

Ilkka Isomäki

## **Passiivirakenteet**

Opinnäytetyö

Kevät 2013

Tekniikan yksikkö

Rakennustekniikka koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Rakennustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Talonrakennustekniikka

Tekijä: Ilkka Isomäki

Työn nimi: Passiivirakenteet

Ohjaaja: Martti Perälä

Vuosi: 2013

Sivumäärä: 28

Liitteiden lukumäärä: 9

---

Opinnäytetyön tarkoituksena on luoda katsaus siihen, mitä passiivirakentaminen on. Työssä tarkastellaan passiivirakentamisen hyötyjä ja haittoja sekä kustannuksia. Lisäksi perehdytään muihin passiivitalon ominaisuuksiin ja tekniikkaan.

Passiivirakentaminen on Suomessa vielä melko uusi ja tuntematon asia. Hyvin harva kerrarakentaja edes miettii kyseistä vaihtoehtoa, saatikka perehtyy asiaan sen enempää. Tällä hetkellä rakennettavat talot ovat vielä eräänlaisia pilottihankkeita ja monet niistä ovat jonkin yrityksen avustamia. Suomessa kokemus passiivirakentamisesta on vielä kovin vähäistä, ja tutkimuksia aiheesta on tehty vasta aivan viime vuosina.

Suomessa passiivirakenteille asetetut U-arvo vaatimukset ovat melko korkeat, mikä aiheuttaa monenlaisia haasteita rakenteille ja rakentamiselle. Vaihtelevat sääolosuhteet ja eri vuodenajat asettavat myös omat vaatimuksensa rakenteiden toimivuudelle. Tulevaisuudessa mahdollinen ilmastonmuutos lisää entisestään riskejä juuri passiivirakentamiselle.

Avainsanat: U-arvo, passiivitalo, tutkimus, passiivirakenne

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Construction Engineering

Specialisation: Building Construction

Author: Ilkka Isomäki

Title of thesis: Passive Structures

Supervisor: Martti Perälä

Year: 2013

Number of pages:28

Number of appendices: 9

---

The main purpose of the thesis was to create a look on - what passive construction is. The thesis discusses the pros and cons of passive construction, and it also handles costs and other features.

Passive construction is a fairly new phenomenon in Finland. Very rare builders ever think about it, or much less, are familiarized with it. At the moment, all houses which are under construction are some kinds of pilot projects or are sponsored by some company. In Finland, there is little experience on passive construction and all the research was made recently.

The U-values of passive structures are very high in Finland. That causes many kinds of challenges to structures and to construction. Variable weather conditions and the four seasons set their own requirements to the functionality of the structures. In future, the global warming will also increase risks to passive construction.

Keywords: U-value, structure, passive construction



## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ.....	5
Kuvio- ja taulukkoluetelo.....	7
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	8
1 JOHDANTO .....	9
1.1 Opinnäytetyön tausta .....	9
1.2 Opinnäytetyön tavoite .....	9
1.3 Opinnäytetyön rakenne .....	9
2 PASSIIVIRAKENTAMINEN YLEISESTI.....	10
2.1 Passiivirakentamisen historia.....	10
2.2 Passiivitalon määritelmä .....	10
3 RAKENNUSMÄÄRÄYKSET.....	11
3.1 U-arvo .....	11
3.2 CE –merkintä .....	11
4 PASSIIVIRAKENTEIDEN HYÖDYT .....	13
4.1 Energian säästö .....	13
4.2 Ekologisuus.....	15
5 PASSIIVIRAKENTEIDEN HAITAT .....	16
5.1 Haasteet rakentamisessa.....	16
5.2 Passiivirakenteiden kosteusongelmat .....	17
5.3 Sisäilman laadun heikkeneminen.....	18
6 ESIMERKKIRAKENTEET .....	19
6.1 Esimerkkirakenteiden suunnittelu.....	19
6.2 Vertailurakenteet.....	19
6.3 Esimerkkirakenteet.....	20
7 RAKENTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU .....	21
7.1 Vertailumenetelmät .....	21
7.2 Kustannukset .....	24

8 YHTEENVETO.....	26
LIITTEET.....	29

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. Talotyyppien lämmitysenergian kulutus .....	14
Kuvio 2. Aurinkokeräimen toimintaperiaate.....	15
Kuvio 3. Rakennuskustannusindeksi .....	23

Taulukko 1. U-arvo määräykset.....	11
Taulukko 2. Esimerkkirakenteiden U-arvot.....	20
Taulukko 3. Eristemateriaalien hinnat.....	22
Taulukko 4. Esimerkkirakenteiden neliöhinnat.....	25

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>U-arvo</b>	Eli lämmönläpäisykerroin. Se ilmoittaa lämpövirran tiheyden rakennusosan läpi jatkuvuustilassa, kun lämpötilaero on yksikön suuruinen.
<b>Rakennuksen vaippa</b>	Rakennneosat, jotka erottavat lämpimän tilan ulkoilmasta, maaperästä tai lämmittämättömästä tilasta.
<b>Kylmäsilta</b>	Rakenteessa oleva, viereisiin aineisiin verrattuna hyvin lämpöä johtava rakenneosat. Sen kohdalla rakenteen pintojen läpi kulkevan lämpövirran tiheys on viereiseen alueeseen verrattuna suurempi.
<b>Lämmöneriste</b>	Rakennusaine, jota käytetään pääasiallisesti tai muun käyttötarkoituksen ohella lämmöneristämiseen.
<b>Ilmanvuotoluku</b>	Rakennusvaipan keskimääräinen vuotoilma tunnissa 50 Pascalin paine-erolla rakennusvaipan pinta-alaa kohden.



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Opinnäytetyön tausta

Tämän opinnäytetyön taustalla on kiinnostukseni aiheeseen, koska passiivirakentaminen on tulevaisuudessa varmasti lisääntyvä rakentamismuoto. Kokemusta aiheesta sain kun suunnittelin kuluneena talvena passiivirakenteisen omakotitalon Kauhavalle. Kyseisestä taloprojektista tulee Isoverin esittelykohde, ja projekti aloitetaan kuluvan vuoden toukokuussa.

## 1.2 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä passiivirakentamiseen ja koostaa tällä hetkellä käytettävissä oleva tieto aiheesta. Lisäksi opinnäytetyön on tarkoitus selvittää passiivirakentamisen aiheuttamat kustannukset sekä säästöt energian kulutuksessa. Näin ollen tavallinen kertarakentaja saa tietoa, mitä passiivitalo tulee maksamaan verrattuna tavalliseen taloon ja onko kannattavaa rakentaa passiivitalo.

## 1.3 Opinnäytetyön rakenne

Opinnäytetyö lähtee liikkeelle passiivirakenteiden perustiedoista. Kyseisestä aiheesta ei vielä ole Suomessa kovin paljon tietoa saatavilla, koska aihe on täällä vielä melko uusi. Lisäksi työssä tutkitaan passiivirakentamisen hyötyjä ja haittoja ja tarkastellaan kustannuksia verraten tavallisiin ja yleisesti käytössä oleviin rakenteisiin. Vertailu suoritetaan esimerkkirakenteita hyödyntäen. Opinnäytetyö painottuu kustannuksien vertailuun, ei niinkään kosteusteknisiin asioihin.

