



**TURUN AMMATTIKORKEAKOULU  
ÅBO YRKESHÖGSKOLA**

**Opinnäytetyö**

**PASSIIVITALON RAKENTAMINEN  
EPS-VALUHARKKOJA KÄYTTÄEN**

**Matti Isotalo**

**Rakennustekniikka**

**2009**

Turun ammattikorkeakoulu

Tekniikka, ympäristö ja talous

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Talonrakennustekniikka

Matti Isotalo

Opinnäytetyö

PASSIIVITALON RAKENTAMINEN EPS-VALUHARKKOJA KÄYTTÄEN

Hyväksytty

Turussa \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ 2009

Valvoja

\_\_\_\_\_  
Tekn.lis. Vesa Virtanen

Koulutuspäällikkö

\_\_\_\_\_  
Tekn.lis. Raimo Vierimaa

TURUN  
AMMATTIKORKEAKOULU

TIIVISTELMÄ

Rakennustekniikka	
Tekijä: Matti Isotalo	
Passiivitalon rakentaminen EPS-valuharkkoja käyttäen	
Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka	Ohjaaja: Tekn.lis. Vesa Virtanen
Opinnäytetyön valmistumisajankohta Toukokuu 2009	Sivumäärä 43 + liitteet 28 kpl
<p>Passiivitalo on energiaa säästävä kokonaisuus, jossa rakennuksen sijoitus, rakenteet sekä kehittynyt talotekniikka toimivat kaikki saumattomasti yhdessä hyvän lopputuloksen takaamiseksi. Opinnäytetyössä keskitytään passiivitalon perusajatuksen selvittämiseen ja esimerkkirakenteisiin EPS-valuharkkoa käytettäessä.</p> <p>Hyvää energiatehokkuutta tavoiteltaessa rakenteiden eristämiseen,ilmatiiveyteen ja kosteusteknisiin ominaisuuksiin pitää kiinnittää erityistä huomiota suunnittelussa sekä toteutuksessa. Lämmöneristekerroksia alapohjassa, seinissä ja yläpohjassa kasvatetaan, jotta rakennusosien U-arvoista saadaan mahdollisimman alhaiset. Ilmatiiviin vaipan avulla pystytään rakennus suojaamaan tuulen aiheuttamalta viilentäviltä ilmavirtauksilta. Rakenteen täytyy olla myös rakennusfysikaalisesti oikeaoppinen eli ulospäin harveneva. Vesihöyryn siirtyminen rakenteissa täytyy olla hallittua. Kastepiste ei saa muodostua tuulettumattomaan tilaan.</p> <p>Passiivitalon suunnittelua EPS-valuharkkoja runkomateriaalina käyttäen on havainnollistettu esmerkkirakenteiden avulla sekä tekemällä pientalokohteesta pääpiirustukset ja rakennepiirustukset.</p> <p>Mallikohde sijoittuu monimuotoiselle rinnetontille ja se on suunniteltu kahden eläkkeelle siirtyvän ihmisen tarpeita vastaavaksi. Rakennus on muodoltaan yksinkertainen ja koostuu yhdestä asuinkerroksesta sekä puolikkaan kerroksen kokoisesta kellarista. Talon ensimmäisessä kerroksessa on neljä huonetta ja keittiö sekä pesutilat. Pesutiloista löytyy sauna, suihku ja wc. Toisella puolella kerrosta sijaitsee vielä toinen erilinen wc. Kellari toimii varastona, harraste-tilana ja teknisenä tilana.</p>	
Hakusanat: passiivitalo, EPS-valuharkko, rakennussuunnittelu, rakennesuunnittelu	
Säilytyspaikka: Turun ammattikorkeakoulun kirjasto	

Degree Programme in Civil Engineering	
Author: Matti Isotalo	
Title: Building of passive house with EPS billets	
Specialization line: Structural Engineering	Instructor: Lic.Tech. Vesa Virtanen
Date May 2009	Total number of pages 43 + attaches 28 pieces
<p>The term passive house means an extremely low energy need in buildings. The objective is to minimize the energy need of buildings economically and produce a good microclimate in buildings. The heat loss of a passive house is so small that a normal heat distribution system will be unnecessary. The siting of the house, its structures and highly developed house technology all work together for a good result. In this thesis the focus was on understanding the main idea of passive house and showing some example structures with EPS billets.</p> <p>For energy efficiency the desinging and buildingwork need to be carried out very conscientiously. Insulation, air tightness, ventilation and humidity characteristics are all important issues and must be paid extra attention. The insulation layers are thicker and structures are designed and built without any cold bridges that would reduce heat insulation. By good air tightness it is possible to prevent cold wind from reaching the insulation and to control the humidity characteristics of the house.</p> <p>Passive house structures with EPS billets are demonstrated with some example pictures and by creating architectural and structural blueprints for a detached house. The house is sited on a hillside lot and is designed for two retired persons. The form of the house is simple and it contains one story and a half-story sized cellar.</p>	
Keywords: passive house, EPS-billet, architectural plan, structural plan	
Deposit at: library, Turku University of Applied Sciences	

# SISÄLTÖ

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>8</b>
<b>2</b>	<b>PASSIIVITALON AJATUS</b>	<b>9</b>
2.1	Mikä on passiivitalo?	9
2.2	Passiivitalon määritelmä	10
2.3	Eristeiden paksuus ja rakenteiden U-arvot	11
2.4	Rakennuksen sijoittaminen tontilla	12
2.5	Ilmatiiveys ja rakenteiden kosteus	12
2.6	Passiivitalon perustukset	13
2.7	Passiivitalon alapohjarakenne	14
2.8	Passiivitalon seinärakenne	15
2.9	Passiivitalon yläpohjarakenne	16
2.10	Passiivitalon ovet ja ikkunat	17
2.11	Passiivitalon lämmitys/jäähdytys	18
2.12	Passiivitalorakentamisen mahdolliset ongelmakohtat	18
<b>3</b>	<b>TIETOJA EPS-VALUHARKOSTA</b>	<b>19</b>
3.1	EPS-valuharkkorakentamisen historia	19
3.2	EPS-valuharkon valmistus	20
3.3	EPS-valuharkko rakenteena	23
3.4	EPS-valuharkon tekniset tiedot	25
3.5	EPS-valuharkon työtapa	27
3.6	Vastaavat harkkorakenteet	30
<b>4</b>	<b>RAKENNUSSUUNNITTELU</b>	<b>31</b>

4.1	Rakennussuunnittelun lähtökohdat	31
4.1.1	Rakennuspaikka	31
4.1.2	Suunnittelun tavoitteet	33
4.1.3	Tilasuunnitelma	34
4.2	Pääpiirustukset	34
4.2.1	Asemapiirustus	35
4.2.2	Pohjapiirustus	35
4.2.3	Leikkauspiirustus	36
4.2.4	Julkisivut	36
<b>5</b>	<b>RAKENNESUUNNITTELU</b>	<b>37</b>
5.1	Pohjatutkimus	37
5.2	Perustukset	37
5.3	Kantava runko	38
5.4	Välipohja	39
5.5	Vesikatto	39
5.6	Kuormitukset	40
<b>6</b>	<b>YHTEENVETO</b>	<b>41</b>
	<b>LÄHTEET</b>	<b>42</b>
	<b>LIITTEET</b>	
	Liite 1: Pääpiirustukset	
	Liite 2: Rakennepiirustukset	
	Liite 3: Dof-lämpötulosteet	
	Liite 4: Rakennelaskelmat	
	Liite 5: EPS-harkon vesihöyrynläpäisyn määrittäminen	
	Liite 6: StyroChem palamattomuustodistus	

## **KUVAT**

Kuva 1: Anturan esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen

Kuva 2: Alapohjan esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen

Kuva 3: Seinän esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen

Kuva 4: Yläpohjan esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen

Kuva 5: Esimerkkirakenne lämpökatkaisun toteuttamisessa

Kuva 6: Raaka-ainetta tehtaalla

Kuva 7: Harkkojen valmistuskone

Kuva 8: Eristeharkot kuivumislinjalla

Kuva 9: Valmiit eristeharkot pakattu lavan päälle

Kuva 10: 350millimetriä leveä EPS-valuharkko sivulta katsottuna

Kuva 11: 350 millimetriä leveä EPS-valuharkko päältä katsottuna

Kuva 12: Puuverhouksen kiinnitys EPS-valuharkon ulkopintaan

Kuva 13: Malander 2009. Valmis EPS-valuharkkorunko [23.1.2009]

Kuva 14: Malander 2009. Ikkunoiden ja ovien tuentamalli [23.1.2009]

Kuva 15: Malander 2009. Ikkunan ympärillä pilari- ja palkkirauditus [23.1.2009]

Kuva 16: Isorast 2009. Erikokoisia EPS-valuharkkoja [23.1.2009]

Kuva 17: Turku 2009. Opaskartta, Paimio, Hanhijoentie 3 [5.3.2009]

Kuva 18: Turku 2009. Ilmakuva, Paimio, Hanhijoentie 3 [5.3.2009]

Kuva 19: Näkymä rakennuspaikalle lounaasta

## **KUVIOT**

Kuvio 1: Passivhaus Institut 2009. Eurooppalainen passiivitalostandardi [20.1.2009]

## **TAULUKOT**

Taulukko 1: Rakennusosien U-arvoja. Powerpoint-esitys Jyri Nieminen 2008 [20.1.2009]

Taulukko 2: Ylä- ja välipohjan kuormat

Taulukko 3: Ontelolattojen kannatuspalkin kuormat

Taulukko 4: Kellarin pilarin kuormat

Taulukko 5: Suunnitellut ja vaaditut U-arvot

# 1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyö sai alkunsa omasta kiinnostuksestani tutustua eri mahdollisuuksiin toteuttaa passiivitalo. Passiivitalo on tällä hetkellä varsin ajankohtainen rakennusteollisuudessa, koska maailmalla olevat energiatalokoot kiristävät rakennusten energialuokkavaatimuksia kovalla kädellä ja nopeasti. Liian nopea muutos voi aiheuttaa paljon ongelmia tulevaisuudessa, jos asioita ei tehdä huolellisesti miettien. Kaikki kosteustekniset tilanteet tulee huomioida jo suunnittelussa, ja rakenteiden tekotapaan tulee kiinnittää erityistä huomiota.

