus ja ilmaisen energian hyödyntäminen.



Liitteessä 1-3 esitetään hankeohjelman mukaiset arkkitehtisuunnitelmat. Rakennuslupakuvina ovat asemapiirustus, pohja- ja leikkauspiirustukset sekä julkisivut liitteessä 1. Rakennekuvina ovat 12 rakennetyyppiä ala- ja yläpohjista sekä ulko- ja väliseinistä liitteessä 2. Lisäksi liitteessä 3 näkyy perustus- ja vesikattoleikkauskuvat.

### 6.3 Talotekniikka ja energiatehokkuus

Kohteeseen on valittu energiamuodoksi maalämpö sen ekologisuuden, energiaystävällisyyden, taloudellisuuden sekä vaivattoman hoidon ja huollon vuoksi. Lämmitysjärjestelmäksi on valittu vesikiertoinen lattialämmitys, joka toimii matalalla veden lämpötilalla ja lisää lattian käyttömukavuutta. Kuvassa 9 näkyy lattialämmityksen putket asennettuina ennen laatan valua syksyllä 2011.

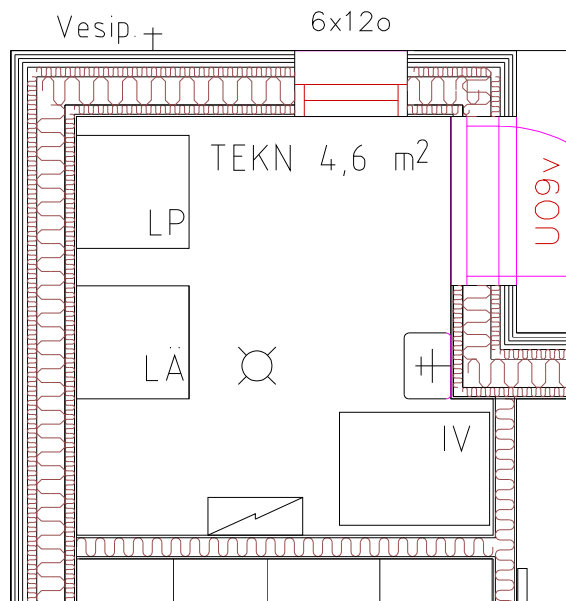


Kuva 9. Lattialämmityksen putket asennettuina.

Talotekniikalle on varattu riittävän suuri tekninen tila maalämpökojeelle, lämminvesivaraajalle, sähköpääkeskukselle ja ilmanvaihdon tarpeisiin. Tekninen tila on sijoitettu mahdollisimman ideaalisesti muihin tiloihin nähden. Teknisen tilan laitteet on sijoitettu mahdollisimman käytännöllisesti huomioiden tekniikan reititykset, järjestelmien huolto, korjattavuus ja vaihdettavuus. Rakennuksen putkitusten reitit ilmanvaihdolle, vesipisteille ja viemäröinnille on

suunniteltu mahdollisimman lyhyiksi ja näin kyetty asennukset minimoimaan sekä esimerkiksi säilyttämään lämpimän käyttöveden saanti käyttäjälle mahdollisimman nopeana.

Teknisen tilan koko maalämpövarusteilla on minimaalinen, mutta kuitenkin riittävä omakotitalolle (4,6 m<sup>2</sup>). Kuvassa 10 näkyy tekninen tila kalustettuna. LP on maalämpöpumppu, LÄ on lämminvesivaraaja ja IV on ilmanvaihtokoje. Sähköpääkeskus sijaitsee alhaalla keskellä.



Kuva 10. Tekninen tila kalustettuna.

Maalämpöpumpun mitoitus tehdään aina tarkasti kohdekohtaisesti. Mitoituksen lähtökohtana ovat mahdollisimman oikeat tiedot energiantarpeesta. Tärkeimpiä tietoja ovat rakennuksen lämmitettävä ala ja tilavuus, rakennusmateriaalit, kerrosmäärä, asukasmäärä ja mahdolliset suuret lämpimän veden kuluttajat, kuten uima- ja porealtaat. Lisäksi mitoituksessa huomioidaan lämmönkeräysputkiston sijoituspaikka, onko se maaperä, kallio vai vesistö. Maalämpöpumppu voidaan mitoittaa joko täystehoisesti tai osatehoisesti. [22.]

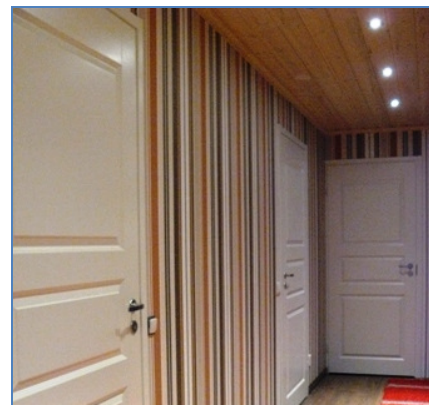
Kuvassa 11 näkyy maalämpöpumppu asennettuna.



Kuva 11. Maalämpöpumppu asennettuna.

Ilmanvaihtojärjestelmäksi on valittu tehokkaalla lämmön talteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä Enervent Pingvin. Ilmanvaihtokoje on varustettu vesikiertoisella jälkilämmityspatterilla, yöjäähdytyksellä ja tarkasti säätävällä sekä älykkäällä EDA-ohjauksella.

Kotitalouskoneiksi on valittu A-energialuokan laitteita ja valaistussähkön kulutusta pienennetty valitsemalla LED-lamput. Kuvassa 12 näkyy talon kotitalouskoneita ja kuvassa 13 laipiossa energiaa säästävät LED-lamput.



Kuva 12. Kotitalouskoneina A-luokan laitteita. Kuva 13. LED-lamput laipiossa.

## 7 KOHDE TALON RAKENTEET

### 7.1 Rakennuspohja ja perustus

Rakennuspohjan tehokas kuivatus on erittäin tärkeää. Sillä estetään rakennuksen käytölle ja rakenteille aiheutuvat haitat ja vauriot. Perustuksen ja alapohjan rakenteellisen toteutuksen lisäksi kosteuden ja kuivana pysymisen kannalta avainasemassa on myös rakennuksen korko. Kellarin lattiaa lukuun ottamatta on maanvastaisen lattian yläpinnan oltava vähintään 0,3 m rakennuksen ulkopuolella olevan maanpinnan yläpuolella [13]. Rakennustarkastaja antoi perustukselle koron, jonka mukaisesti toteutettiin perustuskaivanto, anturat, perusmuuri ja perustuksen täytöt. Pääsuunnittelijan vastuulla on huolehtia rakennuksen koron toteutumisesta. Rakennustarkastaja varmistaa koron perustuksen katselmuksessa. Kohteeseen ei vaadittu pohjatutkimusta. Sotkamossa on vain yksi alue Rauramon rannassa, jonne vaaditaan aina pohjatutkimuksen tekeminen ennen perustuksen suunnittelua ja rakennusluvan hakemista.

Perustuksen kaivun jälkeen perusmaan päälle asennettiin suodatinkangas ja sen päälle vähintään 300 mm paksu tiivistetty sorapatja anturan alustaksi (kuva 14). Tällä mahdollistetaan pohjaveden kapillaarisen nousun katkeaminen perustukseen.

Talo perustettiin maanvaraiselle laatalle, ja pintavedet tontilta ohjattiin rakennuksesta pois päin. Tontilla on isot korkeuserot, joten pintavesien ohjaaminen maastossa oli helppo toteuttaa. Suunniteltiin ja toteutettiin salaojat sekä kattovesien poisjohtaminen sadevesien viemäreillä rakennuksesta pois päin. Kuvassa 15 näkyy salaojakaivoja ja anturan alapuolinen sorapatja tiivistettynä ohjeiden mukaisesti.



Kuva 14. Anturan alustan sorapatja.



Kuva 15. Anturan alusta tiivistettynä.



Sotkamo on radonpitoista aluetta, ja sinne vaaditaan toteutettavaksi alapohjarakenteisiin radonsuojaus, jolla estetään radonkaasujen pääsy huonetilaan. Radonsuojaus toteutettiin LVI-suunnitelman mukaisesti. Alapohjan sorakerrokseen asennettiin putkisto, josta johdettiin kaasujen tuuletusputki talon harjalle. Perusmuurin yläpuolelle rakennuksen ympäri asennettiin harkon ja alajuoksun väliin radonkaista.

Seuraavissa kuvissa esitetään perustuksen toteuttamisen päävaiheita. Perustus toteutettiin liitteessä 3/1 näkyvän perustusleikkauksen mukaisesti. Kuvassa 16 on salaojaputki ja -kaivo asennettuna. Salaojaputket kiertävät rakennuksen ympäri ja rakennuksen nurkka-alueille on sijoitettu salaojakaivot. Kuvassa 17 on salaojaputki peitettynä soralla.



Kuva 16. Salaojaputki ja -kaivo asennettuna. Kuva 17. Salaojaputki peitettynä soralla.

Tiivistetyn anturan alustan päälle asennettiin tasaushiekka (kuva 18). Tasaushiekan päälle asennettiin perusmuurin harkkoja tukemaan anturan valua (kuva 19).



Kuva 18. Anturan alustan tasaaminen.



Kuva 19. Harkot anturan valua varten.

Betoniantura 500x200 raudoitettiin kahdella 10 mm:n harjateräksellä. Teräksillä tulee olla 50 mm:n suojabetonointi maata vasten, eli ennen valua teräksen tulee olla irti muotin reunoista vähintäänkin 50 mm (kuva 20). Valetun anturan päälle tuli S30-kiinnityslaasti ensimmäisen harkkokerroksen kiinnittämistä ja vaakatasasta varten (kuva 21).



Kuva 20. Anturan raudoitus.



Kuva 21. Anturan päällä 1. harkkokerros.

Perusmuuri muurattiin RUH-200-kevytsoraharkoista. Muurauksen aikana tuli seurata linjalangalla muurauksen pysymistä oikeassa tasossa sekä pystysuorassa. Kevytsoraharkkojen raudoitukseksi asennettiin valmistajan suunnitelmien ja ohjeiden mukaisesti kaksi kappaletta 10 mm:n harjaterästä joka toiseen saumaan (kuva 22). Vaakasaumojen laastin levitykseen käytettiin apuna laastikelkkaa (kuva 23).



Kuva 22. Harkkosaumojen raudoitus.