## 2 PASSIIVIRAKENTAMINEN YLEISESTI

### 2.1 Passiivirakentamisen historia

Passiivirakentaminen on alkujaan lähtöisin Keski-Euroopasta, jossa se on ollut käytössä arviolta 20 vuotta. Muualle Eurooppaan passiivitalot ovat levinneet vasta viime vuosina. Vuonna 2009 Euroopassa on arvioitu olevan yli 10 000 passiivitaloa. Näistä Saksassa on arvioitu olevan noin 4000 ja Itävallassa 1000 asuintaloa, jotka on rakennettu passiivitalon tyyppisillä periaatteilla. (The Passive house- historical review, [viitattu 1.5.2013].)

Jo vuosisatoja sitten on ollut olemassa eräänlaista passiivirakentamista. Eteläisessä Kiinassa ja Islannissa on pitkään rakennettu paksuseinäisiä taloja ilman lämmitysjärjestelmää. Lisäksi ympäri maailmaa on tehty yksittäisiä kokeiluita etenkin 70- ja 80- luvulla. (The Passive house- historical review, [viitattu 1.5.2013].)

### 2.2 Passiivitalon määritelmä

Passiivitalo on erittäin vähän energiaa kuluttava rakennus. Passiivitalon kriteerien täyttäminen edellyttää hyvää yhteistyötä suunnittelussa ja rakennustöiden laadusta toteutusta. Rakentamisessa ei saa tinkiä huolellisuudesta tai viimeistelystä missään vaiheessa. Arkkitehtisuunnittelu vaikuttaa myös ratkaisevasti rakennuksen energiantarpeeseen. (Passiivi.info, [viitattu 21.4.2013].)

Passiivitalon määritelmä perustuu kolmeen tunnuslukuun, jotka kertovat tilojen lämmitysenergiantarpeen, rakennuksen kokonaisprimäärienergiantarpeen ja mittauksen perustuvan ilmapuotoluvun. Mikä tahansa rakennus voidaan suunnitella passiivitaloksi. (Passiivi.info, [viitattu 21.4.2013].)

Passiivitalon kriteerit Suomessa:

1. Lämmitysenergian tarve <20-30 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa.
2. Kokonaisprimäärienergiantarve <130-140 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa.
3. Ilmapuotoluku n50 <0,6 1/h.

## 3 RAKENNUSMÄÄRÄYKSET

### 3.1 U-arvo

Suomen rakentamismääräyskokoelman osan C3 mukaan lämpimällä tilalla tarkoitetaan sellaista tilaa, jonka mitoittava huonelämpötila on lämmityskaudella +17 astetta tai enemmän. Taulukossa 1 on esitetty lämpimän tilan U-arvovaatimukset normaalille, matalaenergia- ja passiivitalolle. Passiivitalon U-arvovaatimuksissa on kuitenkin vielä jonkinlaista epäselvyyttä. On myös törmätty tapaukseen, jossa melko suuri ulkoseinän U-arvo kompensoitiin yläpohjan eristekerrosta kasvattamalla. (RakMk C3 2010)

Taulukko 1. U-arvomääräykset.

Rakennusosa	Normaali talo, U-arvo	Matalaenergiatalo, U-arvo	Passiivitalo, U-arvo
Ulkoseinä	0,17	0,14	0,09
Yläpohja	0,09	0,09	0,07
Alapohja	0,16	0,15	0,1
Ikkunat	1,0	0,8	0,8
Ovet	1,0	0,4	0,4

### 3.2 CE –merkintä

Passiivirakentamista, kuten kaikkea muutakin rakentamista koskettaa 1.7.2013 voimaan astuva laki rakennustuotteiden CE-merkinnästä. CE-merkintä on eurooppalainen vaatimustenmukaisuusmerkintä. Se on siis valmistajan vakuutus siitä, että se täyttää sitä koskevien direktiivien vaatimukset. CE-merkintä helpottaa tuotteiden vertailua, lisäksi se mahdollistaa rakennustuotteiden vapaan liikkumisen Euroopan talousalueen markkinoilla. (Rakennustuotteiden CE-merkintäpalvelut, [Viitattu 21.4.2013].)

CE-merkintä tulee pakolliseksi kaikille niille rakennustuotteille, jotka saatetaan markkinoille ja joihin sovelletaan eurooppalaisia harmonisoituja tuotestandardeja. Rakennustuotteiksi katsotaan rakennuskohteeseen kiinteäksi osaksi tulevat tuotteet, kuten esimerkiksi betonielementit, ikkunat, kantavat teräsrakenneosat, rakennesahatavara, kiviaines ja tiemerkinnt. (Standardit tutuksi, 2012)

CE-merkinnän lisäksi valmistajan pitää tehdä myös tuote-eräkohtainen suoritus-tasoilmoitus. Se on lyhyt dokumentti, joka sisältää tuotetta koskevia keskeisiä tietoja, esimerkiksi valmistajan yhteystiedot. (Standardit tutuksi, 2012)

Rakennustuotteiden CE -merkinnästä tai suoritus-tasoilmoituksesta on tarkistettava tuotteen ominaisuuksista ilmoitettujen tietojen avulla, että tuote täyttää käyttötarkoituksen edellyttämät kansallisiin säädöksiin perustuvat vaatimustasot. CE – merkintätietoja voi myös hyödyntää tarkistettaessa, että tilaajan käyttökohteelle asettamat vaatimukset täyttyvät. ( RT 14-11103 2013, 224)

## 4 PASSIIVIRAKENTEIDEN HYÖDYT

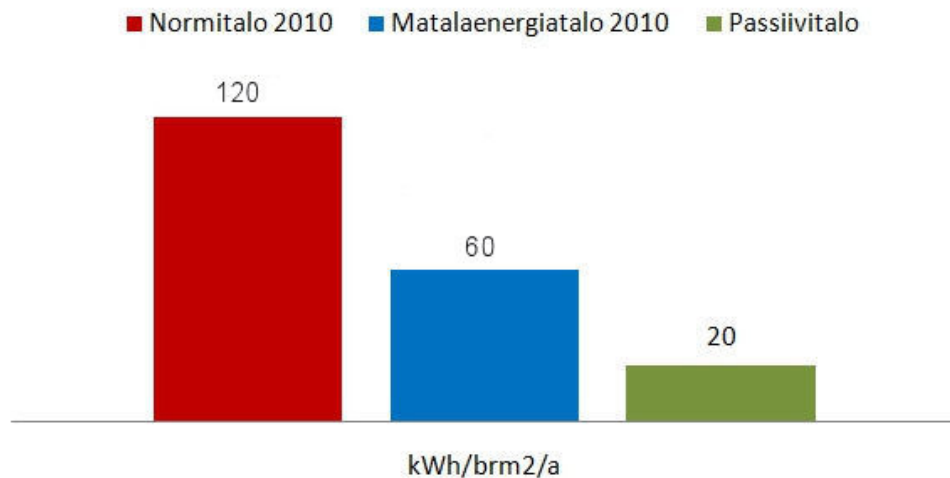
### 4.1 Energian säästö

Passiivitalon rakentamisen päätavoite on energian säästäminen. Rakennuksen kokonaisprimäärienergiatarve on passiivitalossa oltava alle 130–140 kWh/m<sup>2</sup> vuodessa. Vaihteluväli riippuu siitä, missä osassa Suomea rakennus sijaitsee. Lämmitysenergian tarve on luonnollisesti suurempi pohjoisemmassa osassa Suomea kuin etelässä.