Monille entuudestaan tuttuja rakennusmateriaaleja ovat sahatavara, betoni- ja kiviharkot sekä reikätiilet. Hieman vähemmän tunnettu ratkaisu on EPS-valuharkko, jota tarkastelen opinnäytetyössäni tarkemmin. EPS-valuharkot ovat paisutetusta polystyreenistä valmistettuja harkkoja, joissa on EPS-seinämien keskellä 140 millimetrin tila betonivalua varten. Näin saadaan pientalon kantaviksi rakenteiksi teräsbetoniseinät, joissa ei ole kylmäsiltoja. Erityisesti minua kiinnosti eristeharkkojen keveys, helppo työstäminen ja tarvittavien työvaiheiden vähyys. Kun seinä toteutetaan EPS-valuharkkojen avulla, yhtä materiaalia käyttäen, saadaan vähennettyä riskiä kastepisteen muodostumisesta seinärakenteessa. Tämä ongelma saattaa tulla vastaan villaeristyksellä toteutettavissa passiivitaloissa, joissa tarvitaan muun muassa erillinen höyrynsulku ja tuulensuojalevytyks. Useammat työvaiheet ja materiaalit mahdollistavat helpommin virheiden syntymisen. Saadakseni lisää tietoa kyseisen harkon valmistuksesta ja toimivuudesta rakenteena kävin haastattelemassa alan ammattilaisia, jotka ovat olleet tekemisissä kyseisen eristeharkon kanssa jo kymmeniä vuosia.

Opinnäytetyössä on tarkoitus kertoa yleistietoa passiivitalo-käsitteestä ja eristeharkosta sekä pohtia eristeharkkoa passiivitalon rakennusmateriaalina. Omien havaintojeni mukaan EPS-valuharkkojen avulla on mahdollista rakentaa passiivitalo Suomessa. Täytyy toki muistaa, että passiivitaloon kuuluu paljon muutakin kuin perustukset, seinärunko ja katto. Se on kokonaisvaltainen ajattelutapa, jonka tarkoituksena on säästää energiaa ja luontoa.



## 2 PASSIIVITALON AJATUS

### 2.1 Mikä on passiivitalo?

Passiivitalorakentaminen rakennusmuotona on varsin nuori. Kaikki alkoi 1990-luvun alussa Saksassa, kun arkkitehti Michael Gies ja biologi Jörg Lange saivat idean kustannustehokkaasta ja energiaoptimoidusta talosta. Suhteellisen lyhyellä aikavälillä mukana oli jo joukko muita ideasta kiinnostuneita. (Passivhaus-vauban 2009 [20.1.2009].) Tästä alkoi passiivitalojen järjestelmällinen kehittäminen, ja nyt Saksassa on toteutuneita kohteita jo lähes 10 000. Itävalta on tietotaidoiltaan tällä hetkellä edellä muita maita. (Ali-Kovero Rauno 25.1.2009, henkilökohtainen tiedonanto.)

Passiivitalo on energiaa säästävän talon malliratkaisu. Kyseinen talo on optimoitu säästämään energiaa ja luontoa. Energiansäästö perustuu yksinkertaiseen energiansäästöteknologiaan: lämpöhäviöiden pienentämiseen lämmöneristämisen, rakenteiden ilmanpitävyyden ja ilmanvaihdon lämmön talteenoton avulla. Materiaalien ja komponenttien toimivuuteen sekä sisäilmastoon kiinnitetään paljon huomiota (Nieminen Jyri 2008, passiivitalon energiansäästö, powerpoint-esitys [20.1.2009].) ”Passiiviselle talolle on asetettu energiantarpeen tavoite. Sen sijaan keinoja, joilla tämä tavoite saavutetaan, ei ole millään tavalla rajattu. Energiantarpeen tavoitearvo ei myöskään rajoita lämmitystapoja. Mutta koska energiantarve on varsin pieni, tavanomaiset ratkaisut ovat yleensä liian järeitä.” (VTT 2009a [15.1.2009].)

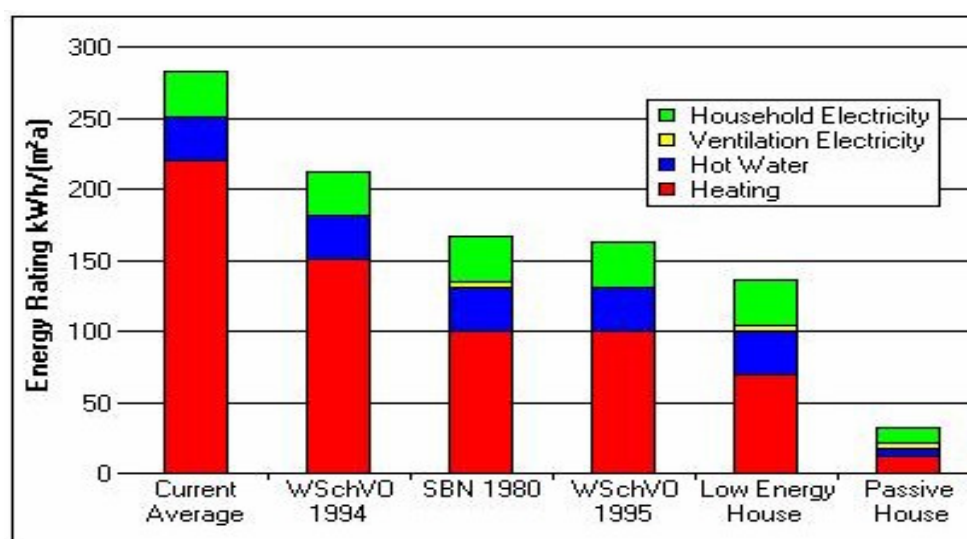
Hyvin eristetty talo voi käyttää hyödyksi myös ikkunoiden kautta saatavaa auringon energiaa ja kodinkoneista ja laitteista syntyvää lämpöä. Energiatohokkuuden tavoitteena on hyvä ja terveellinen sisäilmasto. Hyvästä energiatohokkuudesta johtuen talossa ei tarvita perinteisiä lämmönjakojärjestelmiä, kuten lattialämmitystä tai radiaattoreita. Passiivitalon etuja ovat asunnon lämpötilan pienet vaihtelut ja selvästi parempi lämpöviihtyvyys (VTT 2009 [20.1.2009]). Kun sisäilma on ulkovaipan ilmanpitävyydestä johtuen vedoton, on myös lämpöviihtyvyys silloin hyvä. Kuitenkin talossa on hyvä ja raikas sisäilma. (VTT 2009b [15.1.2009]).

”Kun talon energiankulutus on pieni, ei tavanomaisia lämmönjakojärjestelmiä välttämättä tarvita. Rakentaja voi valita ilmanvaihtolämmityksen, jolla lämpö tuodaan huonetiloihin ilmanvaihdon tuloilman avulla. Siten lämmitysjärjestelmän kustannussäästöt voivat osittain korvata energiatehokkaan rakennuksen lämmöneristämisestä aiheutuvia lisäkustannuksia.” (VTT 2009b [15.1.2009]).

”Passiivitalo tarvitsee energiaa tilojen lämmittämiseen neljänneksen nykyisten uusien talojen kulutuksesta, eli 20 kWh neliometriä kohden Etelä-Suomessa ja 30 kWh/m<sup>2</sup> Lapissa. Siten 150 m<sup>2</sup> talon lämmittämiseen kuluu Etelä-Suomessa korkeintaan 3750 kWh energiaa vuodessa. Kuluttajasähkön hinnalla 0,08 €/kWh vuotuiset huonetilojen lämmityskulut ovat 300 €. Vastaavalla tavanomaisella rakentamismääräysten mukaisella talolla lämpölasku olisi noin 1200 € vuodessa.” (VTT 2009a [15.1.2009]).

## 2.2 Passiivitalon määritelmä

Passiivitalolle on määritelty erilaisia ilmastoja varten energiatarpeen rajat. Pohjoismaissa 60 leveysasteen pohjoispuolella lämmitysenergia tarve on perusmääritelmän mukaan 20 – 30 kWh/m<sup>2</sup> rakennuksen sijainnista riippuen. Primäärienergian tarve määritellään 120 – 140 kWh/m<sup>2</sup>. Kaikissa ilmastoissa ilmanvuotoluku  $n_{50}$  pitää olla vähemmän kuin 0,6 1/h. (VTT 2009c [15.1.2009].)



Kuvio 1. Eurooppalainen passiivitalostandardi (Passiv Haus Institut 2009 [20.1.2009]).

### 2.3 Eristeiden paksuus ja rakenteiden U-arvot

Passiivitalo voidaan rakentaa erityyppisiä rakennusmateriaaleja käyttämällä. Tällä hetkellä saatavilla olevia vaihtoehtoja ovat erilaiset villa-, solumuovi- ja uretaanieristeet. Tarvittavan eristemäärän paksuus riippuu käytettävän materiaalien lambda-arvoista ja haluttavasta rakenteen u-arvosta. Lambda-arvo kertoo materiaalin lämmönjohtavuuden eli sen, miten suuri lämpömäärä johtuu tunnin kuluessa neliömetrin laajuisen ja metrin paksuisen materiaalin läpi, kun pintojen välinen lämpötilaero on yhden yksikön suuruinen. Mitä pienempi lambda-arvo materiaalilla on, sitä parempi eristyskyky sillä on. Lambda-arvon yksikkö on  $W/m^2K$ . (Eristämisen pikkujätti 2007,33 [20.1.2009].)

U-arvo on lämmönläpäisykerroin. Se ilmoittaa lämpövirran tiheyden, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yhden yksikön suuruinen. Lämmönläpäisykerroin kuvaa, miten paljon tehoa tarvitaan pinta-alaa kohti, jotta saavutettaisiin tietty lämpötilaero eristerakenteen yli. Lämmönläpäisykerroimen tarkoituksena on kuvata rakennuksen eri rakennusosien lämmöneristyskykyä. Mitä pienempi U-arvo, sitä parempi lämmöneristys. (Eristämisen pikkujätti 2007,33 [20.1.2009].) Rakenteen lopullinen U-arvo koostuu summasta, johon vaikuttaa kaikki rakenteessa käytettävien materiaalien paksuuksien ja lämmönjohtavuusarvojen suhde, pintavastukset ja rakenteen kylmäsillat. U-arvon yksikkö on  $W/Km^2$ .

Taulukko 1. Rakennusosien U-arvoja (Nieminen Jyri 2008 [20.1.2009]).

Suuntaa-antavia U-arvoja	
Rakenne	$W/Km^2$
Tuuletettu alapohja	$U < 0,15$
Maanvarainen alapohja	$0,1 < U < 0,15$
Ulkoseinä	$U < 0,15$
Yläpohja	$U < 0,08$
Ikkuna	$U < 0,8$
Ovi	$U < 0,4$
Kylmäsillat	Lineaarinen konduktanssi $\varphi < 0,01$

## 2.4 Rakennuksen sijoittaminen tontilla

Aurinkoenergian hyötykäyttö on olennainen tekijä passiivitalon suunnittelussa. Passiivitalo-tekniikka näkyy rakennuksessa lähinnä kompaktina muotona ja ikkunoiden suuntauksessa. Suuret ikkunat tulee suunnata etelää kohti, jotta saavutetaan rakennuksen kannalta edullinen pienilmasto ja voidaan kerätä mahdollisimman paljon auringon lämpöä. (Ali-Kovero Rauno 25.1.2009, henkilökohtainen tiedonanto.)