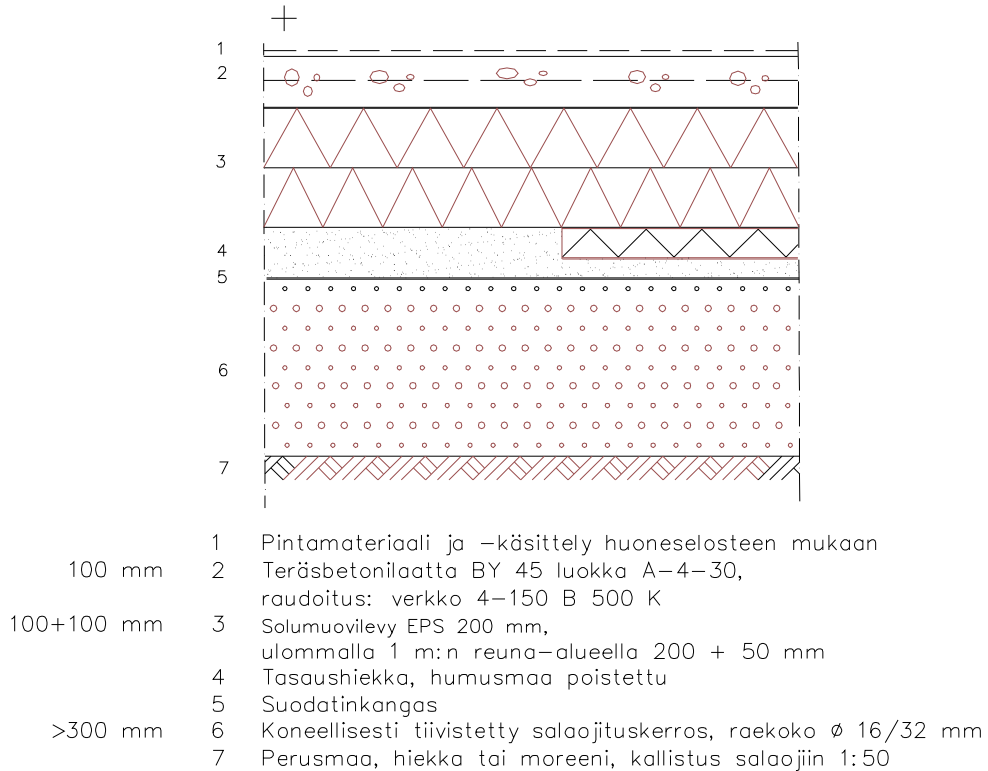


Kuva 23. Laastin levitys kelkalla.

## 7.2 Alapohja

### 7.2.1 U-arvo

Maanvastaiselle alapohjalle on annettu RakMK C3:ssa lämpöhäviön vertailuarvo  $0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja matalaenergiatalon vastaava arvo 85 % olisi  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Alapohjan rakenne suunniteltiin matalaenergiarakennukselle, U-arvon laskenta on suoritettu sekä D.O.F. Tech Oy:n Lämpö-ohjelmalla (liite 4/1) että itse luodulla Excel-ohjelmalla. Kuvassa 24 näkyvän alapohjarakenteen U-arvo on  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

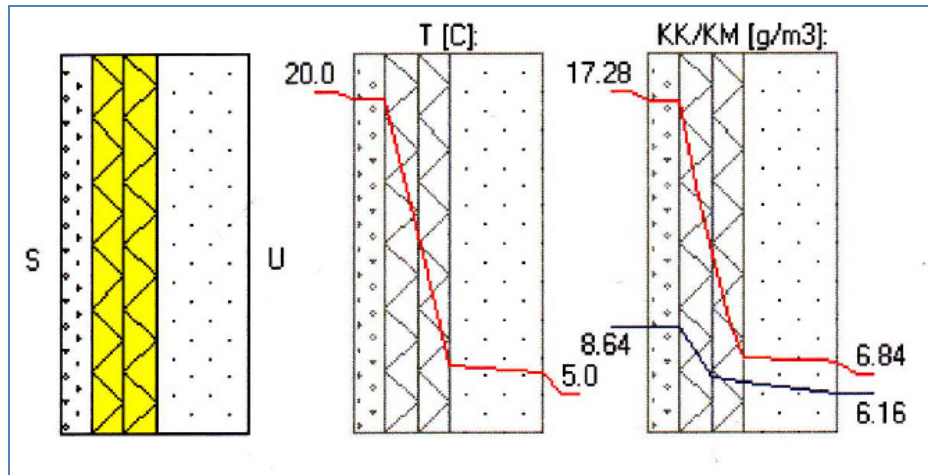


Kuva 24. Suunniteltu alapohjarakenne, U-arvo  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

### 7.2.2 Lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Alapohjan lämpö- ja kosteustekninen toiminta on laskettu ja tulostettu D.O.F. Tech Oy:n Lämpö-ohjelmalla. Liitteessä 4/1 näkyy laskennassa käytetyt lähtöarvot ja tulokset. Laskennan tarkasteluhetkinä on käytetty olosuhteita kolmen päivän kylmin, jossa laatan alapuolinen lämpötila on +5 astetta ja RH 90 % sekä sisälämpötila +20 astetta ja RH 50 %. Kuvan 25 sininen käyrä osoittaa vesihöyrypitoisuudet rakenteen eri kohdissa. Rakenteen alapuolella ilmassa oleva vesihöyrypitoisuus on  $6,16 \text{ g}/\text{m}^3$  ja rakenteen sisäpuolella  $8,64 \text{ g}/\text{m}^3$ . Kuvan 25 punainen käyrä osoittaa vastaavan kyllästyskosteuden rakenteen eri kohdissa ja on riippuvainen kohdan lämpötilasta. Lämpötiloissa +5 ja +20 astetta kyllästyskosteudet ovat  $6,84$  ja  $17,28 \text{ g}/\text{m}^3$ . Mikäli käyrät leikkaavat toisensa, tapahtuu kosteuden tiivistymistä rakenteessa. Tarkastelutulos: alapohjarakenteeseen ei tiivisty kosteutta.





Kuva 25. Alapohjan lämpö- ja kosteuskäyrät.

Maanvastaisen lattian eristäminen laskee lattian alla olevan maaperän lämpötilaa. Lämpötilan laskiessa myös vesihöyryn kyllästyspaine sekä vesihöyryn paine lattian alla olevassa täytösorassa laskee. Tämä vähentää kosteusriskejä lattiarakenteessa. [23.]

### 7.2.3 Toteutus

VTT on julkaissut toukokuussa 2011 kaksi tutkimusraporttia ja suositukset rakennusten alapohjan eristämiseksi ja routasuojaukselle. Energiatohokkuusvaatimusten kiristyessä maanvastaisen alapohjan lämmöneristävyys paranee. Sen seurauksena rakennuksen alla olevan maanpohjan lämpötila laskee. Tämä lisää perustusten routasuojauksen tarvetta. [24.]

Tulosten mukaan on kannattavampaa lisätä lattian eristepaksuutta kuin lisäeristää perusmuuria. Sen sijaan on tärkeää pienentää perusmuurin kylmäsiltoja sekä perusmuurin lämpöhäviöitä suoraan ulkoilmaan. Paras perusmuurin lämmöneristeen paikka routasuojauksen kannalta on perusmuurin ulkopinnalla. [23.]

VTT:n routasuojaussuositusten mukaan nurkan alueen routasuojauksen paksuuden tulee olla kaksinkertainen verrattuna seinäalueeseen[24].

Perustuksen ulkopuolisen täytön jälkeen asennettiin kohteeseen suunnitellut ja mitoitettut routasuojaukset. Routasuojaus toteutettiin 100 mm:n paksulla eristeellä seinäalueella 1,2 metrin etäisyydelle seinälinjasta ja 150 mm:n paksulla eristeellä nurkka-alueella kahden metrin etäisyydellä nurkasta ulos- ja seinän keskelle päin rakennuksen vieressä. Terrassin alusta suojattiin 200 mm paksulla routaeristeellä. Kuvassa 26 näkyy perustusmuuri veden- ja lämmöneristettynä ennen ulko- ja sisäpuolisia täyttöjä sekä routaeristämistä.



Kuva 26. Perustusmuuri veden- ja lämmöneristettynä ennen routaeristämistä ja täyttöjä.

Alapohja toteutettiin kuvan 24 suunnitelman mukaisesti asentamalla ja tiivistämällä salaojituskerros >300 mm perusmuurin sisäpuolelle, kerrokseen asennettiin radonputket. Sepelikerroksen päälle asennettiin suodatinkangas, ja sen päälle tuli tasaushiekka. Tasaushiekkaan asennettiin viemäri- ja vesijohtoputket LVI-suunnitelman sekä vesipisteiden mitoituskuviin mukaisesti (kuvat 27–28).



Kuva 27. Viemäriputkien asennus.



Kuva 28. Vesiputket ennen peittämistä.

Alapohjan eristämässä päädyttiin liitteen 3/1 mukaisen perustusleikkauksen suunnitteluratkaisuun, jossa perusmuurin pystyeristeenä on 70 mm:n XPS-eriste ja EPS 50 mm sekä vaakaeristeenä kauttaaltaan tasainen 200 mm:n EPS-eriste. Pystyeristeillä pienennetään perusmuurin kylmäsiltoja ja perusmuurin lämpöhäviöitä suoraan ulkoilmaan. Kauttaaltaan tasainen, tarpeeksi paksu vaakaeriste on helpompi asentaa verrattuna lattian reuna-alueella kiertävään vaakaeristeeseen. VTT:n tutkimus osoittaa, että eristettä kannattaa lisätä mieluummin koko lattian alalle kuin lattian reunalle lisäeristettä. Kuvassa 29 näkyy, että osa alapohjasta on eristetty EPS-eristeellä.

EPS-eristeiden päälle asennettiin 4 mm:n rauditusverkko 150 mm:n jaolla. Verkon tukemiseksi irti alustasta asennettiin raudoitustuet. Laatan ja perusmuurin väliin asennettiin irrotuskaistaksi umpisoluinen polyeteenikaista. Rauditusverkkoon kiinnitettiin lattialämmityspotket LVI-suunnitelman mukaisesti. Kuva 30 on otettu ennen laatan valua.



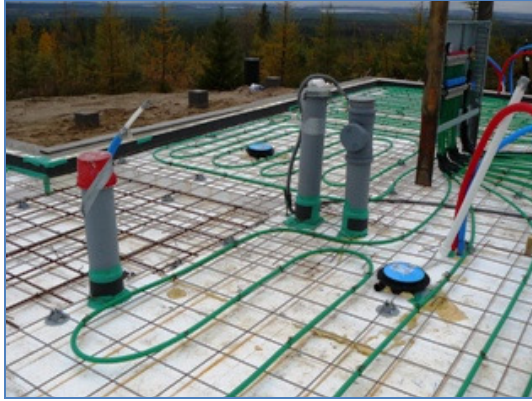
Kuva 29. Alapohjan EPS-eristäminen.



Kuva 30. Alapohja ennen laatan valua.



Putkistojen juuret tiivistettiin huolellisesti kiertämällä ne solumuovilla ja ilmantiivisteipillä hyvän ilmantiiveyden saavuttamiseksi ja radonhaittojen torjumiseksi (kuva 31). Kuvassa 32 näkyy valmiiksi valettu alapohjalaatta, teräsbetonilaatan vahvuus on 100 mm.



Kuva 31. Putkistojen juuret tiivistettyinä

Kuva 32. Teräsbetonilaatta valettuna.

Laatan kuivumisen ja kutistumisen jälkeen tiivistettiin laatan reunat PU-saumavaahdolla ja elastisella saumaussmassalla (kuva 33). Myös putkistojen juuret tiivistettiin elastisella saumaussmassalla (kuva 34).