Energian säästökohteet voidaan jakaa seuraaviin osiin.

1. Rakennuksen lämmitys
2. Lämpimän käyttöveden lämmitys
3. Rakennuksen ilmanvaihto
4. Rakennuksen jäähdytys
5. Muut kodin sähkölaitteet (passiivitalo.net 2013)

## Talotyyppien lämmitysenergiankulutusvertailu



Kuvio 1. Talotyyppien lämmitysenergiankulutus. (passivitalo.net 2013.)

Pohjolan Passiivitalo OY on suorittanut rakentamilleen passiivitaloille testauksia ja mittauksia jo viisi vuotta. He ovat seuranneet Oulussa sijaitsevat passiivitalon sähkönkulutusta 30.11.2008–31.7.2010. Kyseisessä talossa asuu nelihenkinen perhe, kaksi aikuista ja kaksi lasta. Talon kokonaissähkönkulutus on ollut noin 5700kWh vuodessa. Talvikuukausien marraskuu–helmikuu keskimääräinen kulutus on ollut noin 670 kWh. (passivitalo.net 2013.)

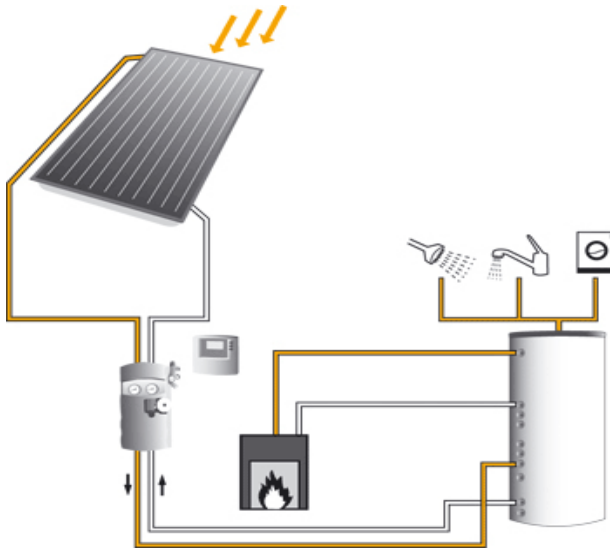
Vertailukohteena voisi käyttää erästä noin 160m<sup>2</sup> omakotitaloa, jossa asuu kolme aikuista. Talossa on vesikiertoinen lattialämmitys, ja lämmitys tapahtuu keskuslämmityskattilalla, johon on liitetty stokeri. Talo on 7 vuotta vanha, ja eristepaksuudet vastaavat tämän hetken normitalon minimivaatimuksia. Vuosittainen kokonaissähkönkulutus on vaihdellut 9000–10500 kWh välillä.

Voi siis todeta, että vastaavan tyyppinen nykyaikainen passiivitalo kuluttaa jopa puolet vähemmän sähköä kuin vastaava tavallinen talo. Kyseinen esimerkki on kuitenkin melko karkea, mutta erot ovat kuitenkin niin suuret, että johtopäätöksiä pystyy helposti tekemään.

Passiivitalon massiiviset rakenteet ovat hyödyksi myös kesällä. Rakennuksen jäähtymisen tarve on huomattavasti pienempi kuin tavanomaisilla rakennuksilla yleensä.

## 4.2 Ekologisuus

Passiivitaloissa energiansäästö yhdistetään muihin ekologisiin ratkaisuihin. Moniin passiivitaloihin asennetaan aurinkokeräimet lämmittämään käyttövettä. Aurinkokeräimillä pystytään tuottamaan jopa lähes 50 % vuotuisesta lämpimän käyttöveden tarpeesta. Kokonaisien aurinkolämmitysjärjestelmien hinnat vaihtelevat noin 1500 eurosta aina 10 000 euroon varustelutasosta ja koosta riippuen. (Aurinkolämmitys, [Viitattu 21.4.2013].)



Kuvio 2. Aurinkokeräimen toimintaperiaate (Aurinkolämmitys, [Viitattu 21.4.2013].)

Passiivirakentamisessa, kuten kaikessa muussakin rakentamisessa, voitaisiin käyttää myös kierrätysmateriaaleja hyväksi. Eräs tunnetuimmista ekologisista rakennusmateriaaleista lienee puukuidusta tehty Ekovilla. Yleensäkin puuperäiset materiaalit ovat aina ympäristöystävällisempi vaihtoehto kuin esimerkiksi muovit ja metallit.

## 5 PASSIIVIRAKENTEIDEN HAITAT

### 5.1 Haasteet rakentamisessa

Passiivirakentaminen aiheuttaa monia haasteita rakentamiselle, joita ei tavallisessa rakentamisessa välttämättä olisi. Monikaan urakoitsija ei ehkä koskaan tule rakentaneeksi passiivitaloa, ja vain harva tekee useamman kuin yhden. Näin ollen kokemusta ja tietoa asiasta ei ole.

Tärkein asia passiivitalon rakentamisessa on eristeiden huolellinen ja oikeaoppinen asennus. Eristekerroksien ollessa paksuja, niiden asentaminen on vaikeampaa. Paksuja villakerroksia asennettaessa runkotolppien väliin on mahdollista, että villat eivät asetu nurkistaan täydellisesti. Villalevyn nurkka tai koko reuna saattaa pusertua kasaan, jolloin villa ei täytä koko tilaa. Tästä syystä käytettäessä paksuja villakerroksia ne tulisivat asentaa rungon molemmilta puolilta. Eli rungon eristäminen pitäisi tehdä heti kun runko on pystyssä ja kattorakenteet tehtynä. Tässä on tietenkin omat riskinsä sääolosuhteiden takia, koska rakenteisiin ei saisi päästä kosteutta missään vaiheessa.

Lämmöneristämisen vaatimukset:

Eristystyötä tekevä henkilö on perehtynyt työhönsä. Lämmöneristystyössä tulee noudattaa suunnitelmia ja valmistajan ohjeita. On tarkistettava, että tuote vastaa suunnitelmia. Eristystuotteen koko valitaan kohteittain niin, että vältetään turhilta saumoilta. Eristämisessä käytetään mahdollisimman ehjiä levyjä ja mattoja. Lämmöneriste asennetaan tiiviisti eristettävään rakenteeseen. (RT 14-11103 2013, 225.)