## 2.5 Ilmatiiveys ja rakenteiden kosteus

Passiivitalon ilmavuotoluku  $n_{50}$  saa olla korkeintaan 0,6 1/h. Tämä asettaa talon rakenneratkaisuille ja työn tarkkuudelle tarkat rajat. Pääperiaatteena rakenteeseen tulee kauttaaltaan muodostaa häiriintymätön ilmatiivis ”tasku”, jolla voidaan estää kaikki hallitsemattomat ilmavirtaukset rakennuksessa. Ensisijaisen tärkeäksi korkea ilmatiiveyttä tavoiteltaessa tulee oikeiden materiaalien käyttö ja oikein tehtävät saumojen tiivistykset. Vaadittu ilmatiiveysraja on mahdollista saavuttaa kaikilla käytössä olevilla materiaaleilla. Puu, betoni ja teräs voivat kaikki olla passiivitalon rakennusmateriaaleja. (Passivhaustagung 2009 [20.1.2009].)

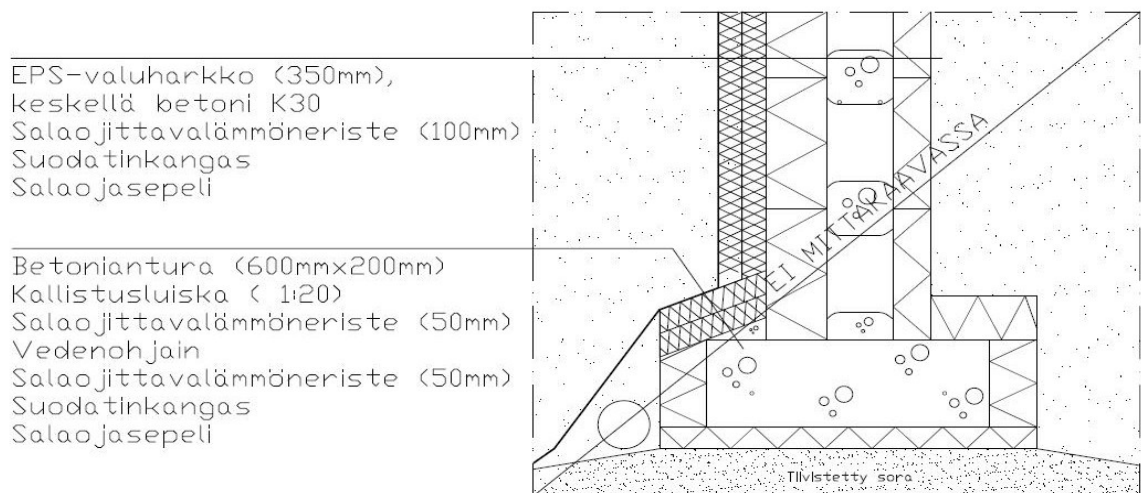
Erittäin ilmatiivistä rakennetta toteuttaessa täytyy ehdottomasti kiinnittää suurta tarkkuutta kosteuden muodostumiseen jo suunnitteluvaiheessa. Kosteus pitää olla koko ajan hallittavissa ja ohjattavissa pois rakenteista. Tätä toimintaa varten passiivitalossa täytyy toteuttaa koneellisesti hallittava ilmanvaihto. Rakentamisvaiheessa pitää kiinnittää huomiota siihen, että rakenteeseen ei jää sellaisia kohtia, joihin kosteus voi tiivistyä aiheuttaen ajan kuluessa ongelmia. Rakenteet täytyy tehdä oikeaoppisesti niin, että ne ovat sisäpinnaltaan mahdollisimman tiiviitä ja harvenevat ulospäin. ( Malander 2009 [20.1.2009].)

## 2.6 Passiivitalon perustukset

Perustuksia suunnitellessa pitää muistaa, että passiivitalon perustuksista ei johdu maaperään yhtä paljoa lämpöenergiaa kuin tämänhetkiset energiavaatimukset täyttävien pientalojen perustuksista. Tämä saavutetaan eristämällä perustusantura alapuolen lisäksi myös kaikilta sivuilta. Eristämällä antura kaikkialta saadaan maaperän kylmyys katkaistua jo ennen ensimmäistäkään kosketusta betoniin. Ehkäisemällä kylmäsiltojen syntyminen voidaan rakennuksen energiataloutta parantaa suuresti.

Routasuojaus on erittäin tärkeä osa rakennuksen perustusta. Sen avulla varmistetaan, että rakennus ei vuosien saatossa kallistu tai muulla tavoin liiku. Suojauksen tarkoituksena on estää routaliike, joka syntyy maaperän jäätymisestä rakennuksen alla. Koska maaperään ei johdu lämpöenergiaa, pitää routaeristyksen olla tehokkaampaa ja ulottua pidemmälle rakennuksen ulkorajoista. Esimerkkirakenteessa antura on routarajan alapuolella.

Esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen:  
Rauditus rakennesuunnittelun mukaan.



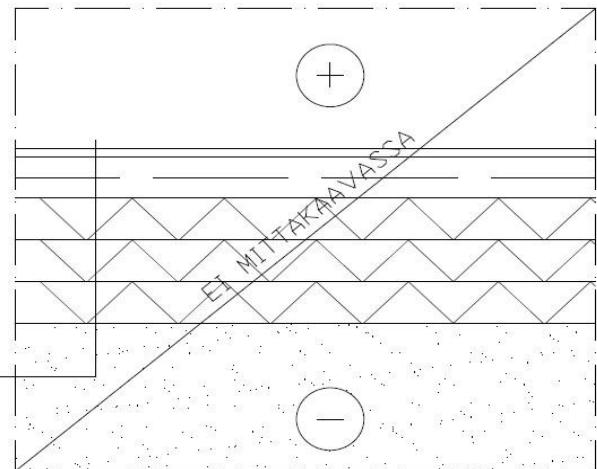
Kuva 1. Anturan esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen

## 2.7 Passiivitalon alapohjarakenne

Alapohjassa tulee käyttää reiluja eristepaksuuksia, jotta lämmönjohtuminen maaperään saadaan minimoitua. Kaikki lämpöenergia, joka ei johdu alapohjan kautta maaperään, vähentää rakennuksen lämmöntarvetta. Alapohjarakenne voidaan toteuttaa eri tilanteissa eri tavoilla. Mahdollisia ratkaisuja ovat esimerkiksi maanvarainen alapohja tai tuulettuva alapohja. Alapohjaa toteutettaessa tarvittavat läpiviennit kannattaa tuoda kaikki samasta kohtaa ja tiivistää tarkasti, jotta rakenteen pintaan ei aiheudu ylimääräisiä kulkureittejä ilmalle. Jotta rakennuksen vaippa saadaan pidettyä koskemattomana, putkitukset ja johdotukset kannattaa tuoda haluttuun kohtaan anturan alapuolelta kiertäen.

Esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen:  
Rauditus rakennesuunnittelun mukaan,  
U-arvo: 0,098 W/M<sup>2</sup>K

Pintamateriaali/ -käsittely  
Teräsbetonilaatta (100mm) ja  
raudoitusverkko Ø5#150  
Eriste LattiaEPS (3x100mm)  
Tiivistetty salaojasepeli  
Perusmaa, kallistus salaojiin



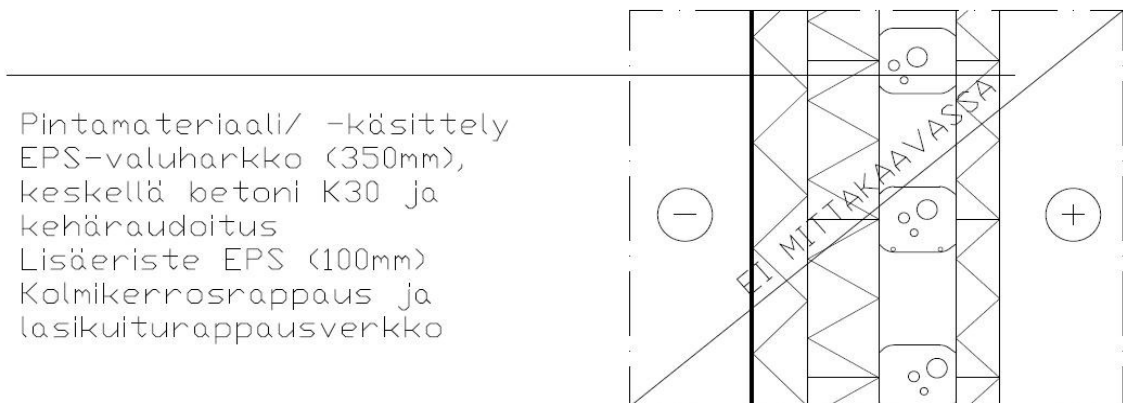
Kuva 2. Alapohjan esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen

## 2.8 Passiivitalon seinärakenne

Seinärakenteen tulee olla mahdollisimman tiivis ja kylmäsiltoja on yritettävä välttää. Puurakenteisissa seinissä putkitukset ja johdotukset kannattaa tehdä höyrynsulkumuovin sisäpuolelle lisäkoolauksen avulla, jotta höyrynsulkumuoviin ei aiheudu reittejä ilmavirtauksille. Harkkorakenteisiin seiniin putkien ja johtojen tarvitsemat reitit voidaan roilottaa erilaisilla markkinoilla olevilla koneilla.

Kosteuden siirtyminen seinärakenteessa on otettava tarkasti huomioon. Rakenteessa ei saa olla sellaisia pintoja ja paikkoja, joihin lämpimästä tilasta siirtyvä vesihöyry voi tiivistyä ennen kunnollista tuuletusta. Rakennusvaiheessa muodostuneet pienet reiät höyrynsulkumuovissa täytyy tiivistää, että voidaan estää vesihöyryn tiivistyminen rakenteen keskellä. Mitä useampia materiaaleja sekä työvaiheita seinän toteutuksessa käytetään, sitä suurempi riski seinärakenteen epäonnistumisella on.

Esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen:  
Rauditus rakennesuunnittelun mukaan.  
U-arvo: 0,103 W/M<sup>2</sup>K

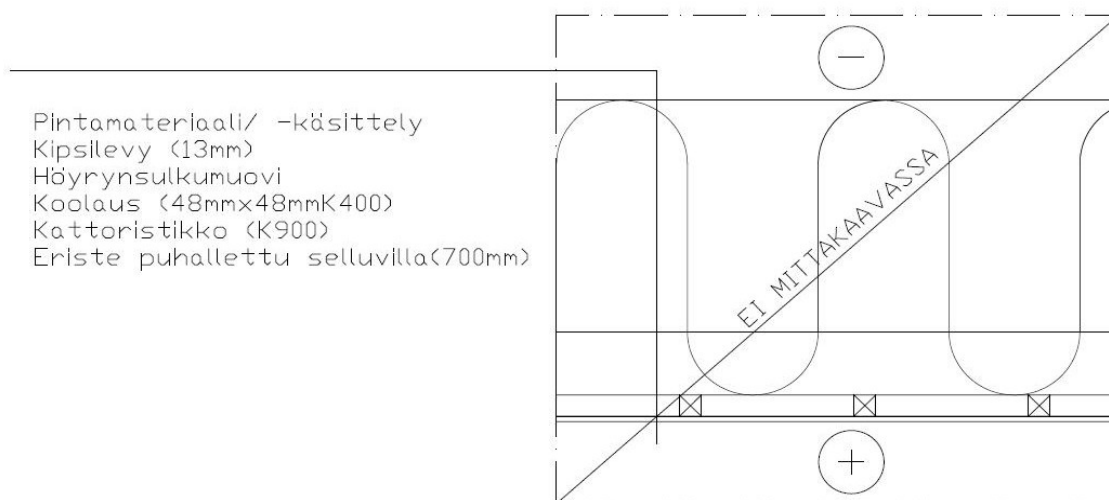


Kuva 3. Seinän esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen

## 2.9 Passiivitalon yläpohjarakenne

Lämmin huoneilma nousee ylös ja jäädyttää samalla taloa. Tämän ilmiön takia passiivitalon yläpohjarakenteen tulee olla tiivis ja riittävän U-arvon omaava. Näin lämpöhäviö jää mahdollisimman pieneksi ja rakenteessa saadaan säilytettyä riittävä ilmatiiveys. Seinien ja katon välinen höyrynsulun limitys tulee tehdä tarkasti ja tiiviisti, jotta ilmalle ei jää hallitsemattomia kulkureittejä. Yläpohjarakenne voidaan toteuttaa joko tuulettuvana tai suljettuna rakenteena. Tuulettuva yläpohjarakenne on hieman kylmempi, mutta varmasti toimiva ratkaisu. Suljettua yläpohjarakennetta toteuttaessa on oltava varma materiaalien käyttöominaisuuksista ja oikeasta rakennustavasta, jotta vältetään kosteus- ja homeongelmat. Aluskatteessa tulee olla diffuusioavoin vedenpitävä kalvo, jotta tiivistyvä vesihöyry muodostaa kastepisteen vasta aluskatteen yläpuolelle. (RT N-36692.)

Esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen  
Rauditus rakennesuunnittelun mukaan.  
U-arvo: 0,056 W/M<sup>2</sup>K



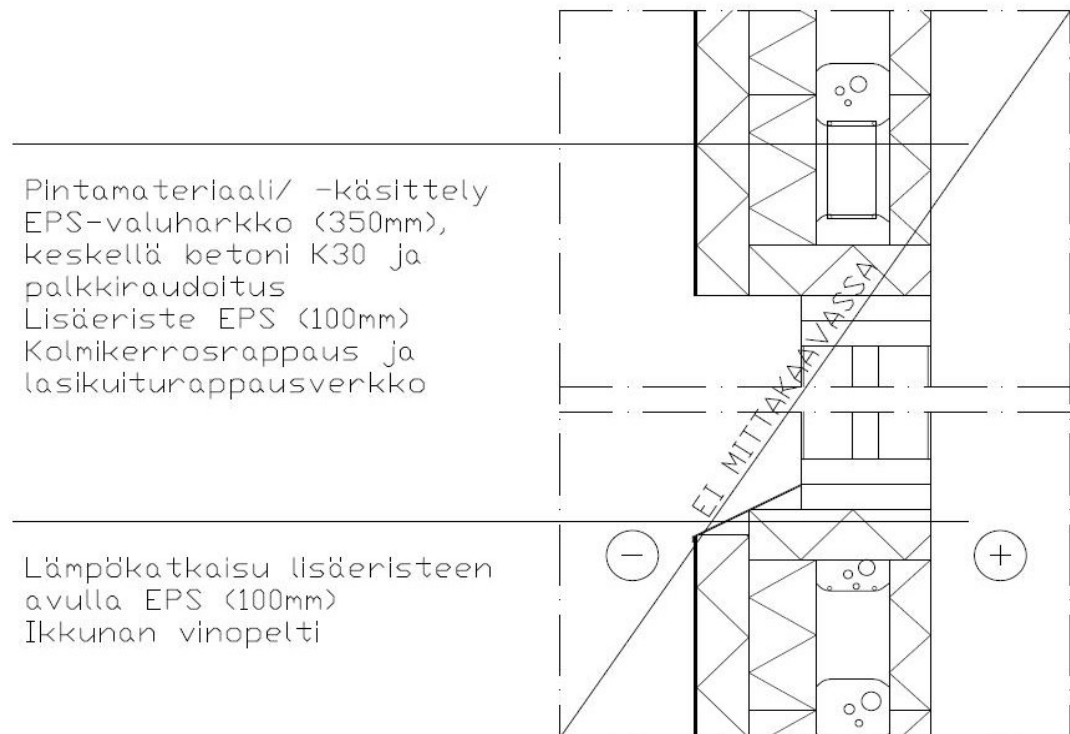
Kuva 4. Yläpohjan esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen



## 2.10 Passiivitalon ovet ja ikkunat

Suomessa tällä hetkellä markkinoilla olevat ovet ja ikkunat riittävät passiivitalon arvoihin kunhan niiden asennus toteutetaan oikein, aiheuttamatta turhia kylmäsiltoja. Esimerkiksi Skaalan A-energialuokan alfa-ikkunoiden U-arvo on  $0,77 \text{ Wm}^2\text{K}$  ja ilmatiiveydeksi ilmoitetaan  $0,15 \text{ l/h}$ . Vakiolasituksena käytetään kolme lasista eristyslementtiä, jossa sisin ja uloin lasi ovat selektiivilaseja. Lisäksi eristyslementin välitilassa on argonia, joka vähentää lämmönjohtumista rakenteen läpi. (Skaala [4.2.2009].)

Esimerkkirakenne EPS-valuharkkoa käyttäen:  
Rauditus rakennesuunnittelun mukaan.



Kuva 5. Esimerkkirakenne lämpökatkaisun toteuttamisessa

Ovien suhteen Skaala saavuttaa tarvittavan U-arvon ja ilmatiiveyden yksilökohtaisen eristyksen avulla. Suurin haaste passiivitalon kohdalla onkin asennus. Asennussuunnitelmassa pitää ottaa huomioon lämmön johtuminen ikkunoiden ja ovien rungon kautta sekä tarvittavat lämpökatkot, ja lisätiivistyksen normaalin kiinnitystavan lisäksi on hyvä muistaa jo suunnitellessa taloa.

## 2.11 Passiivitalon lämmitys/jäähdytys

Passiivitalon periaate on, että tilojen lämmittämiseen kuluisi mahdollisimman vähän energiaa. Pienen lämmöntarpeen johdosta erillistä lämmitysjärjestelmää ei tarvita. Vähäistä lämmitys- ja jäähdytysenergiantarvetta voidaan entisestään pienentää käyttämällä maalämmönsiirrintä koneellisen tulo- ja poistoilmajärjestelmän yhteydessä. Maalämmönsiirtimeen avulla voidaan hyödyntää maapohjan lämmönvarastoimiskykyä. Kesällä sisään otettava ilma viilenee ja talvella ilma vastaavasti lämpenee kulkiessaan maan sisällä. (Rehau 2008 [4.2.2009].)

Passiivitalo tarvitsee koneellisen ilmanvaihtojärjestelmän, jotta tulo- ja poistoilman siirtyminen sekä ilman kosteuspitoisuus ovat helposti hallittavissa. Koneellisen ilmanvaihdon yhteyteen täytyy liittää ehdottomasti lämmöntalteenotto. Näin saadaan kylmänä vuodenaikana kerättyä lämpimästä poistoilmasta vielä kaikki mahdollinen hyöty, ja lämpöenergiaa menee mahdollisimman vähän hukkaan. Tarvittava lämmitys voidaan toteuttaa tuloilmaputken eteen sijoitettavien sähkövastusten avulla. Kosteissa tiloissa, kuten kylpyhuoneessa, kannattaa käyttää lattialämmitystä, jotta huoneen suhteellinen kosteus ei jää pitkäksi aikaa korkeaksi peseytymisen jälkeen. Käyttöveden lämmitys on mahdollista toteuttaa monella eri tavalla. Vaihtoehtoja ovat muun muassa aurinkoenergia, erilaiset lämpöpumput ja sähkövastukset.

## 2.12 Passiivitalorakentamisen mahdolliset ongelmakohdat

Passiivitalojen taival Suomessa on vasta alussa, ja tästä syystä monen kymmenen vuoden käytännön kokemusta eri ratkaisuista ei ole. Passiivitalon tiiveys asettaa rakennukselle erittäin tarkat rakennusfysikaaliset vaatimukset. Pitää ottaa huomioon kastepisteen muodostuminen rakenteessa ja siitä seuraavat ongelmat, kun rakenne ulospäin mentäessä kylmenee. Eriyisen suureen merkitykseen passiivitalossa nousee höyrynsulkumuovi. Sen yhtenäisyys ja saumojen limitykset ovat tärkeitä asioita. Mahdollisten kosteusongelmien lisäksi näin nuorena rakenneratkaisussa on vielä paljon kysymysmerkkejä. Muita pohtimisen arvoisia asioita ovat esimerkiksi liian massiiviset lämpöävaraavat rakenteet, kuten paksut ala- ja välipohjat, sekä miten toimii täysin lämpöä vaille jäävä rakenteen ulkopinta nykyiseen verrattuna.

### 3 TIETOJA EPS-VALUHARKOSTA

#### 3.1 EPS-valuharkkorakentamisen historia

EPS (=expanded polystyrene) -valuharkkorakentaminen on saanut alkunsa 1970-luvun alussa. Keski-Euroopassa ja Yhdysvalloissa on jo useiden vuosikymmenten kokemukset harkon käyttämisestä talonrakentamisessa. Varma kirjallinen tieto vuodelta 1973, jolloin saksalainen ISORAST GmbH on aloittanut harkon sarjatuotannon (RTT Rakennusteollisuus RY 1997,7.) Harkkorakentaminen on vakiinnuttanut paikkansa rakennusteollisuudessa ympäri maailman. EPS-valuharkkojen avulla voidaan rakentaa muun muassa kerrostaloja. Kiinassa, Ruotsissa ja Norjassa on toteutettu useita kohteita eristeharkkomenetelmällä. Myös Keski-Euroopassa edellä mainittu rakennustapa on hyväksytty muiden niin sanottujen ”vanhojen rakennustapojen” joukkoon.