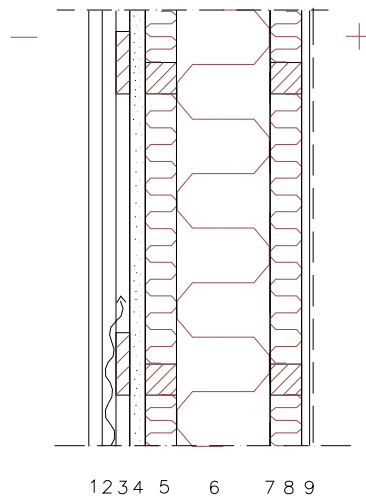
Kuva 33. Laatan reunan tiivistäminen.

Kuva 34. Putkien juurien tiivistäminen.

## 7.3 Ulkoseinä

### 7.3.1 U-arvo

Ulkoseinälle on annettu RakMK C3:ssa lämpöhäviön vertailuarvo  $0,17 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , ja matalaenergiatalon vastaava arvo 85 % olisi  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Ulkoseinän rakenne suunniteltiin matalaenergiarakennukselle, U-arvon laskenta on suoritettu sekä D.O.F. Tech Oy:n Lämpöohjelmalla (liite 4/2) että itse luodulla Excel-ohjelmalla. Ulkoseinärakenteen U-arvo on  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (kuva 35.).



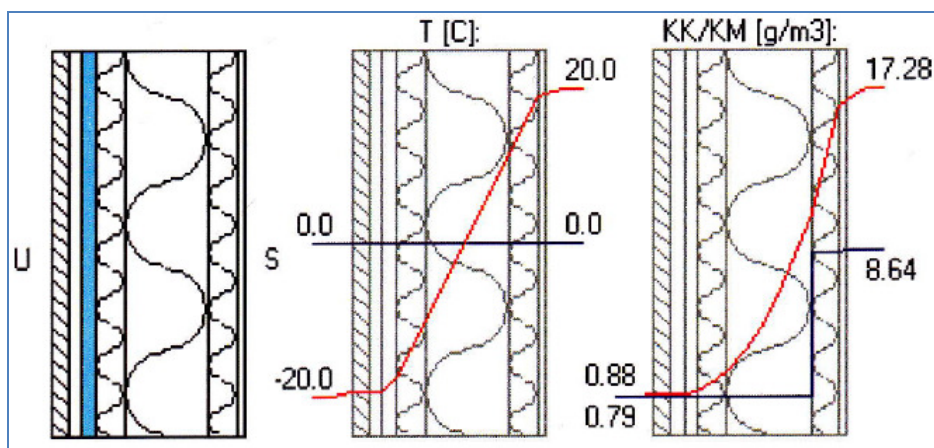
		Pintakäsittely, maalaus Uula-maalilla, väri kartanonkeltainen
22 mm	1	Ulkoverhous, lomalaudoitus päälle 22x125
22 mm	2	Ulkoverhous, lomalaudoitus alle 22x100
22 mm	3	Tuuletusväli, vaakalaudat 22x100 k 600
25 mm	4	Tuulensuojalevy, 25 mm
50 mm	5	Vaakakoolaus 50x50 k 600 ja mineraalivilla 50 mm
150 mm	6	Lämmöneriste, mineraalivilla 150 mm kantava rakenne: pystyrunko 50x150 k 600
0.2 mm	7	Höyrynsulku, polyeteenikalvo, saumat rungon kohdalla 200 mm limittäin, saumoissa teippaus
50 mm	8	Vaakakoolaus 50x50 k 600 ja mineraalivilla 50 mm
13 mm	9	Rakennuslevy, Kipsilevy EK 13 mm Pintakäsittely, tapetointi tai maalaus

Kuva 35. Suunniteltu ulkoseinärakenne, U-arvo  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

### 7.3.2 Lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Ulkoseinän lämpö- ja kosteustekninen toiminta on laskettu ja tulostettu D.O.F. Tech Oy:n Lämpö-ohjelmalla. Liitteessä 4/2 näkyy laskennassa käytetyt lähtöarvot ja tulokset. Laskennan tarkasteluhetkinä on käytetty olosuhteita kolmen päivän kylmin, jossa ulkolämpötila on -20 astetta ja RH 90 % sekä sisälämpötila +20 astetta ja RH 50 %.

Kuvan 36 sininen käyrä osoittaa vesihöyrypitoisuudet rakenteen eri kohdissa. Rakenteen ulkopuolella ilmassa oleva vesihöyrypitoisuus on  $0,79 \text{ g/m}^3$  ja rakenteen sisäpuolella  $8,64 \text{ g/m}^3$ . Kuvan 36 punainen käyrä osoittaa vastaavan kyllästyskosteuden rakenteen eri kohdissa ja on riippuvainen kohdan lämpötilasta. Lämpötiloissa -20 ja +20 astetta kyllästyskosteudet ovat  $0,88$  ja  $17,28 \text{ g/m}^3$ . Mikäli käyrät leikkaavat toisensa, tapahtuu kosteuden tiivistymistä rakenteessa. Tarkastelutulos: ulkoseinärakenteeseen ei tiivisty kosteutta.



Kuva 36. Ulkoseinän lämpö ja kosteuskäyrät.

### 7.3.3 Toteutus

Ulkoseinän rungon tekeminen aloitettiin aikaisin keväällä 2012 edellisenä syksynä valmistetun ja talveksi suojatun perustuksen päältä (kuva 37). 50x150 runko valmistettiin kappaletavarasta rakennuspaikalla. Runkojen työstöt ja asennus tehtiin valmiiksi mitoitettujen runkokuvien mukaisesti. Ikkuna-aukkojen ylityspalkit asennettiin aukkojen leveyden mukaisesti mitoitettuina joko kertopuusta tai sahatavarasta (kuva 38).



Kuva 37. Talon runkovaihe.



Kuva 38. Ikkuna-aukon ylitypalkki.

Rungon ulkopuolelle asennettiin kylmäsiltojen välttämiseksi vaakarima 50 mm:n eristeelle (kuva 39) eri kohdalle kuin sisäpuolelle tuleva vaakarima. Kuvassa 40 näkyy harkkoperusmuurin päällä eristettyä sekä tuulensuojalevyllä suojattua ulkoseinää.



Kuva 39. Ulkopuolen vaakarimoitus.



Kuva 40. Tuulensuojalevy ja eriste.

Runkoleijona (tuulensuojalevy) toimii ulkoseinän jäykistävänä rakenteena. Kun seinien jäykistys hoidetaan levyjäykistyksellä, niin on muistettava, että käytettäessä rungon ja levyn välissä koolausta, levyn jäykistävä vaikutus pienenee jopa 75 %. Koolausta käytettäessä olisi suositeltavaa jäykistää runko vinosoiroilla. Sisäpuoliseen koolaustilaan mahtuu sopivasti 45x95 soiro 45° kulmassa esim. nurkkiin. Ulkopuolista ristiinkoolausta käytettäessä sisempi koolausta voisi myös olla 45° kulmassa, jolloin se ollessaan suoraan rungossa kiinni toimii erinomaisesti jäykistävänä rakenteena. [25.]

Alla olevissa kuvissa talo näkyy valmiina kahdessa eri vaiheessa. Kuvassa 41 talo on vuoratuna tuulensuojalevyllä. Kuvassa 42 talo on osin lomalaudoitettuna, päädyssä näkyy lomalaudan alle tuleva vaakakoolausta, joka toimii lomalaudan kanssa rakenteen tuuletustilana.





Kuva 41. Talon tuulensuojalevyvuoraus.



Kuva 42. Talon lomalaudoitusta.

Sisäseinät lämpöeristettiin 150 mm:n eristeellä (kuva 43). Eristeen päälle asennettiin ilman- ja höyrönsulku ja sisäpuolinen vaakakoolaus (kuva 44).



Kuva 43. Lämpöeristetty ulkoseinä.



Kuva 44. Ulkoseinän vaakakoolaus ja eriste.

Alimman ulkoseinän vaakariman paikaksi määriteltiin noin 15 mm irti betonilaatasta. Rimaa alapuolelle jäävä tila täytettiin PU-eristeellä seinän vierustan kylmäsilan katkaisemiseksi (kuva 45). Ilmantiiveyden varmistamiseksi ilman- ja höyrönsulun tulee muodostaa aukoton pinta ulkovaippaan, joten ilmansulku asennettiin edullisimmin sisälevytystä vasten koolauksella asennetun 50 mm:n paksuisen lämmöneristekerroksen ulkopuolelle (kuva 46). Näin vältetään sähköjohtojen, -rasioiden ja ruuvausten lävistyksiä tiivistyssulun läpi.



Lattian raja tiivistettiin vielä ilmantiiveysteipillä ja elastisella saumausmassalla (kuva 46.)



Kuva 45. PU-eriste lattian rajassa.

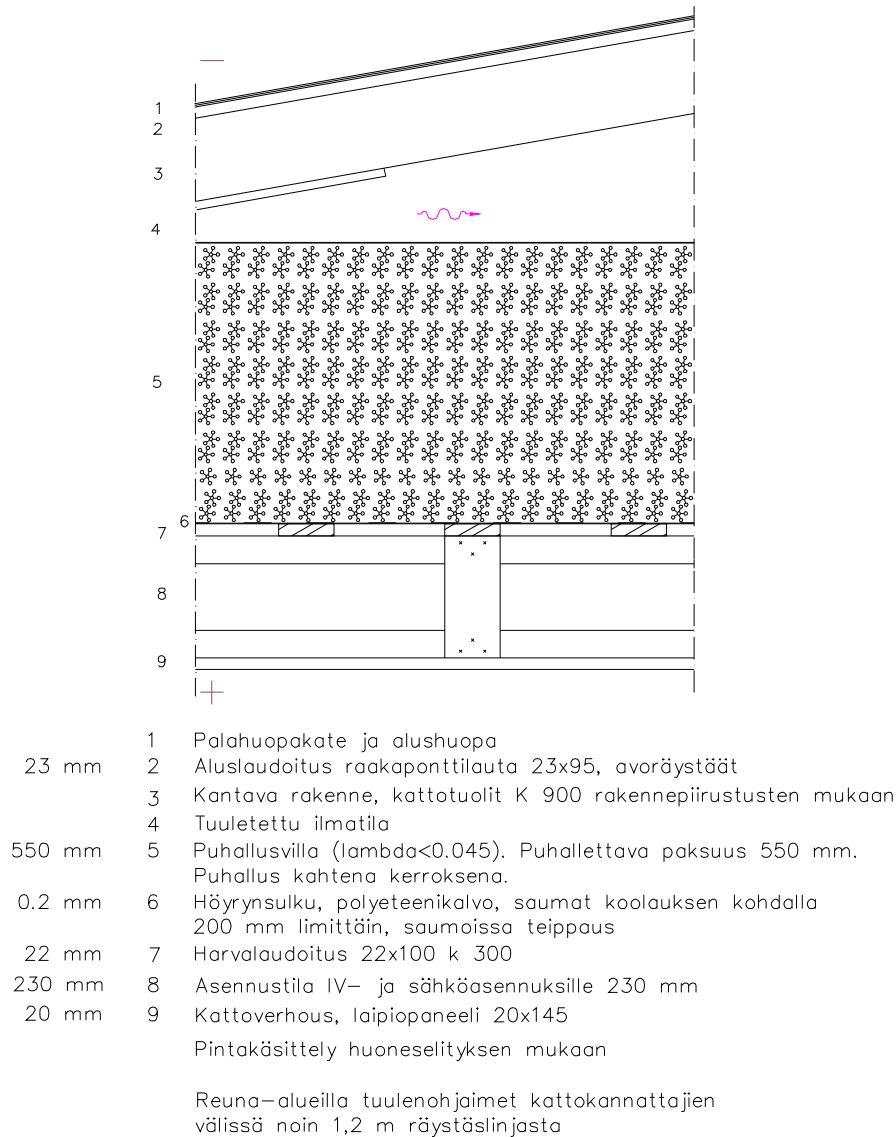


Kuva 46. Ulkoseinän ehyt tiivissulku.