Toinen huomion arvoinen asia passiivirakennetta tehdessä on höyrynsulun asentaminen. Höyrynsulkukalvo täytyy olla oikeassa rakennekerroksessa, johon pääsuunnittelija on sen suunnitellutkin. Yleensä normitaloissa höyrynsulkukalvon saumoja ei teipata, mutta passiivitaloissa se on välttämätöntä. Teippaaminen tulee tehdä sellaisella teipillä, joka on tarkoitettu kyseiseen tehtävään. Monet yleisesti käytetyt teipit kuivuvat jo muutaman vuoden jälkeen, jolloin ne irtoavat saumoistaan. Jos kalvo kiinnitetään niittaamalla, niittien kohdat on joko teipattava tai peitettävä liimamassalla.



Rakenteiden tiivistäminen, liitokset:

Tiivistyksen yhteydessä kiinnitetään huomiota liitoskohtien tiiviyteen. Tiivistekerroksen läpäisemistä vältetään. Kalvomaisten tiivistystuotteiden saumojen tulee olla tuen kohdalla limisaumoja tai tehty muuten riittävän varmalla saumausmenetelmällä, joka ei heikennä rakennusosan tiiviyttä. Ikkuna- ja oviaukkojen reunat tiivistetään rakennusosan tiiviyttä vastaavaan tasoon. (RT 14-11103 2013, 227.)

Eriyisen tärkeää on liitosten suunnittelu. Passiivirakenteissa tulee välttää sellaisia ratkaisuja, joissa syntyy kylmäsiltoja. Tästä syystä suunnittelussa on hyvä olla mukana useampi henkilö, jolloin joku tarkistaa suunnitelmat. Näin mahdolliset virheet huomataan paremmin tai kehitetään vieläkin parempia ratkaisuja.

Kylmäsiltojen välttäminen on erityisen haastavaa perustuksien ja rungon liitoksissa. Moniosaisissa rungoissa vain yksi osa puurungosta saa olla yhteydessä perustukseen. Rungon ulko- tai sisäpuolella olevat lisäkoolaukset eivät saa ulottua perustuksiin asti, ja väliin jäävä tila on täytettävä eristeellä. Lisäksi itse perustukset on eristettävä paremmin kuin normitaloissa on yleensä tapana. Liitteessä 3 on esitetty ulkoseinän ja perustusten liitos. Kyseinen rakenne on peräisin suunnittelemastani passiivitalosta.

Rakennusaikaisen kosteuden poistaminen on tärkeää, ja sitä pitää tehdä riittävän kauan. Eristeiden asentamisen jälkeen on käytettävä ilmankuivaimia, kunnes sisäilma on riittävän kuivaa. Höyrynsulun sisäpuolinen lämmöneriste asennetaan rakenteeseen vasta, kun suurin osa rakennuskosteudesta on kuivunut.

## 5.2 Passiivirakenteiden kosteusongelmat

Paksuja eristekerroksia käytettäessä on väistämättömänä seurauksena rakenteiden kosteusteknisien ominaisuuksien muuttuminen. Eristekerroksia kasvatettaessa rakenteen läpi tapahtuvat lämpöhäviöt pienentyvät. Tästä on seurauksena rakenteiden ulko-osien viileneminen ja suhteellisen kosteuden nousu.

Vaipparakenteiden lämmöneristävyyden lisääminen muuttaa rakenteiden kosteusteknistä toimintaa epäedulliseen suuntaan. Rakenteiden kuivumiskyky ja sitä kautta niin sanottu vikasietokyky heikkenevät. Tämä johtuu siitä että rakenteiden läpi johtuva kuivattava ilmavirta pienenee suorassa suhteessa U-arvon pienenemisen kanssa. Rakenteiden kastumista tapahtuu useammin ja se on suurempaa, ja kosteuden poistuminen kuivumalla hidastuu. Tällä on suuri merkitys niin rakentamiskäytön vaiheissa kuin käyttövaiheissa. Vähäisetkin sisäilman vuodot vaipparakenteiden läpi tai pienet vesivuodot rakenteisiin saattavat johtaa vaurioiden syntymiseen. Kuivumiskyvyn heikkeneminen aiheuttaa ongelmia etenkin ala- ja yläpohjarakenteissa. (Lahdensivu ym. 2012.)

Rakenteiden kuivumiskyvyn heikkeneminen lisää myös riskiä homekasvustojen muodostumiselle. Tämä on varmasti tulevaisuudessa vielä suurempi ongelma, koska ilmastonmuutos tuo mukanaan Suomeen yhä kosteampia sää-oloja, jotka suosivat homeen kasvua. (Lahdensivu ym. 2012.)

### **5.3 Sisäilman laadun heikkeneminen**

Ulkoseinien tiivyyttä parannettaessa sisäilman laatu saattaa heiketä. Tämän takia rakennuksen ilmanvaihtoon on kiinnitettävä erityistä huomiota. IV-laitteisto täytyy olla riittävän tehokas, ja sitä on myös käytettävä riittävällä teholla. Laitteiston toimivuus ja säädöt tulee tarkastaa huolellisesti, ja mahdolliset puutteet korjata. Väärin säädetty ilmanvaihto aiheuttaa paine-eroja, jotka voivat johtaa kosteusvaurioriskiin. (Lahdensivu ym. 2012.)

## 6 ESIMERKKIRAKENTEET

### 6.1 Esimerkkirakenteiden suunnittelu

Esimerkkirakenteet on suunniteltu käyttäen apuna eristevalmistajien, kuten Isoverin, Parocin ja SPU-Eristeiden, suunnitteluoppaita. Rakenteiden piirtämisessä on käytetty CADS Planner House ohjelmistoa. Rakenteiden U-arvojen laskennassa käytettiin Puuinfo Oy:n laskentaohjelman versiota 1.03.

Lähes kaikki eristevalmistajat ovat jo alkaneet kehittää omia passiivirakenteitaan, ja monet talopakettivalmistajat ovat ottaneet mallistoonsa myös passiivitaloja. Rakenteiden suunnittelu vaatii kuitenkin kehitystä esimerkiksi liitosten osalta.

Esimerkkirakenteet on tarkoitettu käytettäviksi lähinnä asuinrakennuksia varten. Ratkaisut ovat mahdollisimman yksinkertaisia niiden toimivuuden varmistamiseksi ja työn määrän saamiseksi mahdollisimman pieneksi.

### 6.2 Vertailurakenteet

Ulkoseinien vertailurakenteena käytetään liitteestä 4 löytyvää rakennetta. Kyseinen ratkaisu on suunniteltu siten, että se täyttää nykyisen minimi U-arvovaatimuksen. Seinärakenteen ollessa mahdollisimman ohut materiaali- ja työ- kustannukset ovat pienimmillään.

Ala- ja yläpohjarakenteiden kustannuksia verrataan käyttämällä samaa rakennetta, mutta erilaisella eristepaksuudella. Näin ollen liitteestä 8 löytyvä yläpohjarakenne ajatellaan normirakenteena vähentämällä puhallusvillan osuutta, mutta säilyttämällä mineraalivillakerros samanlaisena.

Taulukko 2. Esimerkkirakenteiden U-arvot. (Puurakenteen U-arvon määrittäminen 2012.)