Suomessa rakennusteollisuuteen on tullut ensimmäisenä mukaan Palikka-merkkinen eristeharkkorakenne. Palikka-rakenteen historia ulottuu Suomessakin jo yli 30 vuoden taakse (Palikka 2009 [22.1.2009].) Tarkastelukohteenani oleva EPS-valuharkko eroaa Palikka-harkosta jonkin verran harkkojen kiinnittymistavassa toisiinsa. EPS-valuharkkoa valmistaa Finneps Oy Kokemäellä. Toimitusjohtaja Lasse Ranta sai ensimmäiset tiedot eristeharkkojen käytöstä Keski-Euroopasta ja Irlannista 1980-luvulla. Finneps Oy:n harkkojen valmistus sai alkunsa 10 vuotta sitten, kun Lasse Ranta tutustui Tukholmassa norjalaiseen eristeharkkotaloon. Näkemästään innostuneena hän alkoi kehittää omaa eristeharkkomallia. Alkuperäisenä ajatuksena oli alkaa kilpailla Ruotsin markkinoilla, missä tämän tyyppisestä rakentamisesta oli jo kokemusta. Pienen tiedustelun kautta kiinnostus ja kysyntä harkkoa kohtaan kuitenkin osoitti, että kotimaan markkinoillakin oli mahdollisuuksia. Finneps Oy on vuonna 1989 perustettu pakkausyritys. Yritys on erikoistunut monipuolisten solumuovituotteiden suunnitteluun ja valmistukseen. Valikoimaan kuuluvat muun muassa EPS-valuharkot ja yksilölliset suojarahkkaudet. EPS-rakennusharkkoja valmistetaan kolmea eri kokoa. Muottien ja tuotteiden suunnittelussa yhtiöllä on

käytössä uusinta teknologiaa. Toiminta perustuu ISO 9002 –standardisoituun laatujärjestelmään. (FinnEPS 2009 [21.1.2009].)

### 3.2 EPS-valuharkon valmistus

Tietoja kerätessäni kävin tutustumassa eristeharkkojen valmistukseen Finneps Oy:n tehtaalla Kokemäellä. Harkkojen valmistukseen liittyvät tiedot perustuvat keskusteluihin toimitusjohtaja Lasse Rannan kanssa tammikuussa 2009.

Harkkoja valmistetaan kolmea eri kokoa ja kahta eri mallia. Harkon valmistukseen tarvitaan raaka-ainetta ja muotti. Ensin suunnitellaan tarvittavan muotin koko ja ulkoasu. Suunnittelun jälkeen muotti toteutetaan CNC-koneistuksen avulla. Materiaalina käytetään alumiinia. Hyvin huollettuna muotin käyttöikä on kymmenen vuotta. Muotti koostuu uros- ja naaraskappaleista, jotta valmiin kappaleen irrottaminen onnistuu helposti. Harkkojen muotti tehdään haluttua kokoa noin 0,6% suuremmaksi, koska kuivuessaan harkko hieman kutistuu. Raaka-aine on pientä itsestään sammuvaa polystyreeni-rouhetta, joka sisältää ponnekaasua. Ponneaineena käytetään ympäristölle vaaratonta pentaania, joka valmistuksen yhteydessä korvaantuu ilmalla.



Kuva 6. Raaka-ainetta tehtaalla

Valmistusprosessi alkaa polystyreenin esipaisutuksella. ATK-käyttöinen kone annostelee rouhetta tietyn määrän esipaisuntasäiliöön. Säiliöön lisätään vesihöyryä ja samalla rakeita sekoitetaan koko ajan. Raaka-aine reagoi vesihöyryyn ja alkaa laajeta vaahtomaiseksi. EPS-valuharkkoja varten esipaisutettu vahto painaa  $30 \text{ kg/m}^3$ . Oikean suhteen saanut massa ohjataan säiliöstä ilman avulla tapahtuvan kuivauksen kautta muottikoneelle. Muottikoneessa esipaisutettu vahto ohjautuu muottiin. Muottiin lisätään vesihöyryä ja esipaisutettu vahto reagoi täyttäen muotin. Paineen alla harkko kovettuu ja ottaa muotonsa. Lopuksi kone antaa muottipinnoille kylmän suihkun, joka lopettaa reaktion. Harkon kovetuttua kone työntää harkot ulos. Muottikone tuottaa kerralla aina kaksi harkkoa, ja prosessi kestää noin kolme minuuttia. Yhdellä muottikoneella on mahdollista tuottaa noin 500 neliometriä valmista seinäpintaa päivässä, tarvittaessa harkkojen tuotantomäärä voidaan kolminkertaistaa.



Kuva 7. Harkkojen valmistuskone



Harkkojen tultua koneesta ne siirretään kuivumislinjalle, jossa ne koneellisen kuivatuksen avulla kuivuvat ja kutistuvat oikeaan kokoonsa. Erityisen tärkeää harkkojen valmistuksessa on kuivumisen hallitseminen. Muotin pitää olla kuivumisessa aiheutuvan kutistumisen verran suurempi, jotta harkoista saadaan mittatarkkoja. Harkkojen mittatarkkuus helpottaa kaikissa vaiheissa, kun suunnitellaan ja rakennetaan pientaloja ja kerrostaloja. Kuivumislinjalta harkot asetetaan pakkauskoneeseen, jossa harkot pakataan koosta riippuen joko 6- tai 9 harkon paketteihin. Pakkauksen jälkeen harkot varastoidaan odottamaan siirtoa työmaalle.



Kuva 8. Eristeharkot kuivumislinjalla



Kuva 9. Valmiit eristeharkot pakattu lavan päälle

### 3.3 EPS-valuharkko rakenteena

Valmistettavia harkkoja on kahden tyyppisiä, avo- ja päätyharkkoja.

Eristeharkkoa on saatavana kolmea eri leveyttä ja kahta korkeutta. 200 ja 300 millimetriä leveät harkot ovat 250 mm korkeita ja 1200 mm pitkiä. Nämä harkot soveltuvat hyvin normaaliin ja matalaenergia rakentamiseen. 200- ja 300 mm harkkojen materiaalina käytetään paisutettua polystyreeniä. 350 mm leveä harkko on 300 mm korkea ja 1200 mm pitkä. Tätä harkkoa voidaan valmistaa joko polystyreeni-rakeista tai neopor-rakeista. 350 mm leveä eristeharkko on tällä hetkellä parhaiten passiivitaloajatuksen soveltuva. Edellä mainittujen harkkojen tämän hetkisiä käyttökohteita ovat omakotitalot, rivitalot, kerrostalot, teollisuushallit, kellarit ja pakastevarastot.

Tarkastelun kohteeksi olen valinnut 350 mm:n eristeharkon. Harkko muodostuu kahdesta polystyreenikannaksesta, sisempi seinämä on 80 mm leveä ja ulompi seinämä on 130mm leveä. Keskellä on 140 mm leveä aukko betonivalua varten. Polystyreeniseinämät on yhdistetty toisiinsa 50 mm leveillä kannaksilla 100 mm:n välein. Harkon yläpinnassa on lego-palikoista tuttuja pyöreitä nappuloita ja alapinnassa vastaavasti koloja. Nappulat ovat 50 mm:n välein molemmissa kannaksissa. Nappuloiden väleissä menee pienet pontit, joiden avulla rakenteesta saadaan tiiviimpi.



Kuvat 10 ja 11. 350mm leveä EPS-valuharkko

Seinän teko harkkojen avulla on helppoa. Harkot ladotaan yhtenäiseksi seinäksi niin, että nappulat osuvat kohdilleen. Seinän noustessa tarvittavat vaakaraudoitukset sijoitetaan siltojen päälle. Tämän jälkeen seinä tuetaan suunnittelijan ohjeiden mukaan ja valetaan. Polystyreeni on materiaalina kosteusteknisesti edullinen, ja sille on myönnetty M1-päästöluokitus. Sisäverhouksena käytetään yleisesti erikoiskovaa kipsilevyä. Levyn kiinnitys harkon pintaan tapahtuu saneerauslaastin avulla. Ulkoverhous voidaan toteuttaa kaikilla markkinoilla olevilla materiaaleilla. Harkon ulkopuolen tulee kuitenkin aina olla vesihöyryä läpäisevä. Mikäli julkisivun



pintamateriaali ei itse läpäise vesihöyryä riittävästi, voidaan seinän rakenteellinen toimivuus tarvittaessa varmistaa riittävän tuuletusvälin avulla. Rappaus voidaan toteuttaa kolmikerrosrappauksena käyttäen rappausverkkoa. Puuverhousta varten voidaan asentaa tarvittava koolaus kiinnittämällä koolauspuut betonisydämeen pitkillä betoniankkureilla. Tiiliverhouksen tarvitsemat tiilisiteet voidaan myös tarvittaessa kiinnittää betoniin.



Kuva 12. Puuverhouksen kiinnitys EPS-valuharkon ulkopintaan

#### 3.4 EPS-valuharkon tekniset tiedot

Eristeharkko, joka on 350 millimetriä leveä, painaa 2,5 kg ja harkon lambda-arvo on 0,033 m<sup>2</sup>K/W. Harkon hyvä eristävyys perustuu umpisoluisessa rakenteessa olevaan liikkumattomaan ilmaan. Lopullisessa tuotteessa muoviraaka-ainetta on vain noin 5% tilavuudesta ja kuutiopaino on 30 kiloa. Harkko ei sisällä ravintoaineita homesienille, ei lahoa ja on vettymätön. Kosteusteknisesti rakenne on toimiva, koska harkolla on suurempi höyrynläpäisykyky kuin betonilla. Kun talon sisätiloja lämmitetään, huonetilassa oleva kosteus eli vesihöyry alkaa siirtyä ulospäin kohti kylmempää ulkoilmaa. Yleisesti kaasut siirtyvät siihen suuntaan, jossa paine on pienempi. Tämä johtuu niin kutsutusta paine-eron vaikutuksesta. Harkon valmistusmateriaalilla pitää tästä johtuen olla korkeampi vesihöyrynläpäisykyky kuin betonilla. Näin voidaan olla

varmistuneita, että rakenteeseen ei jää hautumaan kosteutta. Harkko ei myöskään ime itseensä vettä.

350mm leveän EPS-valuharkkoseinän lämmönläpäisykerroin on laskettu Suomen rakentamismääräyskokoelman C3 ja C4 mukaan, jotka tulivat voimaan 1.10.2003. (Finlex 2009 [25.3.2009]).

EPS-valuharkon paksuus 350 mm (80+140+130). Laskelmissa huomioitu EPS-valuharkon seinämien välissä olevien ”kannasten” 50x175 mm k170 vaikutus. Rakenteessa ei ole kylmäsiltoja. Laskelmissa ei huomioida ulkopuolista pinnoitusta, eikä sisäpuolista verhousta.

$$R = d / \lambda$$

R = Lämmönvastus

d = Ainekerroksen paksuus

$\lambda$  = Ainekerroksen lämmönjohtavuus

Betoni  $\lambda = 1,7 \text{ m}^2\text{K/W}$

EPS  $\lambda = 0,033 \text{ m}^2\text{K/W}$

Ulkopuolen pintavastus = 0,04

Sisäpuolen pintavastus = 0,13

$$R1 = 0,04 + 0,210 / 0,033 + 0,140/1,7 + 0,13 = 6,612 \text{ m}^2\text{K/W (Koko harkon alue)}$$

$$R2 = 0,04 + 0,350 / 0,033 + 0,13 = 10,776 \text{ m}^2\text{K/W (Kannas)}$$

Kannasten määrä koko harkon seinäalasta:

$$0,175 \times 0,05 \times 7 / (0,3 \times 1,2) = 0,17$$

$$R_s = 0,17 \times 10,776 + 0,83 \times 6,612 = 7,320 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$U\text{-Arvo: } 1 / 7,320 = 0,137 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$$

### 3.5 EPS-valuharkon työtapa

EPS-valuharkon työtappaa selvitellessäni kävin tutustumassa muutamaankin rakenteilla olevaan kohteeseen ja haastattelemassa eristeharkkorakentamisen ammattilaista Matti Jaaraa. Jaara kertoi tärkeitä asioita, jotka tulee ottaa huomioon taloa rakennettaessa ja jo taloa suunniteltaessa. Suunnittelussa kannattaa käyttää 150 millimetrille jaollisia moduulimittoja, jotta voidaan helpottaa tulevaa työtä ja vähentää harkkojen hukkaprosenttia. Eristeharkkotalon rakentaminen on varsin yksinkertaista. Ensimmäinen harkkokerros ladotaan anturan päälle ja kiilataan oikeaan korkoonsa. Anturan ja harkkojen mahdolliset välit tiivistetään uretaanivaahdolla. Ensimmäiseen harkkokerrokseen on tässä vaiheessa hyvä valaa parinkymmenen sentin betonikerros, jotta harkot pysyvät paikoillaan seuraavia kerroksia ladottaessa. Betoniksi suositellaan K 30 –lujuusluokan betonia, jossa on raekokona 8 millimetriä ja notkeusluokkana 1. Valun jälkeen voidaan seinän rakentamista jatkaa latomalla harkkoja kerralla jopa kolmen metrin korkeuteen.