## 7.4 Yläpohja

### 7.4.1 U-arvo

Yläpohjalle on annettu RakMK C3:ssa lämpöhäviön vertailuarvo  $0,09 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  ja matalaenergiatalon vastaava arvo 85 % olisi  $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Yläpohjan rakenne suunniteltiin matalaenergiarakennukselle, U-arvon laskenta on suoritettu sekä D.O.F. Tech Oy:n Lämpöohjelmalla (liite 4/3) että itse luodulla Excel-ohjelmalla. Yläpohjarakenteen U-arvo on  $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  (kuva 47.).



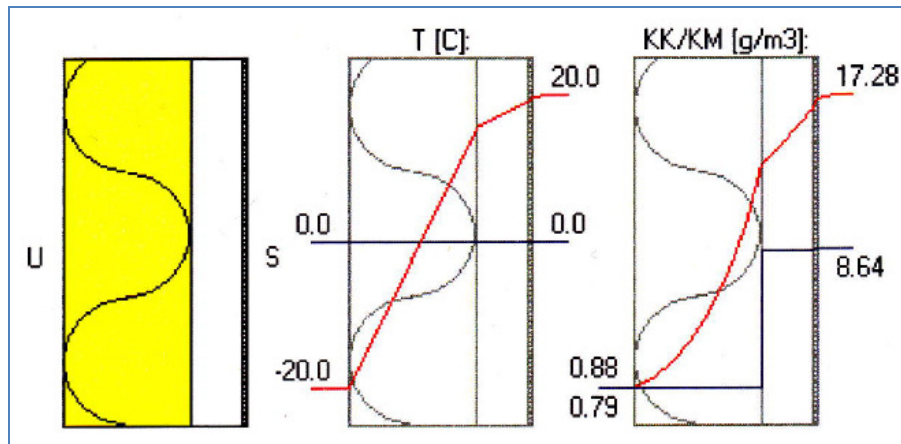
Kuva 47. Suunniteltu yläpohjarakenne, U-arvo  $0,08 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ .

#### 7.4.2 Lämpö- ja kosteustekninen toiminta

Yläpohjan lämpö- ja kosteustekninen toiminta on laskettu ja tulostettu D.O.F. Tech Oy:n Lämpö-ohjelmalla. Liitteessä 4/3 näkyy laskennassa käytetyt lähtöarvot ja tulokset. Laskennan tarkasteluhetkinä on käytetty olosuhteita kolmen päivän kylmin, jossa ulkolämpötila on -20 astetta ja RH 90 % sekä sisälämpötila +20 astetta ja RH 50 %.

Kuvan 48 sininen käyrä osoittaa vesihöyrypitoisuudet rakenteen eri kohdissa. Rakenteen ulkopuolella ilmassa oleva vesihöyrypitoisuus on  $0,79 \text{ g}/\text{m}^3$  ja rakenteen sisäpuolella  $8,64$

$\text{g}/\text{m}^3$ . Kuvan 48 punainen käyrä osoittaa vastaavan kyllästyskosteuden rakenteen eri kohdissa ja on riippuvainen kohdan lämpötilasta. Lämpötiloissa  $-20$  ja  $+20$  astetta kyllästyskosteudet ovat  $0,88$  ja  $17,28 \text{ g}/\text{m}^3$ . Mikäli käyrät leikkaavat toisensa, tapahtuu kosteuden tiivistymistä rakenteessa. Tarkastelutulos: yläpohjarakenteeseen ei tiivisty kosteutta.



Kuva 48. Yläpohjan lämpö ja kosteuskäyrät.

#### 7.4.3 Toteutus

Osa kantavista kattorakenteista toteutettiin NR-ristikoilla (kuva 49) ja osa kantavuusmitoitetuilla sahatavarapalkeilla, joilla saatiin luotua taloon arkkitehtuurista ulkonäköä (kuva 50). NR-ristikoita käytettäessä tulee varmistaa kattorakenteen jäykistäminen tuulikuormia varten [25].



Kuva 49. NR-kattoristikot.



Kuva 50. Palkit kantavina rakenteina.

Myös yläpohjan asentamisen tavoitteena oli varmistaa hyvä ilmantiiveys. Yläpohjan ilman- ja höyrynsulku limitettiin vähintään 150 mm, saumat teipattiin ja asennettiin kahden jäykän kappaleen väliin (kuva 51). Ilmanvaihtokanavien asentamista varten asennettiin alaslaskettu laipio ilman- ja höyrynsulun sisäpuolelle (kuva 52).



Kuva 51. Ilman- ja höyrynsulun sauma.



Kuva 52. Alaslaskettu laipio.

Ilmanvaihtoputkia ei tarvinnut eristää, koska ne asennettiin lämpimälle puolelle (kuva 53). Vain tulo- ja poistoilmakanavat tarvitsi viedä hyvin tiivistettyinä ilman ja höyrynsulun läpi (kuva 54).



Kuva 53. Ilmastointiputkien asennus.



Kuva 54. Ilmastointiputken läpivienti.

Ilmanvaihtoputkien lisäksi myös sähköjohtojen vedot oli helppo toteuttaa alaslasketussa laipiossa (kuva 55). Hormiston juuren tiivistäminen huolellisesti on ensiarvoisen tärkeää ilmantiiveyden kannalta. Ilman- ja höyrynsulku kiinnitettiin akrylaattiliimalla sekä ilmantiiveysteipillä hormistoon (kuva 56). Käytettävissä on myös hormiston valmistajan läpiviennin tiivistysteippejä höyrynsulun ja vesikatolla aluskatteen ilmantiiveyseen liittämiseen.





Kuva 55. Sähköjohdot laipiossa.



Kuva 56. Hormiston juuren tiivistys.

Yläpohjan tuuletuksen toteuttaminen on tärkeää kosteuden poistumisen kannalta yläpohjasta. Kuvassa 57 näkyy yläpohjan tuuliohjaimet kattotuolien välissä, pahvin yläpuolella on 100 mm:n tuuletustila. Yläpohjan tuuletuksen tehostamiseksi lisättiin päätykolmioon tuuletusventtiilit ja parven yläpuolelle asennettiin kaksi tuuletushormia vesikatolle.

Kuvassa 58 näkyy tuuliohjaimia vastaava tuuletustila rakennuksen ulkopuolelta. Ulkoverhoksen yläpäässä on 30 mm korkea tuuletusrako, joka on peitetty jyrksijäverkolla.



Kuva 57. Tuuliohjaimet.



Kuva 58. Tuuletustila ja jyrksijäverkko.

Poistoilma-aukkojen tulee sijaita mahdollisimman ylhäällä ja korvausilma-aukkojen (sisäänottoaukot, tuuletusrako) alhaalla räystäällä, jolloin korkeuseron ja lämmön vaikutuksesta muodostuu luonnollinen tuuletus. Korvausilma-aukkojen poikkileikkausala on vähintään 2 promillea katon pinta-alasta. Tuuletusrakojen (sisäänotto ja poisto) leveyden tulee olla vähintään 20 mm. Tuuletusraot toteutetaan siten, että niistä ei pääse tunkeutumaan sadevettä eikä lunta rakenteisiin. Tuuletusraot varustetaan hyönteisverkolla, jonka silmäkoko on 3...6 mm. [26.]

Ulkotilassa kulkevat tuuletusputket tulee kondenssieristää kylmässä tilassa. Kuvassa 59 ja 60 näkyvät liesituulettimen ja wc:n eristetyt putket ullakkotilassa, ne johtavat vesikatolle. Liesituulettimen putkelle on oma eristys verkolla, joka pitää eristeen paikoillaan myös mahdollisessa palotilanteessa.

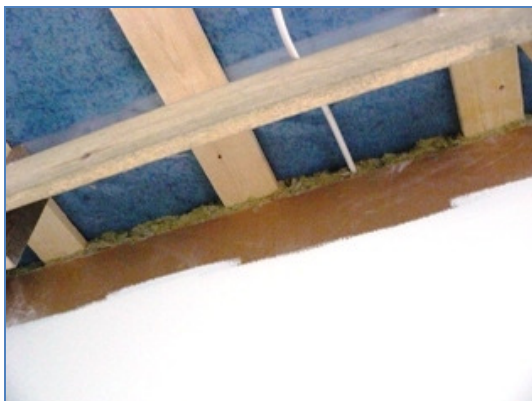


Kuva 59. Liesituulettimen putki.

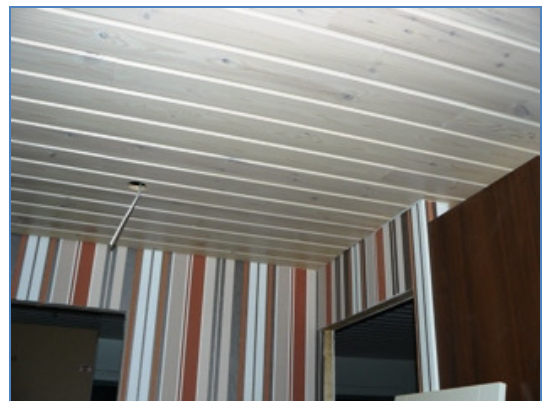


Kuva 60. Wc:n tuuletusputki.

Huoneiden väliseinien yläosat äänieristettiin ennen panelointia (kuva 61). Kuvassa 62 näkyy valmiiksi paneloitu yläpohja sähköasennuksia ja listoituksia vailla.



Kuva 61. Väliseinien äänieristys.

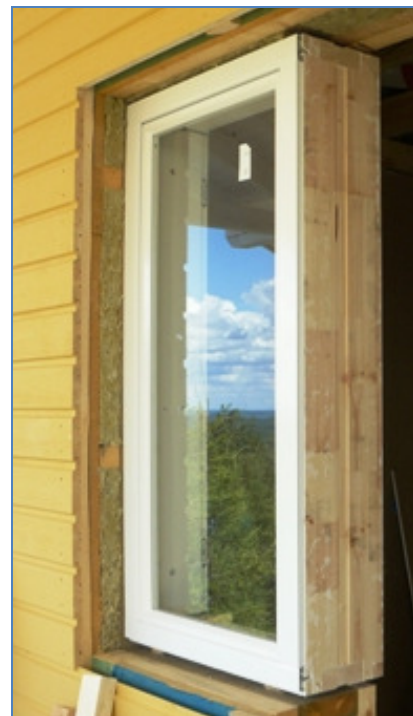


Kuva 62. Valmiiksi paneloitu yläpohja.