Rakenne	kokonaispaksuus (mm)	U-arvo(W/m <sup>2</sup> K)
Normitalon ulkoseinä	264	0,17
Passiivi US1	422	0,1
Passiivi US2	524	0,09
Passiivi US3	354	0,095
Passiivi YP	585	0,07
Passiivi Ap	400	0,07

### 6.3 Esimerkkirakenteet

Rakenteiden energiatehokkuuden parantaminen tarkoittaa tietysti muutoksia rakenteiden runkopaksuuksiin, eristetyyppeihin, kiinnityksiin ja liitoksiin. Ylileveiden runkotolppien käyttäminen ei ole järkevää, ja pientaloissa riittävä kantavuus saavutetaan yleensä noin 100–125mm leveillä runkotolpilla. Esimerkkirakenteista US 1 ja 3 on toteutettu tavallisella sahatavarasta tehdyllä rungolla, ja US 2 kertopuusta tehdyllä rungolla. Liitteissä olevista rakennekuvista selviää tarkat tiedot käytetyistä materiaaleista.

Esimerkkirakenteet ala- ja yläpohjasta ovat hyvin tyypillisiä rakenteita. Niiden eristepaksuutta vain lisätään, jos halutaan paremmin eristävä rakenne. Kuvat ylä- ja alapohjasta löytyvät liitteistä 3, 8 ja 9.

## 7 RAKENTEIDEN KUSTANNUSVERTAILU

### 7.1 Vertailumenetelmät

Rakenteiden kustannuksien vertailu suoritetaan tarkastelemalla jokaiselle mallirakenteelle laskettua neliöhintaa [€/m<sup>2</sup>]. Tässä tapauksessa neliöhintojen tarkastelu on järkevintä havainnollistavimman hinnan saamiseksi, koska eristeiden laskenta suoritetaan muutenkin neliöinä.

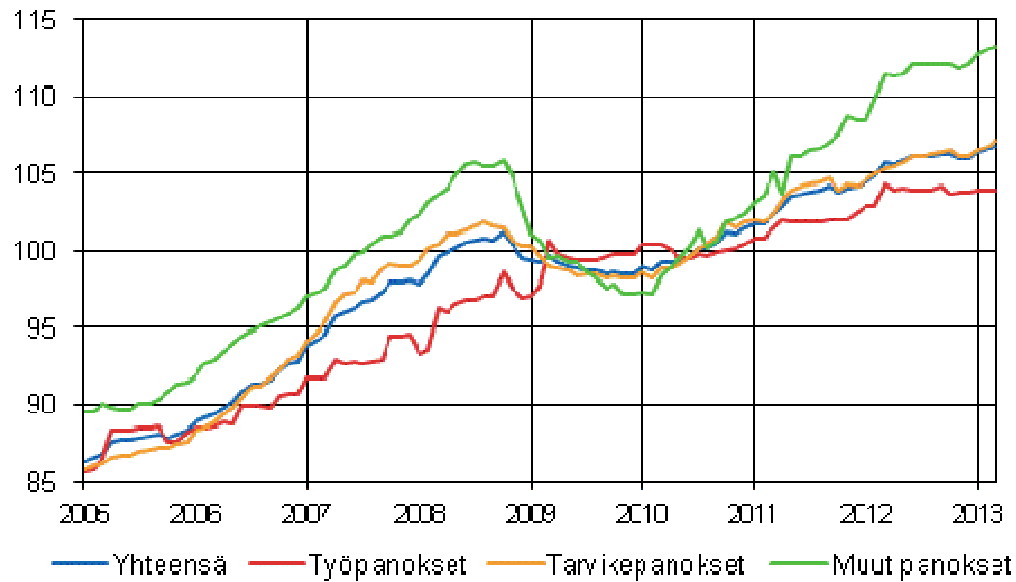
Rakennusmateriaalien hinnat ovat nettirautakauppa Taloon.com:in listahintoja. Hinnat on luettu 27.3.2013. Kaikki hinnat sisältävät arvonlisäveron 24 %. Olen huomannut, että Taloon.com hinnat ovat hyvin lähellä tavallisten rautakauppojen hintoja. Toki tavallisista kaupoista saa monesti alennusta, jos avaa esimerkiksi rakentajantilin. Tällöin kysymykseen tulevat paljous- ja muut alennukset.

Laskettuihin neliöhintoihin ei sisälly seuraavia asioita ja rakennusmateriaaleja:

1. Työn osuus
2. Kiinnikkeet, eli naulat ja ruuvit
3. LVIS- asennukset ja työt
4. Ulkoverhouksen pintakäsittely
5. Sisäverhouksen pintakäsittely.

Taulukko 3. Eristemateriaalien hinnat. (Taloon.com, [Viitattu 27.3.2013].)

Rakennusmateriaali	paksuus (mm)	€/m <sup>2</sup>
Runkoleijona	25	7,47
Viiisnurk runkolevy	25	5,5
Gyprok tuulensuojakipsilevy	9	4,14
Styrox EPS 100 lattia	50	3,16
	100	6,32
Finfoam FI-300 suora	100	12,56
Isover puhallusvilla	yli 70m3	28,4
Tuulileijona	12	3,55
Rockwool Flexi-Batts vuorivilla	50	3,61
	100	5,82
	150	8,65
Isover mineraalivilla KL-33 (560x870)	50	5,11
	100	8,27
	150	12,52
Isover KL-37 (560x870)	50	3,52
	100	5,75
	150	8,52
Isover RKL-31 Facade	30	11,58
	50	13,95
Paroc Extra vuorivilla (565x1170)	50	4,22
	100	6,54
	150	9,91
SPU AL polyuretaanilevy (1200x2400)	50	18,47
	100	6,54
	150	9,91
SPU Sauna-Satu (600x1200)	30	17,92



Kuvio 3. Rakennuskustannusindeksi 2010=100

Rakennuskustannukset ovat nousseet noin prosentin verran vuoden 2012 maaliskuun ja 2013 maaliskuun välisenä aikana. Rakentamiskustannusindeksiin vaikuttavat rakennustöiden ja -materiaalien hintakehitys sekä muut rakennuskustannukset. Rakentamiskustannuksia ovat kasvattaneet viime aikoina muun muassa tiukentuneet rakentamismääräykset. (Tilastokeskus 2013.).

## 7.2 Kustannukset

Esimerkkirakenteista laskettujen neliöhintojen tulokset ovat melko selkeitä. Jos ajateltaisiin että hyvin tavallisen kokoisessa omakotitalossa olisi pohjapinta-alaa 160 m<sup>2</sup> (10 x 16 m) ja seinäkorkeus olisi 3m, ulkoseinän pinta-alaksi muodostuisi 156 m<sup>2</sup>. Normitalon ulkoseinärakenne maksaisi noin 41 euroa neliöltä, jolloin ulkoseinien kokonaishinnaksi muodostuisi 6400 €. Passiivirakenteista kalleimmaksi tuli US3, jonka neliöhinta kipusi peräti 95,20 euroon. Tällöin samankokoisen talon seinät maksaisivat 14 850 euroa.

Passiiviulkoseinä 1:n hinnaksi muodostui 65,20 € ja ulkoseinä 2:sen 89,40 €. Tästä huomataan, että halvimman passiivirakenteen ja normirakenteen ero on vain reilut 24 euroa neliöltä. Voidaankin siis todeta, että passiivirakenteet eivät siis ole kovin kalliita.