Kuva 13. Valmis EPS-valuharkkorunko. (Malander 2009 [23.1.2009]).

Seinä raudoitetaan rakennesuunnittelijan määräysten mukaan, ja harkot limitetään niin, etteivät päällekkäisten kerrosten saumat osu allekkain. Harkkojen väliset saumat liimataan yhteen uretaaniliimalla, jotta harkot pysyvät varmasti yhdessä valupaineen alaisina. Nurkissa käytetään päätyharkkoja, jotka ladotaan vuorotellen. Näin nurkista saadaan tukevat. Kun pitää huolta, että harkkojen nappulat osuvat koloihinsa, saadaan seinä suoraan ja nurkka suorakulmaan. Kertavalun maksimikorkeus on kolme metriä. Ikkunoiden ja ovien kohdille tehdään muotit lautojen (22mm x 100mm) ja sahatavaran (50mm x 100mm) avulla.



Kuva 14. Ikkunoiden ja ovien tuentamalli (Malander 2009 [23.1.2009]).



Kun harkkojen avulla tehdään rakenteita, joihin kohdistuu suurempi rasitus kuin maanpäälliseen seinään, käytetään runsaampaa raudoitusta. Lyhyet seinäpalkit esimerkiksi oven ja ikkunan välissä toteutetaan tarvittaessa pilariraudoituksella. Aukonylityksissä käytetään palkkiraudoitusta. Raudoituksissa tulee noudattaa rakennesuunnittelijan määräyksiä. Maanpäällisen seinän rauditus on melko vähäinen. Tarvittaviin kohtiin sijoitetaan kehäteräkset, ja ovien ja ikkunoiden viereen laitetaan pystyteräkset.

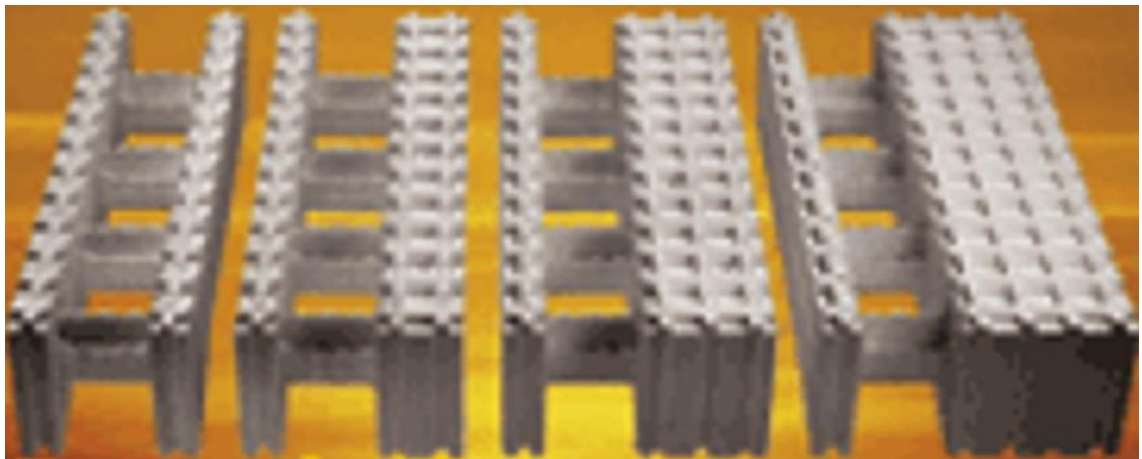


Kuva 15. Ikkunan ympärillä pilari- ja palkkirauditus. (Malander 2009 [23.1.2009]).

### 3.6 Vastaavat harkkorakenteet

Suomessa vastaavia harkkorakenteita markkinoi Suomen Eliittitalot Oy:n rinnakkaistoiminimi Suomen Passiivitalot. Yritys on perustettu 1999 Turussa. Harkkoja on saatavilla kahtena eri leveytenä, 200- ja 410 millimetriä leveinä. Suurin ero tarkastelemani harkon ja Eliittitalojen harkon välillä on erityyppinen ponttiratkaisu. (Passiivitalot 2009 [23.1.2009].)

Saksassa eristeharkkojen suurimmasta myynnistä ja markkinoinnista vastaa ISORAST GmbH. Yritys on toiminut EPS-harkkojen parissa useita vuosikymmeniä. Harkkovaihtoehtoja löytyy todella runsaasti, suorien harkkojen lisäksi voidaan ISORAST:n tuotteilla helposti toteuttaa kaaret ja portaat. (Isorast 2009 [23.1.2009].)



Kuva 16. GmbH:n markkinoimia EPS-harkkoja on todella useita malleja. (ISORAST 2009 [23.1.2009]).

Ruotsissa vastaavanlaisia eristeharkkoja markkinoi Dorocell Ab. Västerbottenissa toimiva Dorocell Ab on valmistanut eristeharkkoja 16 vuotta (RTT Rakennusaineteollisuus Ry 1997,3.) Dorotherm-harkko on saanut vuonna 1993 ruotsalaisen valvontaviranomaisen toimesta tyyppihyväksynnän kantokyvyn, lämmöneristävyyden ja paloturvallisuuden suhteen. Paloturvallisuuden rajoitusten takia päätös asettaa eristeharkoista valmistettaville rakennuksille maksimikorkeudeksi 4 kerrosta ja määrää käytettäväksi sisäverhouksessa 13 mm paksua kipsilevyä. (RTT Rakennusaineteollisuus Ry 1997,3.)

## 4 RAKENNUSSUUNNITTELU

Rakennussuunnittelussa hahmotetaan tulevan rakennuksen muoto ja mittamaailma. Suunnittelu toteutetaan tarvittavien tilojen ja ulkonäkövaatimusten pohjalta. Tavoitteena on käytännöllinen, turvallinen ja miellyttävä kokonaisuus niin käyttäjien kuin ohikulkijoidenkin iloksi.

### 4.1 Rakennussuunnittelun lähtökohdat

Tarkoituksena on suunnitella vanhempieni omistamalle tontille omakotitalo Paimioon. Talo tulee suunnitella kahdelle hengelle toimivaksi kodiksi, jossa on tarvittaessa mahdollista majoittaa vieraita. Pihapiiriin suunnitellaan myös piharakennus, jonka yhteydessä tulee olla autokatos. Piharakennusta ei kuitenkaan suunnitella opinnäytetyön yhteydessä. Opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella rakennus ja laatia pääpiirustukset sekä rakennepiirustukset.

#### 4.1.1 Rakennuspaikka

Rakennuspaikka sijaitsee Paimiossa, Hanhijoen kaava-alueella. Tontti on kooltaan 2690 neliömetriä, ja sen rakennusoikeus on 672,5 neliömetriä. Pääosin tontti on hiekkaista peltoa ja vähäpuustoista metsää, purettavien rakennusten alla on kalliota. Rinnetontin alareuna rajoittuu tonttia sivuavaan tien reunaan, muilla sivuilla tontti rajoittuu jo rakentaneisiin rajanaapureihin. Tontilla on entuudestaan kolme rakennusta: vanha hirsirakennus, vaja sekä erillinen kellari. Hirsirakennus ja vaja puretaan tulevan talon edestä pois, kellari saa jäädä paikoilleen koskemattomana. Sähkökaapeli kulkee sivuavan tien vieressä, vesi- ja viemäriverkostoon liittyminen on mahdollista tontin alareunalta. Tontilla on tieoikeus sivuavaan tiehen.



Kuva 17. Opaskartta, Paimio, Hanhijoentie 3, (Turku 2009 [5.3.2009]).



Kuva 18. Ilmakuva, Paimio, Hanhijoentie 3 (Turku 2009 [5.3.2009]).





Kuva 19. Näkymä rakennuspaikalle lounaasta

#### 4.1.2 Suunnittelun tavoitteet

Omakotitalo suunnitellaan kahden vanhemman henkilön elämiseen. Tilaratkaisuissa pyritään selkeyteen ja toimiviin ratkaisuihin. Muun muassa keittiö ja olohuone ovat suorassa yhteydessä toisiinsa, sekä ison makuuhuoneen välittömään läheisyyteen sijoitetaan wc. Suunnittelussa huomioidaan mahdolliset vieraat kahdella vierashuoneeksi muutettavalla huoneella. Rinnetontin monimuotoisuus ja rakennusalueen kaavamääräykset asettavat talolle pakolliseksi kellarin, jotta talosta saadaan toimiva ja se asettuu hyvin maisemaan. Puolikkaan kerroksen kokoiseen kellaritilaan sijoitetaan tekninen tila ja varasto sekä mahdollisuus auton säilyttämiseen ja harrastetoimintaan. Kodinhoitohuoneessa tulee olla toinen sisäänkäynti, jotta kesällä pyykkien ulos vieminen onnistuu vaivatta. Makuuhuoneita tarvitaan vain yksi. Kahdesta muusta huoneesta tehdään työ/vierashuoneita. Wc-tiloja tehdään kaksi. Makuuhuoneen viereen tulee yksi wc ja kylpyhuoneen yhteyteen toinen. Kylpyhuone ja sauna sijoitetaan niin, että ulos siirtyminen on mahdollista kodinhoitohuoneen

kautta. Saunan viereiselle seinustalle jätetään varaus mahdollista terassia varten. Sauna mitoitetaan kolmelle henkilölle. Talossa ei tarvita suihkua muualla kuin kylpyhuoneessa. Olohuoneeseen talon keskelle sijoitetaan kylmien talvipäivien varalle takka, joka osaltaan lämmittää tarvittaessa koko taloa.