## 7.5 Ikkunat ja ovet

Ikkunoiksi valittiin paikallisen valmistajan ikkunat. Ikkunat ovat MS3EAL eli kolmikerroksisella lämpölasilla ja yhdellä tavallisella lasilla varustettuja selektiivi–argon- ikkunoita. Sisäpuite on puuta ja ulkopuite alumiinia, karmen kokonaisvahvuus on 210 mm (kuva 63).

Ikkunan paikka ulkoseinässä on lämpöeristeen kohdalla. Talossa ikkunat asennettiin ulkoseinän sisäpintaan. Karmen vahvuudeksi valittiin 210 mm, jotta ikkunat eivät jää liian syvälle ulkoseinän ulkopinnasta. Ilmatila leveässä karmissa lisää lämmönpitävyyttä, ikkunan U-arvo on  $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ . Kuvassa 64 ikkuna on asennettuna kiiloilla ikkuna-aukkoon pesuhuoneessa.



Kuva 63. Ikkuna 210 mm:n karmilla.

Kuva 64. Ikkuna MSE3AL asennettuna.

Karmi liitetään ilmatiiviisti seinärakenteen ilmatiiviiseen kerrokseen, kuten höyrynsulkuun [11]. Kuvissa 65 ja 66 näkyy ikkunoiden tiivis asentaminen ilmantiveysteipillä seinän ilman- ja höyrynsulkuun.

Oviksi valittiin hyvän U-arvon omaavat ( $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) parveke- ja ulko-ovet. Parvekeovi näkyy kuvassa 67 ja ulko-ovi kuvassa 68.





Kuva 65. Tiivis sauma ulkoseinässä.



Kuva 66. Ikkuna tiivistettynä seinään.



Kuva 67. Parvekkeen ovi.



Kuva 68. Ulko-ovi.



## 7.6 Kantavat rakenteet

### 7.6.1 Laskennan toteutus ja lähtöarvot

Kantavien puurakenteiden lujuuslaskenta toteutettiin laskemalla Eurokoodeilla työn tekijän luomalla Excel -laskentataulukolla sekä myös PupaxX5-palkinlaskentaohjelmalla (Ins. tsto Pauli Närhi 1996–2012) rajatilamitoituksella. PupaxX5-ohjelmalla voidaan laskea palkkien taivutus- ja leikkausvoimasuureita ja tarkastella palkkirakenteita. Laskennan kohteiksi valittiin kriittisimmät vesikaton kantavuuskohdat eli kannatinpalkki pädystä ja kattopalkit terassilla.

Laskennan lähtöarvoihin liittyvät oleellisesti vesikaton kuormat, käyttöluokka ja taipumat. Vesikaton kantaviin rakenteisiin kohdistuu lumikuorma ja rakenteen omapaino (pysyvä kuorma), joka on laskettu nimellismittojen ja tilavuuspainojen ominaisarvojen perusteella. Lumikuorma (keskipitkä kuorma) määräytyy paikkakuntaakohtaisen taulukon perusteella ja on Sotkamossa  $3,4 \text{ kN/m}^2$ . Lumikuorman määrittämisen yhteydessä käytetään kattomuodon ja kaltevuuden mukaista muotokerrointa, joka on kyseisessä kohteessa 0,8 harjakatolla kaltevuudella  $<30^\circ$ . [27. ja 28.]

Puurakennuksilla on kolme käyttöluokkaa. Käyttöluokkaan 1 kuuluu puurakenne, joka on lämmitetyissä sisätiloissa, myös lämpöeristekerroksessa olevat rakenteet ja palkit. Käyttöluokkaan 2 kuuluu ulkoilmassa kuivana oleva puurakenne, joka on tuuletetussa ulkotilassa ja kastumiselta suojattu. Käyttöluokkaan 3 kuuluvat säälle ja kastumiselle alttiit puurakenteet. [28.]

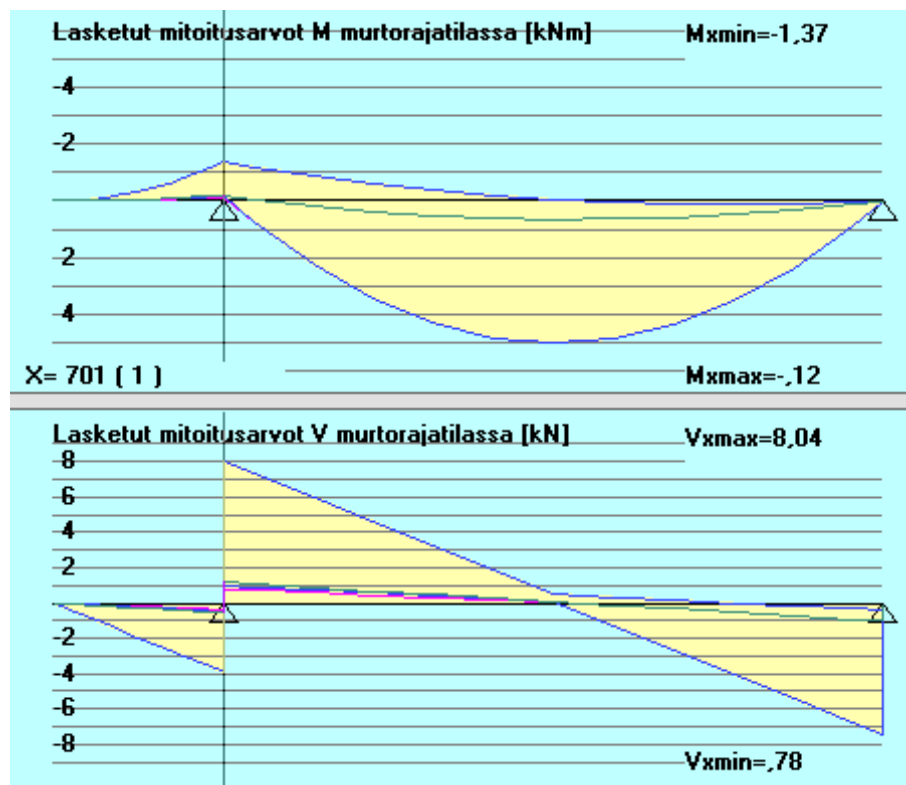
Kun taipumista tai rakennuksen vaakasiirtymistä on haittaa, käyttörajatilan taipumat ja vaakasiirtymät rajoitetaan esimerkiksi pääkannattimelle  $L/300$ , orsille ja muille toisiokannattimille  $L/200$ . Tämä tarkoittaa jänneväli jaettuna joko  $300 \text{ mm}$ :llä tai  $200 \text{ mm}$ :llä. [28.]

Vesikattorakenteen omaksi painoksi määriteltiin huopakatteelle  $0,5 \text{ kN/m}^2$  lämpimällä osalla ja  $0,2 \text{ kN/m}^2$  terassin osalla. Muuttuvaksi kuormaksi lumelle Sotkamossa määriteltiin  $2,72 \text{ kN/m}^2$  ( $3,4 \text{ kN/m}^2 * 0,8$ ). PupaxX5-laskentaohjelma antaa laskentatuloksiksi palkin koon ja graafisen tulosteen lasketuista mitoitusarvoista sekä tarkat laskentatulokset myös numeerisina.

### 7.6.2 Vesikaton kannatinpalkki

Liitteessä 5/1 näkyy vesikaton kannatinpalkin C24 125x150 mm laskentatulokset graafisena että numerotietoina PupaxX5-ohjelmasta tulostettuina. Palkki sijaitsee vesikatossa yläpohjassa pesuhuoneen ja parven yläpuolella lämpimässä tilassa. Sen vuoksi käyttöluokaksi on määriteltä käyttöluokka 1 eli sisätilat ja lämmöneristyskerroksen yläpohjapalkit. Sallituksi taipumaksi on valittu  $L/300$  eli pääkannattimet. Jänneväli 2700 mm jaettuna 300 mm, tulokseksi saadaan 9 mm, joka on taipuman sallittu raja-arvo. Palkilla toteutuu taipuma 8,4 mm ja se on 93 % sallitusta raja-arvosta. Mikäli taipuma olisi enemmän kuin 100 %, silloin tulisi valita kannatinpalkiksi mitoiltaan korkeampi sahatavarapalkki.

Kannatinpalkin rajatilamitoituksen graafisesta kuvaajasta (kuva 69) voi todeta, että maksimimomentti ( $M$ ) eli taivutuskestävyys 5,00 kNm esiintyy palkin puolivälissä. Maksimi leikkausvoima ( $V$ ) eli leikkauskestävyys 8,04 kN esiintyy ulkoseinän yläpuolella 700 mm palkin toisesta päästä. Kyseisen palkin kuormituslaskelma (liite 5/1) annetaan rakennuksen lopullisessa rakennusvalvonnan tarkastuksessa kunnan rakennustarkastajalle.

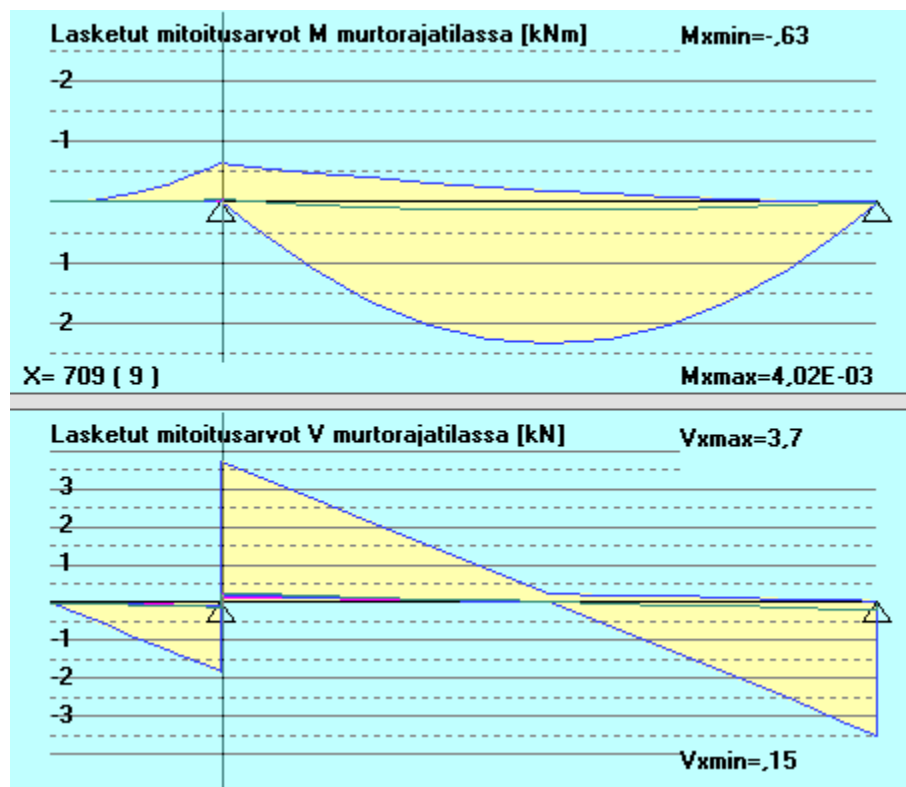


Kuva 69. Vesikaton kannatinpalkin rajatilamitoituksen kuvaajat.