Vaikka ero on prosentuaalisesti suuri kalleimman ja halvimman välillä, ei erotus 8450 € ole kuitenkaan pitkällä tähtäimellä kovin suuri. Ylä- ja alapohjan osalta ei ero ei ole näinkään iso, ja niitä ei välttämättä aivan minivaatimuksien mukaan ole järkevää rakentaa. Pientalorakentamisessa LVI-työt ja perustukset ovat yleensä se kaikkein kallein osa koko projektia. Passiivitalossa LVI-työt vastaavasti pudottavat kokonaiskustannuksia, koska lämmitysjärjestelmää tarvitaan vain käyttöveden lämmittämiseen.

Rakenteiden kustannukset olivat yllättäviä, koska ulkoseinien hinta muodostui lopulta melko pieneksi, kun ajatellaan kokonaisuutta. Pienenkin omakotitalon kokonaiskustannukset kipuavat helposti 100 000 euroon, mistä 6400 € ulkoseinille on lähes mitätön summa.



Taulukko 4. Esimerkkirakenteiden neliöhinnat.

Rakenne	€/m <sup>2</sup>
normitalon ulkoseinä	40,95
Passiivi US1	65,2
Passiivi US2	89,4
Passiivi US3	95,2
Passiivi YP	25,6
Passiivi AP	47,7

## 8 YHTEENVETO

Passiivirakentaminen on tulevaisuuden rakennusmuoto. Se tulee varmasti lisääntymään myös Suomessa, jähka asiasta saadaan lisää tutkimustuloksia ja kokemuksia. Tällä hetkellä passiivitalon rakentaminen vaatii kuitenkin halua kehittää rakentamista ja rohkeutta kokeilla uutta. Passiivirakentaminen vaatii varmasti vielä lisää kehittämistä niin rakenteisiin kuin materiaaleihinkin.

Suomen vaihtelevat sääolosuhteet ja globaali ilmastonmuutos asettavat omat vaatimuksensa myös passiivirakenteille. Paksujen eristekerroksien käyttäytymistä pitkällä aikavälillä ei ehkä kukaan pysty varmasti arvioimaan tai laskemaan. Vain aika näyttää rakenteiden toimivuuden.

Vähäisestä kokemuksestani passiivirakenteiden parissa huolimatta, en kuitenkaan rakentaisi itselleni passiivitaloa. Haluan saada asiasta ensin pidemmän aikavälin kokemusta nimenomaan Suomen ilmastossa. Keski-Euroopassa, kuten Saksassa, kelit ovat kuitenkin niin erilaiset verrattuna Suomeen, että kaikkea ei voi sieltä suoraan kopioida.

## LÄHTEET

- Aurinkolämmitys. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. JN-solar.fi [Viitattu 21.4.2013]  
 Saatavissa:  
[http://www.jnsolar.fi/index.php?main\\_page=index&cPath=24&zenid=3b537cb8f0fe4a90283ef216d3f3a1ff](http://www.jnsolar.fi/index.php?main_page=index&cPath=24&zenid=3b537cb8f0fe4a90283ef216d3f3a1ff)
- Lahdensivu, J., Suonketo, J., Vinha, J., Lindberg, R., Manelius, E., Kunho, V., Saastamoinen, K., Salminen, K. & Lähdesmäki, K. 2012. Matalaenergia- ja passiivitalojen rakenteiden ja liitosten suunnittelu- ja toteutusohjeita. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Tutkimusraportti 160.
- Passiivi.info. Määrittely Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Passiivi.info. [Viitattu 21.4.2013]. Saatavissa: <http://www.passiivi.info/data.php?sivu=maarittely>
- Passiivitalo.net - Passiivitalon ja matalaenergiatalon määritelmät. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. Passiivitalo.net [Viitattu 21.4.2013] Saatavissa: <http://www.passiivitalo.net/mika-on-passiivitalo>
- Puurakenteen U-arvon määrittäminen. 31.1.2012 [Verkkajulkaisu]. Puuinfo. [Viitattu 21.4.2013] Saatavissa:  
<http://www.puuinfo.fi/rakentaminen/mitoitushjelmat/puurakenteen-u-arvon-maarittaminen>
- Rakennustuotteiden CE-merkintäpalvelut. Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. VTT Expert Services [Viitattu 21.4.2013] Saatavissa  
[http://www.vttexpertservices.fi/service/certification/ce\\_marking\\_building\\_products.jsp](http://www.vttexpertservices.fi/service/certification/ce_marking_building_products.jsp)
- RakMk C3. 2010. Rakennusten lämmöneristys. Suomen Rakentamismääräyskoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö, rakennetun ympäristön osasto.
- Rautakauppa Taloon.com. Ei päiväystä [Verkkajulkaisu]. Taloon.com . [Viitattu 27.3.2013] Saatavissa: <http://www.taloon.com/>
- RT 14–11103. 2013. SisäRYL. Helsinki: Rakennustieto.
- Standardit tutuksi – CE-merkintä. 2012. [verkkajulkaisu] Suomen Standardisoimisliitto SFS ry [Viitattu 1.5.2013] Saatavissa <http://www.sfs.fi/files/307/ce-merkinta2013.pdf>

Tilastokeskus. 2013. Rakennuskustannusindeksi.

The Passive House – historical review. Ei päiväystä. [verkkajulkaisu] Passipedia  
[Viitattu 1.5.2013] Saatavissa:  
[http://passipedia.passiv.de/passipedia\\_en/basics/the\\_passive\\_house\\_-\\_historical\\_review](http://passipedia.passiv.de/passipedia_en/basics/the_passive_house_-_historical_review)

## LIITTEET

Liite 1. Malli laskentaohjelman käytöstä sivu 1. Normitalon Ulkoseinän U-arvolaskenta.	1.
Liite 2. Malli laskentaohjelman käytöstä sivu 2.	2.
Liite 3. Ulkoseinän liittyminen perustuksiin	3.
Liite 4. Vertailurakenne: Normitalon Ulkoseinä	4.
Liite 5. Esimerkkirakenne US 1	5.
Liite 6. Esimerkkirakenne US 2	6.
Liite 7. Esimerkkirakenne US 3	7.
Liite 8. Esimerkkirakenne YP	8.
Liite 9. Esimerkkirakenne AP	9.