#### 4.1.3 Tilasuunnitelma

Tontin suunnittelussa ja rakennuksen sijoituksessa käytetään lähtökohtina passiivitalotietoutta. Talo sijoittuu tontille siten, että pääsisäänkäynti suunnitellaan pohjoispuolelle. Kakkosisäänkäynti suunnitellaan länsipuolelle ja kellariin sisäänpääsy eteläpuolelle. Makuuhuone sijoitetaan pohjois- ja itäpuolelle, jotta se pysyy mahdollisimman viileänä. Olohuone sijoitetaan eteläpuolelle, jolloin isojen ikkunoiden avulla huoneeseen saadaan mahdollisimman paljon auringon lämpöä ja valoa. Olohuoneen keskelle suunnitellaan myös paikka takalle. Takka toimii samalla myös olohuoneen ja käytävän tilanjakajana. Keittiö sijoitetaan rakennuksen lounaisnurkkaukseen, näin keittiön ruokailutilassa saadaan aukeamaan sama valoisa maisema kuin olohuoneessa. Kylpyhuone asettuu rakennuksen luoteiskulmaan, sillä se on tontin suojaisin ja rauhällisin suunta. Kellariin suunnitellaan varasto- ja harrastetilaa. Tekninen tila sijoitetaan kellariin rinteeseen puolelle, niin että kellarin muut tilat jäävät valoisiksi. Tekniseen tilaan varmistetaan silti helppo kulkuyhteys.

#### 4.2 Pääpiirustukset

Omakotitalon rakentaminen on luvanvarainen toimenpide. Rakennuslupaa taloa varten haetaan alueen rakennusvalvonnasta. Lupaa haettaessa täytyy rakennuksen pääpiirustukset ja muut tonttiin liittyvät asiakirjat olla kunnossa. Pääpiirustukset koostuvat asema-, pohja-, leikkaus- ja julkisivupiirroksista. Näiden avulla voidaan todeta millainen talo on kyseessä ja mihin se on tontilla sijoittumassa. Piirustusten avulla voidaan tarkastella talon mukautumista rakennusympäristöönsä ja varmistua, että kaavamääräyksiä noudatetaan.

#### 4.2.1 Asemapiirustus

Asemapiirustus ( LIITE 1/1 ) on piirretty mittakaavaan 1:200, koska tontin pinta-ala on alle 3000 neliometriä. (Turku 2009 [25.3.2009].) Tontilla on entuudestaan kolme rakennusta, vanha hirsirakennus, vaja sekä erillinen kellari. Hirsirakennukselle ja vajalle haetaan purkulupa, mutta vanha kellari jätetään paikoilleen. Uudisrakennus sijoittuu tontin alapuolella menevän tien suuntaisesti purettujen rakennusten kohdalle. Rakennusalueen kohdalta tontille tehdään tarvittavat maansiirtotyöt, jotta rinneratkaisu voidaan toteuttaa kahden nauha-anturan avulla. Suunnitellulle omakotitalolle johtava ajotie suunnitellaan nousemaan tontin alapuolella olevasta tiestä omakotitalon itäpuolelta. Pihan oleskelualueet sijoittuvat tontin lämpimälle lounaisrinteelle. Vesi- ja sähköliittymät sijoitetaan kulkemaan vanhan peltoalueen läpi anturan alapuolelta omakotitalon tekniseen tilaan, johon sijoitetaan vesi- ja sähkömittarit. Sähkö- ja vesiliittymien tarvitsemat läpiviennit suoritetaan teknisen tilan alapohjan kautta. Istutettavia alueita ovat rakennuksen ympärille tulevat viheralueet ja tontin alapuolella olevan tien reunaan istutettava kuusiaita, joka antaa pihalle enemmän omaa rauhaa ja suojaa suorilta katseilta.

#### 4.2.2 Pohjapiirustus

Pohjapiirustus ( LIITE 1/2 ) on piirretty mittasuhteeseen 1:100. Piirustuksessa on kuvattu erikseen kellarin ja ensimmäisen kerroksen tilanjakautuminen. Pohjapiirustus kuvataan vaakatasossa noin yhden metrin korkeudelta. Yli metrin korkeudella olevat rakenteet kuvataan pistekatkoviivalla. Lattiapinnan alapuoliset rakenteet piirretään katkoviivalla.

Pohjapiirustuksessa esitetään rakennuksen päämitat, korkeus merenpinnasta ja leikkauspiirustuksen leikkautumiskohta. Tilaratkaisut kuvataan pohjapiirustuksessa väliseinien ja huonumerkintöjen avulla. Lisäksi piirustuksessa kerrotaan huoneiden pinta-alat. Pohjapiirustuksesta käyvät ilmi myös rakennuksen kokonaiskerrosalat, huoneistoalat sekä rakennuksen tilavuus.

#### 4.2.3 Leikkauspiirustus

Leikkauspiirustus ( LIITE 1/3 ) on piirretty mittasuhteeseen 1:100. Leikkauspiirustus on piirretty pohjapiirustukseen merkitystä kohdasta, jonka on katsottu olevan rakenteellisesti merkittävä. Leikkauspiirustuksesta voidaan todeta rakennuksen rakennusosien eli ala- ja yläpohjan sekä ulkoseinän materiaalit sekä niiden paksuudet. Leikkauksesta käyvät ilmi myös korkeusasemat, huonekorkeudet, portaiden nousu ja etenemä, katon kaltevuus ja ikkuna-aukkojen korkeudet. Leikkauksen takana olevat rakenteet on piirretty katkoviivalla, kun taas leikkauksen etupuolella olevat rakenteet on piirretty pistekatkoviivalla.

Rakennuksen merkittävät korkeudet muodostettiin käyttäen EPS-valuharkkojen täysiä korkeuksia. Ensimmäisen kerroksen huonekorkeudeksi valittiin noin 2700 millimetriä ja kellarin huonekorkeudeksi valittiin myös noin 2700 millimetriä. Pesutiloissa, wc:ssä ja keittiössä alakattoa lasketaan, jotta tilasta saadaan pehmeämpi ja tarvittavat putkitukset voidaan viedä alakaton yläpuolella näkymättömissä.

#### 4.2.4 Julkisivut

Julkisivupiirustus ( LIITE 1/4 ) on piirretty mittasuhteeseen 1:100. Piirustuksessa esitetään eri materiaalit julkisivuissa ja niiden värit sekä rakennuksen eri osien korkeuksia, kuten harja- ja räystäskorkeus sekä maanpinnan korkeusasema. Julkisivupiirustuksesta saadaan selville rakennuksen ulkonäkö ja pystytään arvioimaan sen soveltuvuutta alueelle. Rakennusta voidaan verrata ympärillä olevaan puustoon ja maastoon sekä läheisten rakennusten ulkopintojen muotoihin ja pintamateriaaleihin.

## 5 RAKENNESUUNNITTELU

Rakennesuunnittelu avulla varmistetaan, että tuleva rakennus kestää tulevien vuosien rasitukset. Kantavien rakenteiden kestävyys on tärkeää rakennuksessa asuvien turvallisuuden takaamiseksi. Oikein suunniteltu talo on toimiva ja turvallinen kokonaisuus. Rakennesuunnittelussa mitoitetaan talon alapohjarakenteet, kantavat seinärakenteet, välipohjarakenteet sekä yläpohjarakenteet. Suunnittelulla varmistetaan, että rakenneosat toimivat yhdessä ja kestävät vuosien kuluessa rakennukseen kohdistuvat rasitukset.

### 5.1 Pohjatutkimus

Entuudestaan on tiedossa, että tontilla jo sijaitsevien rakennusten alla on kalliota ja muuten suurin osa tontista on hiekkaista peltoa. Tontti on muodoiltaan moninainen, sen alareuna on tien suuntaista rinnettä ja yläosa kalliota. Vesi- ja viemäriverkosto sekä sähkösyöttö voidaan suunnitella tontin alareunasta peltoon kaivettuina. Koska rakennuspaikka sijaitsee rinteessä, salaojien ja pintavesien poiston suunnittelulle on selkeät lähtötiedot.

### 5.2 Perustukset

Rakennuspaikkana on rinne, josta on osittain kallio näkyvissä. Koska perustuksia ei voida toteuttaa kokonaan kallion päälle, tehdään perustukset nauha-anturan ja maanvaraisen laatan avulla. Anturan ja laatan alle jätetään tiivistetty ja salaojien suuntaan kaadettu hiekka. Hiekan päälle laitetaan suodatinkangas ja 300 millimetriä tiivistettyä salaojasepeliä ennen EPS:stä valmistettua anturamuottia. Antura raudoitetaan kahdella 10 millimetriä paksulla harjateräksellä, jatkospituutena käytetään 600 millimetriä. Rakennuksen perusmuuri toteutetaan samalla 350 millimetriä leveällä EPS-valuharkolla, jolla toteutetaan koko talon runkorakenne. Sisäpuolinen täyttö koostuu 300 millimetriä paksusta sorapatjasta, suodatinkankaasta

ja tiivistetystä hiekasta. Alapohjan eristeeksi asennetaan 3 kappaletta 100 millimetriä paksuja EPS 100 Lattia-levyjä.

Perustusmittapiirustus ( LIITE 2/1 ) on suunniteltu mittakaavaan 1:50. Siinä näkyvät perustuksen mitat ja sen korkeus maanpinnasta. Anturan pääasiallinen tarkoitus on jakaa rakennuksesta muodostuvat kuormat tasaisesti alla oleville maan rakennekerroksille. Alapohja suunniteltiin maanvaraiseksi. Teräsbetoni-laatan paksuudeksi valittiin 100 millimetriä ja teräsverkoksi halkaisijaltaan 5 millimetristä harjaterästä 150 millimetrin jaolla, keskeisesti asennettuna. Molemmat maanvaraiset laatat toteutetaan samalla tyylillä. Ensimmäiseen kerrokseen tuleva takka ei aiheuta perustuksiin ylimääräisiä rasituksia. Takan paino otetaan huomioon välipohjan ontelolaattoja suunniteltaessa.

### 5.3 Kantava runko

Talon kantavaksi rungoksi valitaan 140 millimetriä leveä teräsbetoniseinä. Valun aikaisena muottina toimivat EPS-valuharkot. Seinän tarvitsema rauditus asennetaan harkkojen ladonnan edetessä, seinien perusraudoitukseksi valitaan 2 kappaletta halkaisijaltaan 8 millimetristä harjaterästä vaakasuuntaan 600 millimetrin välein, jatkospituutena käytetään 500 millimetriä. Aukkojen reunoihin ja ylityksiin asennetaan lisäteräkset piirustusten mukaisesti. Reunoihin laitetaan 2 kappaletta halkaisijaltaan 10 millimetristä harjaterästä, keskitetysti 1000 millimetriä aukon reunapituuden yli. Aukon ylityksissä käytetään pääterästen lisäksi rauditushakoja. Terästen koko riippuu aukon pituudesta. Seinärungon vaakavalusaumaan laitetaan 8 millimetriä paksusta harjateräksestä taivutettuja hakoja 300 millimetrin välein. Rakennuksen kantavina seininä toimivat pelkästään ulkoseinät. Väliseinät rakennetaan ei-kantavina puurakenteina.