### 7.6.3 Terassin kattopalkit

Liitteessä 5/2 näkyy terassin kattopalkkien C24 50x150 mm laskentatulokset graafisena ja numerotietoina PupaxX5-ohjelmasta tulostettuina. Palkkien jako on 600 mm keskeltä keskelle mitattuna. Palkit sijaitsevat terassin päällä pesuhuoneen ovesta tultaessa terassille suojaus- ulkotilassa. Sen vuoksi käyttöluokaksi on määritelty käyttöluokka 2 eli katos ja suojatut osat ulkona. Sallituksi taipumaksi on valittu  $L/200$  eli orret ja toisiopuut. Jänneväli 2700 mm jaettuna 200 mm, tulokseksi saadaan 13,6 mm, joka on taipuman sallittu raja-arvo. Palkilla toteutuu taipuma 9,9 mm, ja se on 73 % sallitusta raja-arvosta. Mikäli taipuma olisi enemmän kuin 100 %, silloin tulisi valita kattopalkiksi mitoiltaan korkeampi sahatavarapalkki.

Kattopalkin rajatilamitoituksen graafisesta kuvaajasta (kuva 70) voi todeta, että maksimi momentti ( $M$ ) eli taivutuskestävyys 2,3 kNm esiintyy palkin puolivälissä. Maksimileikkausvoima ( $V$ ) eli leikkauskestävyys 3,7 kN esiintyy terassin reunapalkin yläpuolella 700 mm palkin toisesta päästä. Kyseisen palkin kuormituslaskelma (liite 5/2) annetaan rakennuksen lopullisessa rakennusvalvonnan tarkastuksessa kunnan rakennustarkastajalle.



Kuva 70. Vesikaton kattopalkin rajatilamitoituksen kuvaajat.

## 8 RAKENNUKSEN ENERGIALASKELMAT JA MITTAUKSET

### 8.1 Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskenta

Rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviötä rajoitetaan hyvän energiatehokkuuden saavuttamiseksi. Rakennuksen laskennallinen lämpöhäviö saa olla enintään yhtä suuri kuin rakennukselle määritetty vertailulämpöhäviö. [2].

Rakennuksen lämpöhäviö on vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon yhteenlaskettu lämpöhäviö. Jonkin osatekijän (vaippa, vuotoilma, ilmanvaihto) vertailulämpöhäviötä suurempi lämpöhäviö edellyttää vähintään vastaavaa lämpöhäviön vähentämistä toisen osatekijän kohdalla. Lämpöhäviön määräystenmukaisuus osoitetaan tasauslaskelmalla. Laskennassa käytetään suunnitellun rakennuksen koko- ja geometriatietoja. Vaipan eri rakennusosien pinta-alat määritetään rakennuksen kokonaissämittojen mukaan. [2. ja 29.]

Lämpöhäviöiden tasauskohteet ovat:

- rakennusosien lämmönläpäisykertoimet (U-arvot)
- ikkunapinta-ala
- ilmanvuotoluku ja vuotoilmavirta
- ilmanvaihdon poistoilman lämmöntalteenoton (LTO) vuosihyötysuhde. [30.]

Mikäli ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla, käytetään lämpöhäviön laskennassa rakennuksen vuotoilmakertoimen arvoa  $q_{50}$  -luku =  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  [2].

Kohteelle suoritettiin ilmatiiviysmittaus, joten parempaa mitattua arvoa  $2,3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  voidaan käyttää tasauslaskennassa. Liitteessä 6 näkyy kohteen laskettu Lämpöhäviöiden tasauslaskelma, joka on laskettu rakentamisajankohtana voimassa olevilla vuoden 2010 vaatimuksilla. Se osoittaa, että rakennus täyttää määräyksen mukaisuuden ja lämpöhäviö vastaa matala-energiatasoa.

## 8.2 Energiatodistus

Rakennuslupaa haettaessa on hakemukseen liitettävä rakennuksen energiaselvitys. Energiaselvitys on päivitettävä ja pääsuunnittelijan on varmennettava se ennen rakennuksen käyttöönottoa. [2].

Energiaselvitys sisältää yleensä seuraavat tarkastelut:

- rakennuksen lämpöhäviön määräystenmukaisuus (tasauslaskenta)
- ilmanvaihtojärjestelmän ominaissähköteho osan RakMK D2 mukaan
- rakennuksen lämmitysteho (käyttöveden ja tilojen lämmitysjärjestelmä)
- arvio kesäaikaisesta huonelämpötilasta ja tarvittaessa jäähdytysteho
- energiankulutus
- rakennuksen energiatodistus. [2].

Energiatodistus on energiatodistuslain mukainen asiakirja, joka on esitettävä rakennusta rakennettaessa, myytäessä tai vuokrattaessa. Energiatodistus kertoo rakennuksen energiatehokkuuden verrattuna muihin vastaaviin rakennuksiin. Energiatehokkuusluku (ET-luku) saadaan, kun rakennuksen tarvitsema vuotuinen energiamäärä (kWh/a) jaetaan rakennuksen bruttopinta-alalla ( $\text{brm}^2$ ). [31.]

Energiatehokkuusluku sisältää rakennuksen tarvitseman vuotuisen lämmitys-, sähkö- ja jäähdytysenergiamäärän. Vanhassa energiatodistuksessa (2010) lämmitysmuoto ei vaikuta energiatodistuksen luokitukseen. Hyvän energiatodistuksen saa rakennus, jossa on hyvä vaipan lämmöneristys, ilmanpitävyys ja ilmanvaihdon lämmöntalteenotto. Energiatodistukset tehdään Jyväskylän säähän, joten todistukset ovat vertailtavissa koko Suomessa. [31.]

Liitteessä 7 näkyy kohteen laskettu Energiatodistus ja ET-luku. Se on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman D5/2007 ja Energiatodistusopas 2007/12.1.2009 mukaisesti.

Rakennuksen ET-luku on 165 kWh/brm<sup>2</sup>/vuosi (a), ja rakennus sijoittuu B-luokkaan. Jyväskylän tiedoilla laskettuna lämmitykseen käytetty ostoenergian määrä on 5073,7 kWh/a. Lämmityksen energian määrä muunnettuna Sotkamoon on 6443,6 kWh/a (kerroin 1,27). Bruttopinta-alaa kohden lämmitysenergian kulutukseksi tulee 60 kWh/(m<sup>2</sup>a), joten talo voidaan todeta matalaenergiataloksi määrittelytavoitteen ollessa 63,5 kWh/(m<sup>2</sup>a).

### 8.3 Toteutettu lämpökamerakuvaus

Lämpökamerakuvauksella etsitään ja tutkitaan rakenteiden vuotokohtia, joita ovat tyypillisesti rakennuksen ulkoseinän ja ylä- ja alapohjan väliset liitokset. Lisäksi vuotokohtia esiintyy yleisesti myös ikkunoiden ja ovien liitoksissa. Lämpökamerakuvausta käytetään ilmanvuotomittauksen lisäksi toisena laadunvalvonnan mittauksena erityisesti vuotokohtien ja kylmäsiltojen paljastamista varten. Kuvassa 71 näkyy laitteisto, jolla kuvaus tehtiin.



Kuva 71. Lämpökamerakuvauslaitteisto.

Liite 8 sisältää osan otetuista lämpökamerakuvista, ja kuvien sekä tulosten perusteella on tehty analysoinnit. Lämpökameran toiminta perustuu lämpösäteilyyn. Kuvissa tumman sininen alue ilmoittaa kylmän kohdan, keltainen väri on lämpötilan keskialueella ja punainen väri lähellä huonelämpötilaa +23 °C. Lämpökamerakuvaus toteutettiin 18.12.2012, ja olosuhteina

olivat ulkolämpötila  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sisälämpötila oli  $+23\text{ }^{\circ}\text{C}$  ja sisäilman suhteellinen kosteus (RH) 30 %.

Kuvien tuloksista havaitaan, että ilma- ja lämpövuotokohdat esiintyvät erityisesti ovien ja ikkunoiden liitoskohdissa. Rakennuksen ulkoseinän ja ylä- ja alapohjan väliset liitokset olivat tiiviitä.

#### 8.4 Toteutettu ilmatiiviysmittaus

Vaipan ilmanpitävyys varmistettiin mittaamalla kohteen ilmanvuotoluku painekokeella. Se on mahdollista suorittaa silloin, kun rakennuksen ulko-ovet ja ikkunat ovat asennettuina. Lisäksi tiiviyden määräävät asennukset ja saumaukset tulee olla tehtyinä. Mittausajankohdaksi kannattaa valita mahdollisimman kylmä ajanjakso, jolloin mahdolliset kylmävuodot saadaan samalla kuvatuiksi lämpökameralla.

Ennen varsinaisen painekokeen aloittamista suoritettiin muutamia toimenpiteitä. Laskettiin piirustuksista kohteen lattia-pinta-ala, ulkovaipan pinta-ala sisämitoilla sekä vastaava tilavuus. Lisäksi tehtiin tiivistykset mittausta edellisena päivänä. Ne toteutettiin sulkemalla ja tiivistämällä ilmanvaihtokoneen tulo- ja poistokanavat (kuva 72). Takan ja saunan hormien aukot ja pellit tiivistettiin teippaamalla aukkoihin muovit maalarinteipillä, samoin kuten liesituulettimen aukkoon (kuva 73). Lattiakaivojen ja lavuaarien vesilukot täytettiin vedellä.



Kuva 72. Tulokanavan tiivistys.



Kuva 73. Liesituulettimen tiivistys.

Rakennuksen ulko-oveen asennettiin tiiviisti puhallin, jonka avulla luotiin sisä- ja ulkoilman välille 50 Pa:n paine-ero. Lisäksi kytkettiin tietokonelaitteisto mittauksen suorittamista varten (kuva 74). Ilmastoinnin tuli olla suljettuna mittauksen aikana ja väliovet avattiin sisätilojen paineen tasaamiseksi.



Kuva 74. Ilmatiiveysmittauksen laitteet ja kalusto.

Ilmatiiveysmittaus toteutettiin 18.12.2012, ja olosuhteet olivat ulkona: lämpötila  $-17\text{ C}^\circ$ , kosteus 82 % ja tuuli 5 m/s, melkein pilvistä. Sisälämpötila oli  $+23\text{ C}^\circ$  ja kosteus 30 %. Liitteen 9 testiraportti osoittaa, että laskettu  $q_{50}$ -luku on  $2,3\text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$  eli hyvä.



## 9 KUSTANNUSARVIO/TOTEUTUNEET KUSTANNUKSET

Tehdyssä projektityössä *Esteettömän majoitusrakennuksen tilasuunnittelu* rakennuksen kustannukset laskettiin kahdella eri tavalla. Ensimmäinen laskentatapa oli tavoitehinnan määrittely Talonrakennuksen kustannustieto 2008-kirjan mukaisesti. Se muodostettiin huonetilaohjelman ja muiden tarveselvityksen ja hankesuunnitteluvaiheen tietojen ja tavoitteiden pohjalta. Tavoitehinnassa (liite 10) on otettu huomioon tila- ja hanketekijät tilaajan vaatimusten sekä tavallisten pohjaolosuhteiden mukaisesti. Laskennan neliöhintoina käytettiin ajankohdan 1/2008 hintatasoa ja hintaindeksiä 75. Rakennuksen tavoitehinnaksi muodostui arvonlisäverollinen hinta **215 486 €**.