## LIITE 1

Suunnittelusivut		Työn no	Sivu
X		1	1 / 2
Päiväys		24.4.2013	Tekijä Ilkka Isomäki
Rakennusohje		Näyttö	
Opinnäytetyö		U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Ohjelmaversio 1.03

---

**RAKENTEEN TIEDOT** Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpöviran suunta vaakasuoraan) ▼

**RAKENNEKERROKSET**

Sisäpinta

1 Kipsilevy ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 13,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [λ] 0,250 W/mK

2 Ilman- ja höyrynsulku ▼

3 Lämmöneriste (sisältä koolauksen) ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 50,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [λ] 0,033 W/mK  
 Koolausuunta (p / v) v

4 Lämmöneriste (sisältä koolauksen) ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 150,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [λ] 0,033 W/mK  
 Koolausuunta (p / v) p

6 Kuitulevy ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 12,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [λ] 0,052 W/mK

8 Ei rakennekerrosta ▼

7 Ei rakennekerrosta ▼

8 Ei rakennekerrosta ▼

Ulkopinta

**ILMARAKOJEN TIEDOT**

Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuuletettava ▼

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 0 ▼

**METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT**

Muurausiteiden tyyppi Ei muurausiteitä ▼

**KOOLAUKSEN TIEDOT**

Koolauspuun leveys [b] 48 mm ▼  
 Koolauspuun lämmönjohtavuus [λ] 0,120 W/mK  
 Pystykoolauksen k-jako [s] 600 mm  
 Vaakakoolauksen k-jako [s] 600 mm

**RAKENNE / LÄMPÖVIRTA**

## LIITE 2.

Ohjelmaversio 1.03		
Suunnitelman nimi	Työn no	Sivu
X	1	2 / 2
	Pöytäno 41388	Tapa Iikka (osm&K)
Rakennuksen nimi	Sisätila	
Opinnäytetyö	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	λ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> /KW]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kipsilevy	13	0,250	0,0520		
2 Ilman- ja höyrystuiku	0,2	0,330	0,0006		
3 Lämmöneriste (sisätilästä koolauksen)	50	0,033	1,2513	48	600
4 Lämmöneriste (sisätilästä koolauksen)	150	0,033	3,7538	48	600
6 Kuitulevy	12	0,052	0,2308		
Ulkopinta			0,1300		

Rakenteen kokonaispaksuus **226 mm**

Ulkopuoli

Sisäpuoli

**MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI**

El muuraussiteitä

**OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOBUUDET**

f <sub>a</sub>	0,846	Eriste
f <sub>b</sub>	0,074	Pystykoolaus
f <sub>c</sub>	0,074	Vaakakoolaus
f <sub>d</sub>	0,006	Koolausristeys

**OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET**

R <sub>a</sub>	6,604	m <sup>2</sup> /KW
R <sub>b</sub>	3,309	m <sup>2</sup> /KW
R <sub>c</sub>	5,505	m <sup>2</sup> /KW
R <sub>d</sub>	2,210	m <sup>2</sup> /KW

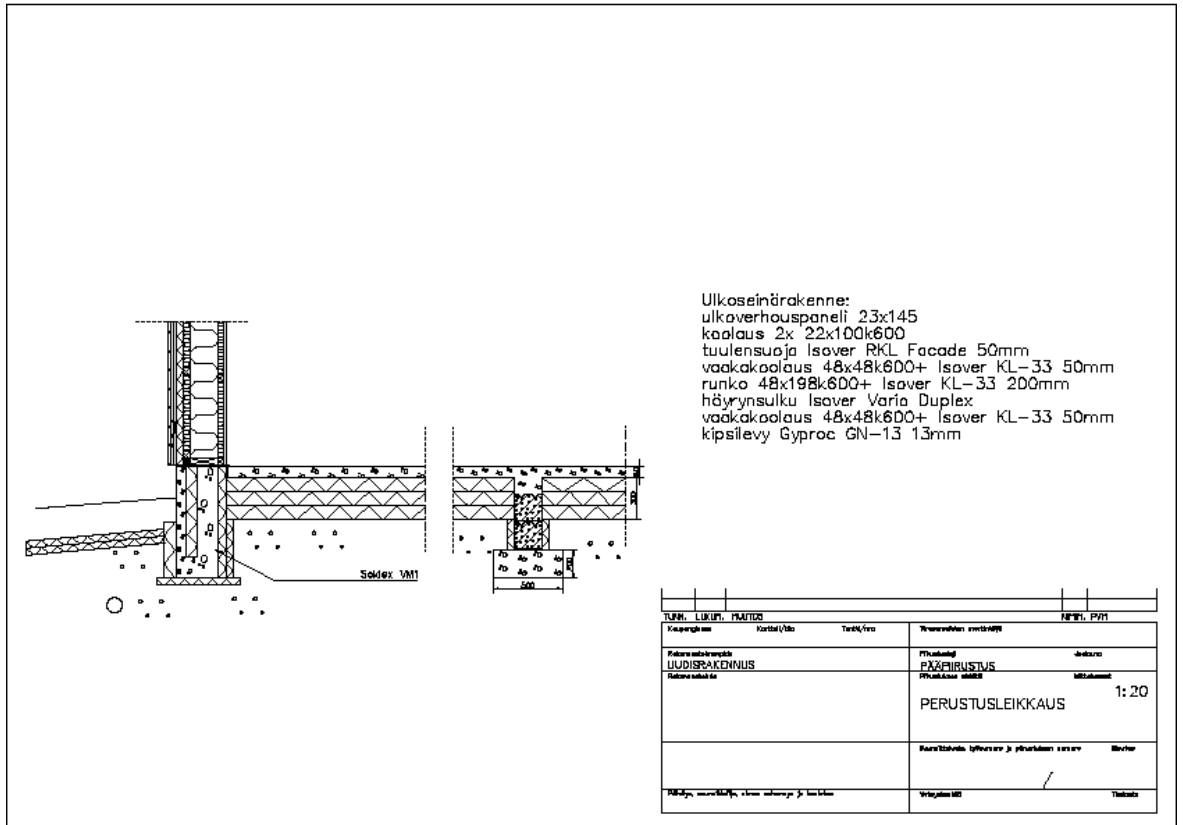
**U-ARVO**

R <sub>T</sub>	6,000	m <sup>2</sup> /KW
R <sub>T</sub> '	5,548	m <sup>2</sup> /KW
U	0,173	W/m <sup>2</sup> /K
ΔU*	0,000	W/m <sup>2</sup> /K
ΔU <sub>0</sub>	0,000	W/m <sup>2</sup> /K
ΔU <sub>1</sub>	0,000	W/m <sup>2</sup> /K

**ULKOSEINÄN U-ARVO**

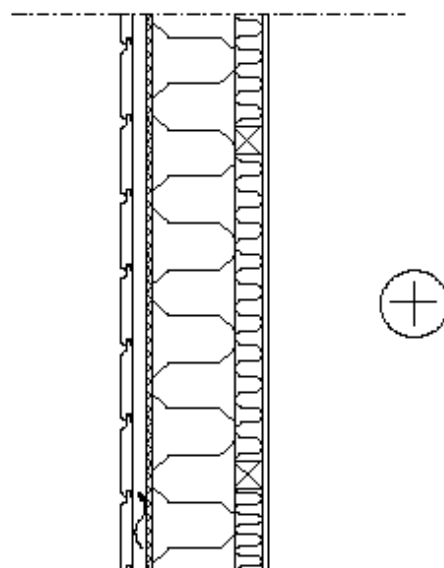
U<sub>0</sub> = 0,1732 W/m<sup>2</sup>/K