Rakennuksen yläpohjan kantavan rakenteen muodostavat tehdasvalmisteiset kattoristikot 900 millimetrin välein. Yläpohjan paksuus määräytyy suurelta osin eristepaksuudesta, joka on kaiken kaikkiaan noin 700 millimetriä. Takan hormi on yhden tiilen kokoinen ja näin piipun ulkomitaksi saadaan 400 x 500 mm. Koska yksi kattoristikko on lähempänä piippua kuin 100 millimetrin määrätty suojaetäisyys,

toteutetaan piipun palosuojaus tarvittavilta kohdin 50 millimetrin palovillalla ja kattoristikoon kiinnitettävällä kipsilevyllä.

#### 5.4 Välipohja

Välipohjapiirustus ( LIITE 2/2 ) on suunniteltu mittakaavaan 1:50. Välipohjatasossa ilmoitetaan välipohjakannattajien materiaalivahvuus ja koko. Välipohjaksi valitaan 200 millimetriä korkeat ontelolaatat. Ontelolaatat tukeutuvat päistään teräsbetoniseinään. Tukileveys molemmissa päissä on 70 millimetriä. Ontelolaattojen ja seinien tartunnat varmistetaan harjateräksillä. Seinissä kiertää rakennetta vahvistamassa 2 kappaletta halkaisijaltaan 10 millimetriä paksuja harjateräksiä, ja ontelolaattojen väliin tulee 10 millimetriä paksuja L-mallisiksi taivutettuja harjateräksiä. Askeläänieristeeksi ontelolaattojen päälle tulee 25 millimetriä paksu EPS 100 Lattia levykerros, sekä 50 millimetriä paksu kipsivalu.

#### 5.5 Vesikatto

Vesikattopiirustus ( LIITE 2/3 ) on suunniteltu mittakaavaan 1:50. Vesikattotasossa esitetään tehdasvalmisteisten kattoristikoiden etäisyydet ja sijainnit. Kattotuoleja on kaikkiaan 16 kappaletta, koska rakennuksen pääty toteutetaan EPS-valuharkkojen avulla harjakorkeuteen asti. Tarkemman kattoristikoiden mitoituksen toteuttaa ristikoiden toimittaja annettujen mittojen ja kuormien perusteella. Koska rakennus on kapeampi toisesta päästä, kattoristikoiden toisen lappeen leveysmitta muuttuu kolmessa vaiheessa.

Yläpohjaan suunnitellaan lämmöneristettä 700 millimetriä. Eristys toteutetaan puhallusvillalla, kun sisäkattorakenne on valmis. Seinien reunojen kohdalla kattoristikoiden yläpaarteisiin kiinnitetään tuulenohjain, jotta seinien vieressä oleva puhallusvilla ei muodostu tuulen vaikutuksesta epätasaisesti. Vesikaton koolaus toteutetaan vesikatteen asennusohjeiden mukaisesti. Vesikatteeksi valitaan Ruukki Classic –peltikate.

## 5.6 Kuormitukset

Rakenteisiin vaikuttavat voimat on mitoitettu Eurocode 2:n mukaan. Rakennusta kuormittavat pysyvät kuormat, hyötykuormat, ja lumi- sekä tuulikuormat. Pysyvät kuormat muodostuvat pääasiassa eri osien rakenteista, joissa varmuuskertoimena käytetään 1,15. Hyötykuorma muodostuu oleskelukuormasta ja tavarakuormasta sekä rakennusaikaisesta kuormituksesta. Hyötykuormana käytetään  $2 \text{ kN/m}^2$  ja hyötykuorman varmuuskertoimena käytetään 1,5. Lumikuormaan vaikuttaa rakennuskunta ja kattokaltevuus sekä katon muoto. Paimiossa lumikuorman arvo maassa on  $2,5 \text{ kN/m}^2$ . Rakennuksen katon kaltevuuskulma on  $18,4$  astetta. Katolle muodostuvaa lumikuormaa pienennetään muotokertoimella 0,8, jolloin laskennassa käytettäväksi lumikuormaksi saadaan  $2,0 \text{ kN/m}^2$ .

Taulukko 2. Ylä- ja välipohjan kuormat

Rakenne	Pysyvä kuorma $\text{kN/m}^2$	Muuttuva kuorma $\text{kN/m}^2$
Yläpohja	1,2	2,0
Välipohja	3,74	2,0

Taulukko 3. Ontelolaattojen kannatuspalkin kuormat

Välipohjan pysyvä kuorma	g $\text{kN/m}$	Välipohjan hyötykuorma	q $\text{kN/m}$
$3,74\text{kN/m}^2 \times 1,15 \times 3,45\text{m}$	14,8	$2,0\text{kN/m}^2 \times 1,5 \times 3,45\text{m}$	10,4

Taulukko 4. Kellarin pilarin kuormat

Palkin pysyvä kuorma	g $\text{kN}$	Palkin hyötykuorma	q $\text{kN}$
$14,8\text{kN/m} \times 1,88\text{m} / 2$	13,9	$10,4\text{kN/m} \times 1,88\text{m} / 2$	9,8



## 6 YHTEENVETO

Passiivitalo on Suomessa tulevaisuuden rakennusmuoto. Keski-Euroopassa tällä tyylillä on rakennettu jo tuhansia taloja, mutta Suomessa kyseinen rakennustapa hakee vielä standardisoitua muotoaan. Vaihtoehtoja passiivitalon toteutusmateriaaleiksi on monia, ja jokaisessa tavassa on sekä hyviä että huonoja puolia. Tärkeimpinä asioina passiivitalon rakentamisessa voidaan kuitenkin pitää tarkkaa suunnittelua ja huolellista rakennustyötä. Kun toteutetaan mahdollisimman tiivistä ja vähän energiaa kuluttavaa taloa, rakennusvirheille ei ole tilaa. Kaikkien rakennusosien tulee liittyä yhteen saumattomasti ja talotekniikan toimia varmasti. Tulevaisuuden mietintäkohteena tulee olemaan suunnittelussa muun muassa passiivitalon liiallisen lämpeämisen estäminen sekä talolla tuotettavan ylimääräisen energian varastoiminen ja käyttö.

Pientalon suunnittelu ja toteuttaminen EPS-valuharkkojen avulla on hyvä vaihtoehto vanhempien rakennetapojen rinnalla. Asennusvaiheessa harkko on kevyt ja pitää muotonsa. Suunnittelu kannattaa toteuttaa korkeuksissa harkkojen kerrannaisina ja seinien pitoudet 15 senttimetrin kerrannaisina, näin voidaan helpottaa ja nopeuttaa huomattavasti työmaalla tehtävän työn määrää. Passiivitalon toteuttaminen EPS-valuharkkoja käyttäen on mielestäni hyvä vaihtoehto. Työvaiheiden määrä on pieni ja teräsbetonivalun ansiosta rakennuksen ympärille muodostuu tiivis ja kestävä rakenne.

Maapallon väestömäärän jatkuva kasvaminen ja ihmisten kulutustottumusten muuttuminen aiheuttavat koko ajan lisääntyvää energian kulutusta ja luonnonvarojen vähenemistä. Passiivitalo on kokonaisuus, jonka tarkoituksena on säästää energiaa ja luontoa mahdollisimman paljon. Pienellä lisäpanostuksella talosta saadaan vähän kuluttava, ilman että asumismukavuudesta joudutaan tinkimään. Uudet rakennusmateriaalit ja jatkuvasti kehittyvä tekniikka voivat toimia yhdessä tiiviisti mahdollistaen tehokkaamman ja paremman lopputuloksen. Jotta tämä saadaan tulevaisuudessa tavaksi, täytyy ihmisten osata vaatia suunnittelijoilta ja rakentajilta parempia ja vähemmän energiaa kuluttavia ratkaisuja.

## LÄHTEET

Ali-Kovero Rauno, arkkitehti SAFA. Haastattelu 25.1.2009. Espoon toimisto.

Eristämisen pikkujätti 2007,33. Lambda-arvo ja U-arvo.

Finlex 2009. Lämmönläpäisykerroin [25.3.2009]

Saatavissa <http://www.ymparisto.fi/> > Maankäyttö ja rakentaminen > Suomen rakentamismääräyskokoelma > C > C3/C4

FinnEPS 2009. Eristeharkon valmistus [21.1.2009]

Saatavissa <http://www.finneps.fi/>

Isorast 2009. Saksalaista eristeharkkorakentamista [23.1.2009]

Saatavissa <http://www.isorast.de/>

Malander 2009. Rakenteiden kosteus [20.1.2009]

Saatavissa <http://www.malander.fi/> > EPS-valuharkot > EPS-kysymyksiä

Nieminen Jyri 2008. Passiivitalon energiansäästö. Powerpoint-esitys [20.1.2009]

Saatavissa <http://passivehouse.vtt.fi/> > Materiaalia passivitaloista > Mikä on passiivitalo?

Palikka 2009. Suomen ensimmäinen eristeharkko [22.1.2009]

Saatavissa <http://www.palikka.fi/>

Passiivitalot 2009. Suomalaista eristeharkkorakentamista [23.1.2009]

Saatavissa <http://www.passiivitalo.com/eliitti/etusivu.html> > Valuharkot > Tekniset tiedot

Passivhaustagung 2009. Ilmatiiveys [20.1.2009]

Saatavissa <http://www.passivhaustagung.de/> > Passivhaus institut > Passivehouse:  
Learn the basic knowledge > Air tightness

Passivhaus-vauban 2009. Passiivitalo idean syntyminen [20.1.2009]

Saatavissa <http://www.passivhaus-vauban.de> > The Idea

Rehau 2008. Passiivitalon lämmitys ja jäähditys. Powerpoint-esitys [4.2.2009]

Saatavissa <http://www.rehau.fi/> > Haku: maalämmönsiirrin

RT N-36692. Yläpohjarakenne, tarvike tiedosto maaliskuu 2004.

RTT Rakennusteollisuus Ry 1997,7. EPS-valuharkkojen historia.

RTT Rakennusaineteollisuus Ry 1997,3. Ruotsalaista eristeharkkorakentamista.

Skaala 2009. Ovet ja ikkunat [4.2.2009]

Saatavissa <http://www.skaala.com/> > Energialuokat > A-energialuokka

Turku 2009. Asemapiirustus [25.3.2009]

Saatavissa <http://www.turku.fi/> > Asuminen ja rakentaminen > Rakentaminen ja luvat  
> Lupaopas

VTT 2009a. Passiivitalon energiankulutus [15.1.2009]

Saatavissa <http://passivehouse.vtt.fi/> > Energian kulutus

VTT 2009b. Passiivitalon energiankulutus [15.1.2009]

Saatavissa <http://passivehouse.vtt.fi/> > Etusivu

VTT 2009c. Passiivitalon energiankulutus [15.1.2009]

Saatavissa <http://passivehouse.vtt.fi/> > Energian kulutus > Passiivitalon määritelmä