Rakennusosa-arvion mukainen kustannusarvio on muodostettu Talonrakennuksen kustannustieto 2011 kirjan mukaisia mitoitus- ja hinnoitteluohteita noudattaen. Rakennusosa-arvio on muodostettu tehtyjen suunnitelmien, valittujen materiaalien ja teknisten ratkaisujen perusteella luonnosasteisista suunnitelmista. Rakennusosa-arvion muodostamista varten on luotu 10-sivuinen Excel-laskentaohjelman tiedosto, josta on koottu liitteen 11 mukainen tiivistetty kustannusten yhteenveto pääotsikoittain. Laskennan yksikköhintoina on käytetty alueen 5 (indeksi Muu suomi 65) hintatasoa 1/2010, ja lopullinen kustannusarvion arvonlisäverollinen hinta on **248 404 €**.

Liitteessä 12 näkyy talo 80 järjestelmän mukainen kustannusarvio, jossa on eritelty työ-, aine- ja alihankintakustannukset. Kustannukset on muodostettu 11-sivuisella Excel-laskentatiedostolla, jonka viimeinen sivu on yhteenveto. Kokonaiskustannusarvioksi on muodostunut arvonlisäverollinen hinta **215 385 €**. Laskennallinen työkustannusten hinta on **41 083 €**.

Toteutuneet kustannukset on kohdistettu Talonrakennuksen kustannustieto 2011 kirjan (Haahtela –Kehitys Oy) jaottelua käyttäen rakennustarvikkeiden ja alihankintatyön osalta. Rakennuksen rakentajana on toiminut työn tilaaja liikkeenharjoittaja Kauko Liuski. Toteutuneisiin kustannuksiin on lisätty talo 80 järjestelmän mukaisesti laskettu työkustannus 41 083 euroa. Toteutuneiden kustannusten jaottelu näkyy liitteessä 13.

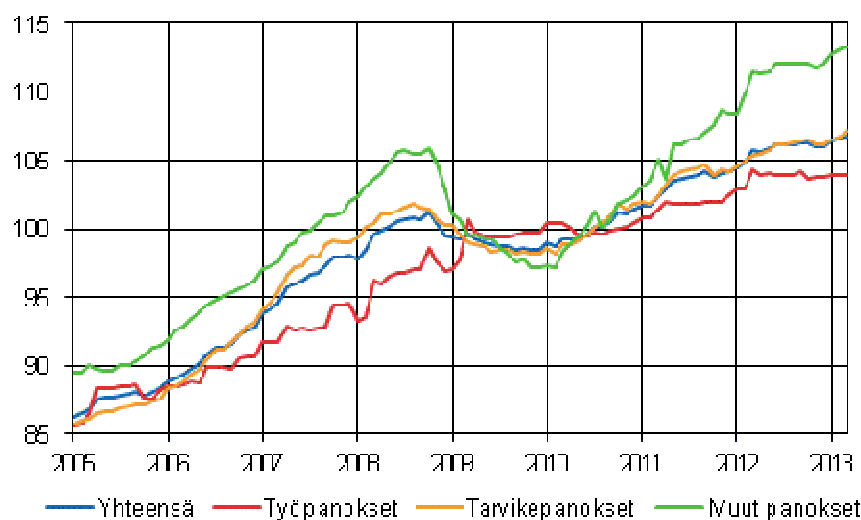
Taulukossa 4 on vertailtu toteutuneita kustannuksia eri kustannuslaskennan tavoilla muodostettuihin kustannusarvioihin. Vertailut on esitetty eroprosentteina toteutuneista kustannuksista.

Taulukko 4. Vertailu: kustannusarvio / toteutuneet kustannukset.

VERTAILU		Päivitetty: 13.4.2013	
TOTEUTUNEET KUSTANNUKSET / ERILAISET KUSTANNUSARVIOT			
Bruttoneliöt	108,5	Rakennustyö K.Liuski	
Laskentatapa	Hinta € alv sis.	Hinta € /brm <sup>2</sup>	ERO %
<b>Toteutuneet kust.</b>	<b>190 565</b>	<b>1 756</b>	<b>vertailuarvo</b>
Tavoitehintaa	215 486	1 986	13
Rakennusosa-arvio	248 404	2 289	30
Talo 80 järjestelmä	215 385	1 985	13

Taulukosta 4 huomataan, että rakennusosa-arviolla 1/2010 muodostettu kustannusarvio eroaa eniten toteutuneista kustannuksista. Toisin sanoen rakennusosa-arviolla lasketun kustannusarvion ja toteutuneiden kustannusten erotus on **57 839 €** (30 %) toteutuneita kustannuksia enemmän. Toteutuneista kustannuksista uupuu pääosin kaikki hanketehtävät, joita ovat suunnittelu- ja johtotehtävät. Kustannukset eivät myöskään sisällä riskivarausta, eikä kate-tuottoa.

Tavoitehintaa ja Talo 80-järjestelmä ovat lähimpänä toteutuneita kustannuksia (13 %). Tosin tavoitehintaa on muodostettu vuoden 2008 hintatasolla. Rakennuskustannusindeksi on muuttunut vuodesta 2008 vuoteen 2010 noin 7 % (kuva 75). Tällä hintamuutoksella laskettuna ero prosentiksi muodostuisi noin 21 %.



Kuva 75. Rakennuskustannusindeksi [35].

## 10 TULOSTEN ANALYSOINTI

Omakotitalon rakentamisessa tarvitaan yllättävän paljon erilaista tietoa, suunnitelmia ja laskelmia. Tähän työhön on koottu vain murto-osa niistä tiedosta, suunnitelmista ja laskelmista, joita on jouduttu hakemaan, käsittelemään ja luomaan projektin toteuttamisen aikana. Tässä työssä on pyritty tuomaan esille kohteen rakentamisen kannalta tärkeimmät ja kriittisimmät huomioon otettavat asiat.

Tavoitteena on ollut toteuttaa matalaenerginen pientalo, joka on rakennettu kiinnittämällä huomiota kokonaisvaltaiseen rakennuskonseptin energiatehokkuuteen. Tämä on saatu aikaan arkkitehtuurin sekä rakenne- ja talotekniikkajärjestelmien sekä huolellisen rakentamisen ja valvonnan yhteistoiminnan tuloksena. Matalaenergiarakennusten arkkitehti-, rakenne ja talotekniikkasuunnittelun keskeisenä periaatteena on ollut yksinkertaisuus ja varmatoimisuus. Talo on toteutettu etsimällä rakennushankkeen alussa määriteltyjen kustannus- ja laatu- tasotavoitteiden puitteissa optimaalinen energia- ja kustannustehokkuus.

Matalaenergiatalon rakentamisprojektin sekä talon elinkaaren aikana on pyritty/pyritään luonnonvarojen kulutuksen ja päästöjen vähentämiseen. Rakennussuunnittelun tasolla keskeisimmät ratkaisut rakennuksen materiaali- ja energiavirroista on tehty tilamitoituksessa, rakenne- sekä rakennuksen käyttöön ja taloteknisessä suunnittelussa. Rakennuksen sijoittamisessa tontille ja tilojen sijoittamisessa ilmansuuntiin nähden on huomioitu ilmaisen energian hyödyntäminen, ne vaikuttavat välittömästi energiankulutukseen ja käyttökustannuksiin. Talo muodostui mittasuhteiltaan ideaaliseksi (pääty-sivusuhte noin 2:3), on lähes suorakulmainen ja yksikerroksinen harjakattoinen asuinrakennus. Arkkitehtisuunnittelussa korostuvat julkisivuratkaisut sekä tilojen ja ikkunoiden suuntaus ilmansuuntiin nähden.

Matalaenergiatalon toteutuksen teknisessä mielessä korostuvat ensi sijassa rakennuksen vaipan ilmatiiviys, ulkovaipan lämmöneristävyys, matalaenergiaikkunat ja -ovet, kylmäsiltojen poistaminen, taloudellisen lämmityksen toteuttaminen sekä tarkasti ohjattu ja tehokkaalla lämmöntalteenotolla varustettu koneellinen tulo- ja poistoilmajärjestelmä. Nämä kaikki ominaisuudet ovat toteutuneet kohteessa.

Suunnitellut rakenteet ja lämpöhäviöiden taseuslaskenta osoittavat, että rakennus täyttää määräysten mukaisuuden ja lämpöhäviö vastaa matalaenergiatasoa. Lämmitykseen käytettävän energian määrä muunnettuna Sotkamoon se on 6443,6 kWh/a. Bruttopinta-alaa kohden lämmitysenergian kulutukseksi tulee 60 kWh/(m<sup>2</sup>a), joten talo voidaan todeta matalaenergiataloksi määrittelytavoitteen ollessa 63,5 kWh/(m<sup>2</sup>a). Lämpö- ja kosteustekniset tarkastelut osoittavat, että suunnitellut rakenteet ovat toimivia ja niihin ei tiivisty kosteutta.

Rakennuspohjan ja tonttialueen oikeanlaisen kuivatuksen toteutuksella ja kosteuseristyksellä estetään rakennuksen käytölle ja rakenteille aiheutuvat haitat ja vauriot. Lisäksi oikean korkeusaseman valinnalla ja sokkelin korkeudella torjutaan kosteusvaurioita. Nämä tavoitteet on saavutettu kohteessa.

Lämpökameran kuvien tuloksista havaitaan, että ilma- ja lämpövuotokohdat esiintyvät erityisesti ovien ja ikkunoiden liitoskohdissa. Rakennuksen ulkoseinän ja ylä- ja alapohjan väliset liitokset olivat tiiviitä. Tiiviitä olivat myös sähkörasioiden liitokset ulkoseinässä, koska ilmansulkua ei tarvinnut rikkoa asennuksia tehtäessä. Ilmansulun paikka ulkoseinässä sijaitsee 50 mm sisäpinnasta ulospäin.

Ilmatäiviys on yksi matalaenergiatalon tärkeimmistä ominaisuuksista. Ilmatäiveysmittauksessa saavutettiin q<sub>50</sub>-luku 2,3 m<sup>3</sup>/(h\*m<sup>2</sup>), jonka arvo Oulun rakennusvalvonnan taulukkoon verrattaessa on hyvä. Ilmatäiveysmittauksen tulos ei kuitenkaan vastaa matalaenergiarakennuksen tasoa. q<sub>50</sub>-luvun tulisi olla lämpöviihtyvyyden ja energiatehokkuuden kannalta 0,8–1,0 m<sup>3</sup>/(h\*m<sup>2</sup>).

Toteutuneet kustannukset olivat 13-30 % alhaisemmat kuin kustannusarvioilla lasketut kustannukset. Toteutuneista kustannuksista uupuu pääosin kaikki hanketehtävät, joita ovat suunnittelu- ja johtotehtävät. Toteutuneet kustannukset eivät myöskään sisällä riskivarausta eikä yrityksen katetuottoa.

Kokonaisuudessaan työn lopputulokset toteutuivat lähes kaikilta osin asetettujen tavoitteiden mukaisesti.