VIRHEILMOITUKSET

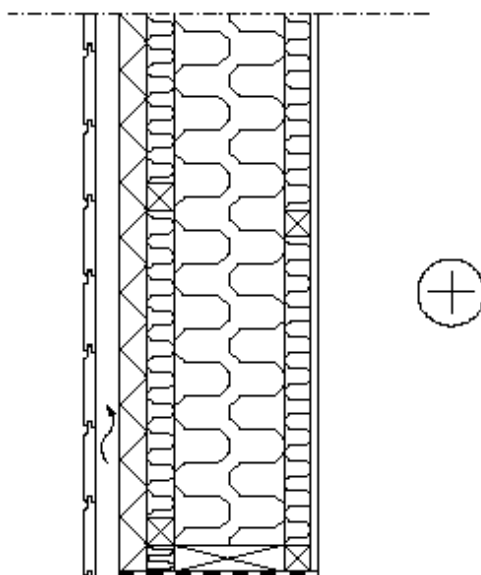




Ulkoseinärakenne:  
Ulkoverhouspaneli 21x145mm  
Koolaus 22x100K600  
Tuulensuojalevy Viisnurk 12mm  
Kantava runko 48x148K600 + Isover KL-33 150mm  
Höyrynsulkukalva  
Vaakakoolaus 48x48K600 + Isover KL-33 50mm  
Kipsilevy Gyproc GN-13 13mm



Ulkoseinärakenne:  
Ulkoverhouspaneli 21x145mm  
Koolaus 2x 22x100K600  
Tuulensuoja Isover RKL Facade 50mm  
Vaakakoolaus 48x48K600 + Isover KL-33 50mm  
Kantava runko 48x198K600 + Isover KL-33 2x100mm  
Häyränsulku Isover Vario Duplex  
Vaakakoolaus 48x48k600 + Isover KL-33 50mm  
Kipsilevy gyproc GN-13 13mm



**Ulkoseinärakenne:**

Ulkoverhouspaneli 21x145mm

Koolaus 22x100K600

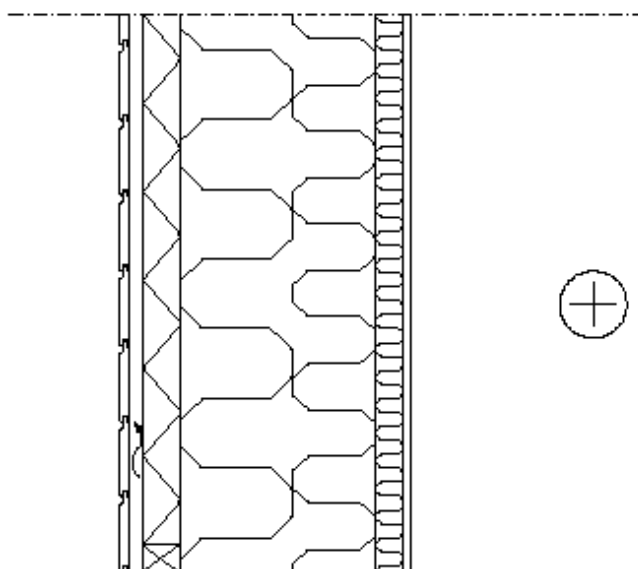
Koolaus 68x50K1200 + Paroc Renova n 70mm

Kantava runko, kertopuu 50x350K600 + Paroc eXtra 200mm+150mm

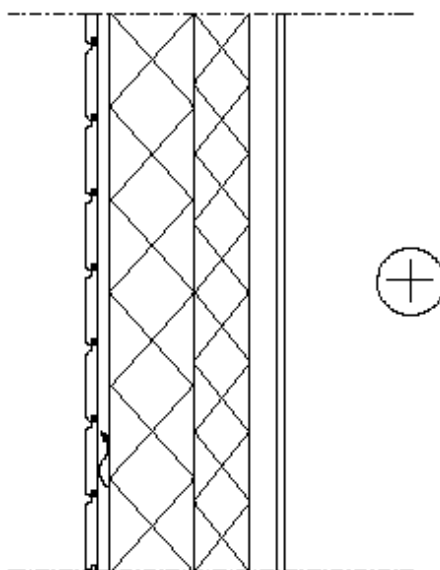
Höyrynsulkukalvo

Pystykoolaus 50x50K600 + Paroc eXtra 50mm

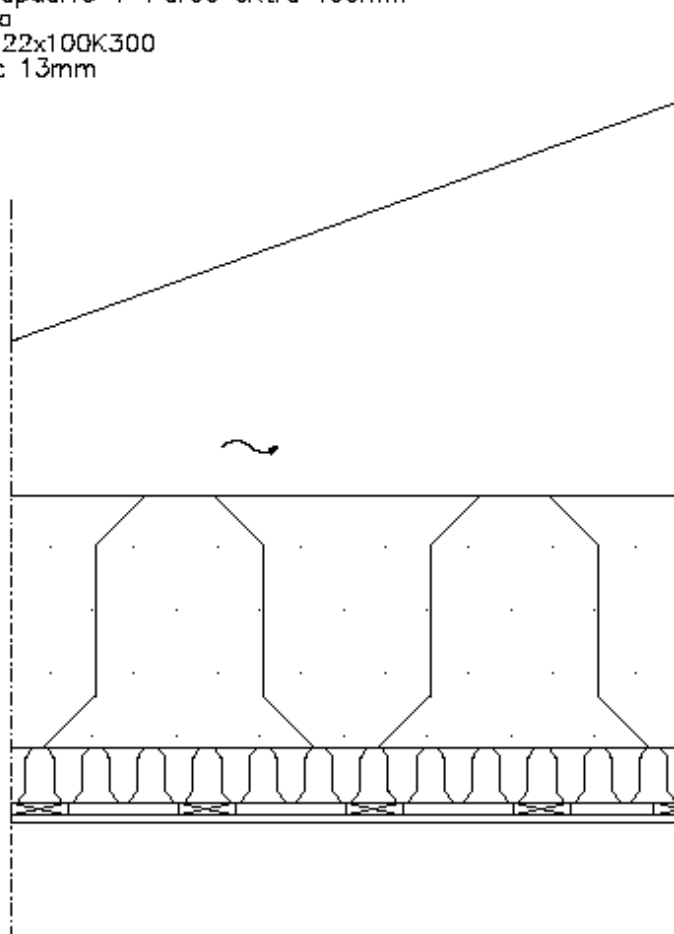
Kipsilevy Gyproc GN-13 13mm



Ulkaseinärakenne:  
Ulkoverhouspaneli 21x145mm  
Koolaus 22x100K600  
SPU AL 150 150mm  
Kantava runko 48x148K600 + SPU AL 100 100mm  
Asennus/ilmatila 48mm  
Kipsilevy Gyproc GN-13 13mm



Yläpohjarakenne:  
Vesikate ja vesikaton kantava rakenne rakennesuunnitelmien  
mukaan  
Tuulettuva ullakko  
Puhalluvilla Paroc BLT 6 450mm  
Kattoristikön alapaarre + Paroc extra 100mm  
Häyrynsulkukalva  
Harvalaudoitus 22x100K300  
Kipsilevy Gyproc 13mm



Alapohjarakenne ylhäältä alaspäin:  
Betoni­lattia 100mm  
Finnfaam F-300 3x100mm