## 11 YHTEENVETO

Tätä insinööriötä on tehty hyvin pitkällä ajalla, noin kahden vuoden aikana. Työn tekemisen aikana on tullut seurattua rakentamisen kehittymistä. Tänä aikana rakentamisessa on tapahtunut huomattavia muutoksia matalaenergiarakentamisen kannalta, jonka rakentaminen on tänä päivänä enemmän sääntö kuin poikkeus. Monet Suomen rakentamismääräyskokoelman lait ovat uudistuneet ja RT-kortit ovat ajanmukaistuneet ja monipuolistuneet. Rakennusmateriaalit ovat kehittyneet rakentamisen vaatimusten mukaisesti. Esimerkkinä ilmatiiviyden tuotteet ovat kehittyneet merkittävästi. Myös rakennusvalvonta ohjeistaa nykyisin rakentajia aivan eri tavalla kuin aikaisemmin esimerkiksi ilmatiiviyden ja rakentamisen laadun kannalta. Oulun rakennusvalvonta on ollut ohjeistamisessa ja laaturakentamisessa hyvin pitkällä jo vuosia sitten. Se on toiminut tien näyttäjänä ja konsultoinut muita valvontatoimistoja. VTT on tehnyt tutkimuksia eristämisestä ja antanut uudet ohjeet rakennusten routaeristysten toteuttamiseen. Nämä kaikki kehitykset ovat vaikuttaneet ja vaikuttavat rakentamisen laadun kohoamiseen, rakennuksen elinkaaren pidentymiseen sekä energiansäästöihin.

Rakennusprojektin jakaminen projektityöhön ja insinööriötyöhön on vaikuttanut siihen, että työstä on tullut laaja-alainen, useita rakentamisen osa-alueita kattava kokonaisuus. Työn lopullisia tuloksia käsiteltäessä on huomattu, kuinka yhden osatekijän muuttuminen vaikuttaa monien muiden osatekijöiden tuloksiin. Rakentamisen osa-alueisiin on työn tekemisen aikana perehdytty hyvinkin syvällisesti ja perusteellisesti. Tekstiosuudet ja aiheiden käsittelyt on rajattu, tiivistetty ja jouduttu käsittelemään hyvinkin pintapuolisesti.

Työn tekemisessä on kiteytynyt ja yhdistynyt insinööriopintojen monipuolisuus. Osallistuminen Kuhmossa Woodpoliksessa järjestettyyn puurakentamisen koulutukseen on myös tukenut työn tekemistä. Insinööriötyön tekeminen pitkällä aikavälillä on kypsyttänyt opittuja asioita ja auttanut soveltamaan ja löytämään olennaisia asioita rakentamisesta.

Käytetyt lähdemateriaalit koostuvat uudisrakentamisen useilta eri osa-alueilta. Luetellut lähteet on rajattu kuitenkin rakentamisen kannalta kaikkein tärkeimpiin. Selostuksessa on pyritty tuomaan esille suunnittelun ja rakentamisen kriittisimmät kohdat, jottei työstä muodostuisi liian laajaa.

Toimiminen pääsuunnittelijana ja rakennustyön valvojana on antanut tekijälle uutta näkökulmaa rakentamisen toteutukseen. Rakennusprojektin käytännön toteutus valmiiksi on antanut työlle pelkän teorian käsittelyn lisäksi ulottuvuutta sekä työn tekijälle todellista kokemusta rakentamisen eri vaiheista rakennuspaikalla. Insinööriyön tekemisessä ovat auttaneet hyvien tukiverkoston ja ohjaajan lisäksi tekijän pitkä työkokemus rakennusalalla.

Tilajalle on ollut hyötyä valmiista arkkitehti- ja rakennesuunnitelmista, lujuus- ja energialaskelmista, rakennusluvan hakemisesta, valvontatyöstä, tarjouspyyntöjen tekemisistä ja hintavertailuista. Oikeiden materiaalien valinnasta ja uuden, ajantasaisen tiedon tuomisesta hankkeeseen on ollut myös apua tilajalle. Tilaja voi hyödyntää niitä myös tulevaisuudessa hänen toteuttaessaan työtään rakentajana. Lisäksi rakennettu kohde toimii yrityksen valmiin työn esittelijänä markkinointimielessä.

## LÄHTEET

- 1 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Matalaenergiarakentaminen : asuinrakennukset. Saarijärven Offset Oy, 2009.
- 2 Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. RakMK D3. Rakennusten energiatehokkuus. Määräykset ja ohjeet, 2010.
- 3 Häkkinen, Tarja. Ekotehokkaan rakennuksen suunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy, 1999.
- 4 Lappalainen, Markku. Energia- ja ekologiakäsikirja : suunnittelu ja rakentaminen. Tampere : Rakennustieto Oy, 2010.
- 5 Sarja, Asko. Uudis- ja korjausrakentamisen elinkaarilaatu ja elinkaaren raha ja luonnontalous. Oulu, 22.3.2010. [WWW-dokumentti]  
<http://ebookbrowse.com/ammattilaistapaaminen-oulu-22-03-2010-asko-sarja-pdf-d102322000>
- 6 Ympäristöministeriö. Maankäyttö- ja rakennusasetus 895/1999. 2010.
- 7 Ympäristöministeriö, Rakennetun ympäristön osasto. RakMK C3, Rakennusten lämmöneristys. Määräykset, 2010.
- 8 Rakennustieto Oy. Talotekniikkaa rakentajalle. Tampere: Tammer–Paino Oy, 2006.
- 9 Nieminen, Jyri. Matalaenergiarakentamisen tulevaisuuden näkymät. VTT, 2009.  
[WWW-dokumentti]  
[http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS\\_0\\_201\\_403\\_994\\_2095\\_43/http%3b/tekes-ali2%3b7087/publishedcontent/publish/programmes/yhdyskunta/documents/seminaarit/jyrinieminen.pdf](http://www.tekes.fi/fi/gateway/PTARGS_0_201_403_994_2095_43/http%3b/tekes-ali2%3b7087/publishedcontent/publish/programmes/yhdyskunta/documents/seminaarit/jyrinieminen.pdf)
- 10 Mustonen, Allan. Woodpolis –koulutus. Kuhmo, 10.5.2010.
- 11 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Rakennusten veden- ja kosteudeneristysohjeet. RIL 107-2000. Pikapaino Paatelainen Oy, 2004.



- 12 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Rakennuspohjan ja tonttialueen kuivaus. RIL 126-2009. Helsinki, Hansaprint, 2009.
- 13 Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. RakMK C2. Kosteus. Määräykset ja ohjeet, 1998.
- 14 Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. RakMK B3. Pohjarakenteet. Määräykset ja ohjeet, 2004.
- 15 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Pohjarakennusohjeet. RIL 121-2004. Yleisjäljennös – Painopörssi, 2004.
- 16 FISE. Ajankohtaista. [WWW-dokumentti]  
[http://www.fise.fi/default/www/suomi/ajankohtaista/rakentamismaaraysten\\_soveltaminen\\_eurokoodien\\_tultua\\_kayttoon/](http://www.fise.fi/default/www/suomi/ajankohtaista/rakentamismaaraysten_soveltaminen_eurokoodien_tultua_kayttoon/)
- 17 RIL. Kirjakauppa. Ohjeet ja normit. [WWW-dokumentti]  
[http://www.ril.fi/kirjakauppa/product/show/2/ohjeet-ja-normit/50/ril-205-2009-puurakenteiden-suunnitteluohje\\_-eurokoodi](http://www.ril.fi/kirjakauppa/product/show/2/ohjeet-ja-normit/50/ril-205-2009-puurakenteiden-suunnitteluohje_-eurokoodi)
- 18 PUUINFO. EC5 Sovelluslaskelmat –Asuinrakennus. [WWW-dokumentti]  
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/eurokoodit/ec5-sovelluslaskelmat-asuinrakennus>.
- 19 Eurokoodit. EN-standardit. 2011. [WWW-dokumentti]  
<http://www.metsta.fi/julkaisut/esitteet/eurokoodi.pdf>
- 20 Oulun rakennusvalvonta. Tiiveyskortti. 26.11.2008. [WWW-dokumentti]  
<http://oulu.ouka.fi/rakennusvalvonta/pdf/laatukortit/Tiiveyskortti-26112008.pdf>
- 21 Wood Focus Oy. Energiaa säästävä pientalo. Suunnitteluohje matalaenergiarakentamiseen. 2006. [WWW-dokumentti]  
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/energiaa-saastava-pientalo/energiaasaastavapientalo.pdf>
- 22 Rakentaja.fi. Maalämpöpumpun mitoitus ja valinta. 27.5.2011.[WWW-dokumentti]  
<http://www.rakentaja.fi/index.fr.aspx?s=/kuluttaja/Slapp/lampoassa3.htm>

- 23 VTT. Tutkimusraportti VTT-R-04026-11. Maanvastaisen alapohjan lämmöneristys. 27.5.2011. [WWW-dokumentti] [http://www.thermisol.fi/assets/files/Eriste\\_Tekniset%20tiedot/EPS-tutkimusraportti\\_alapohjan\\_eristys.pdf](http://www.thermisol.fi/assets/files/Eriste_Tekniset%20tiedot/EPS-tutkimusraportti_alapohjan_eristys.pdf)
- 24 VTT. Tutkimusraportti VTT-R-04025-11. Maanvastaisen alapohjan routasuojaus 27.5.2011. [WWW-dokumentti] [http://issuu.com/thermisol/docs/eps-tutkimusraportti\\_perustusten\\_routasuojaus](http://issuu.com/thermisol/docs/eps-tutkimusraportti_perustusten_routasuojaus)
- 25 Oulun rakennusvalvonta. Opastus. Rakennesuunnittelu. [WWW-dokumentti] <http://oulu.ouka.fi/rakennusvalvonta/oppaat/rsuunnittelu.htm>
- 26 Rakennustietosäätiö RTS. RT 85-10894. Jyrkät bitumikermikatot. 2007.
- 27 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Suunnitteluperusteet ja rakenteiden kuormat. RIL 201-1-2008. Hansaprint Oy, 2008.
- 28 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. Puurakenteiden suunnitteluohje. RIL 205-1-2007. Dark Oy, 2007.
- 29 Rakennustietosäätiö RTS. RT 08-10917. Rakennuksen lämpöhäviöiden tasauslaskenta. 2008.
- 30 Ympäristöministeriö. Tasauslaskentaopas 2010. [WWW-dokumentti] <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=120826&lan=en>
- 31 Saari, Mikko. Energiatodistuksen laatiminen. VTT, 11.9.2008. [WWW-dokumentti] <http://www.rakennusteollisuus.fi/energiailtaiva>
- 32 Ympäristöministeriö, Asunto- ja rakennusosasto. RakMK C4. Lämmöneristys. Ohjeet, 2004.
- 33 Rakennustietosäätiö RTS. RT 14-10850. Rakennuksen lämpökuvaus. 2005.
- 34 Haahtela –kehitys Oy. Talonrakennuksen kustannustieto. Tampere, 2011.
- 35 Tilastokeskus. Tilastot, hinnat ja kustannukset, rakennuskustannusindeksi. [WWW-dokumentti] [http://www.stat.fi/til/rki/2013/03/rki\\_2013\\_03\\_2013-04-15\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/rki/2013/03/rki_2013_03_2013-04-15_tie_001_fi.html)