



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toni Erholtz

# PURURAKENTEISEN PIENTALON ENERGIAREMONTTI

Hinta ja riskit

Tekniikka  
2017

## TIIVISTELMÄ

Tekijä	Toni Erholtz
Opinnäytetyön nimi	Energiaremontti
Vuosi	2017
Kieli	suomi
Sivumäärä	42 + 13 liitettä
Ohjaaja	Marja Naaranoja

---

Tässä opinnäytetyössä selvitin vaihtoehdot purupientalon energiaremonttiin, jonka pääaiheena on purueristeiden vaihtaminen U-arvoltaan parempiin. Työn tarkoitus oli ottaa kantaa ekologiseen, kustannustehokkaaseen ja energiatehokkaaseen rakentamiseen. Parannusvaihtoehdoista omistaja valitsee mieleisensä vaihtoehdon remontin toteutukseen.

Työn eristevaihtoehdot antavat tarpeeksi laajan vaihtoehdon pientalon energiaremonttiin. Eristevaihtoehdot ja rakennussuositukset perustuvat alan kirjallisuuteen ja valmistajien tietolähteisiin.

Kustannukset laskettiin jokaisen eristeen kohdalla erikseen. Laskujen perusteella tehdään lopullinen kustannusarvio ja käydään läpi valitut vaihtoehdot. Eristysvaihtoehdoista valitaan kaksi lopulliseen vertailuun ja näistä valitaan omistajalle mieluisempi energiatehokkuuden parantamiseen.

Molemmat vaihtoehdot ovat toteutettavissa ja ovat hyviä vaihtoehtoja energiankulutuksen pienentämiseen. Tämä opinnäytetyö antaa hyvän lähtökohdan suunniteltavaan energiaremonttiin ja auttaa eristysvaihtoehdon valinnassa.

## ABSTRACT

Author	Toni Erholtz
Title	Energy Renovation of a Family House
Year	2017
Language	Finnish
Pages	42 + 13 Appendices
Name of Supervisor	Marja Naaranoja

---

The purpose of thesis was to examine different alternatives for the energy renovation of a house where the main issue was the replacement of old insulation material to new one. The purpose was also to examine and search ecological, environmental, cost-effective and energy-efficient alternatives.

The insulation alternatives given in the thesis will give enough alternatives to choose the insulation for energy renovation. Insulation alternatives and construction recommendations are based on literature in the field and information received from manufacturers.

Costs were calculated separately for every insulation alternative. Based on the results the final cost estimate will be made and the chosen alternatives will be reviewed. From the insulation alternatives two will be chosen for the final comparison and the house owner will choose their favourite material to improve the energy efficiency.

Both choices are feasible and are good choices to cut energy consumption. This thesis gives a good premise to an energy renovation and helps in choosing an insulation material.

---

Keywords                      Insulation, family house and energy efficiency

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	8
	1.1 Taustat.....	8
	1.2 Tavoitteet .....	8
	1.3 Tutkimusmenetelmät.....	8
2	HISTORIAA.....	10
3	MATERIAALIN VALINTAAN VAIKUTTAVAT SUUREET .....	13
4	PURURAKENTEISEN PIENTALON ENERGIAREMONTTI .....	16
	4.1 Materiaalin valinta .....	16
	4.2 Ekologisuus.....	17
	4.3 Rakenteet.....	20
	4.4 Hengittävyys .....	21
	4.5 Eristysvaihtoehdot.....	22
	4.5.1 Sahanpuru.....	22
	4.5.2 Selluvilla .....	23
	4.5.3 Kivivilla .....	23
	4.5.4 Polyuretaani.....	24
	4.5.5 Vuorivilla .....	24
	4.5.6 Höyrynsulkumateriaali .....	25
	4.6 Korjauksen riskit.....	26
5	ESIMERKKITALO.....	27
	5.1 Talon lähtötiedot .....	27
	5.2 Rakenteiden mitat .....	27
	5.3 Kustannusvertailu .....	28
	5.3.1 Laskentakaavat ja materiaalien hinnat .....	28
	5.3.2 Sahanpuru.....	30
	5.3.3 Selluvilla .....	30
	5.3.4 Kivivilla .....	30

5.3.5	Polyuretaani.....	30
5.3.6	Vuorivilla .....	30
5.3.7	Höyrynsulkupaperi.....	30
5.3.8	Mitoitusohjelmat .....	30
6	KORJAUS VAIHTOEHDOT .....	33
6.1	Lähtötiedot .....	33
6.2	Korjausvaihtoehto 1 .....	33
6.3	Korjausvaihtoehto 2 .....	36
6.4	Vaihtoehtojen vertailu.....	37
7	JOHTOPÄÄTÖKSET .....	39
8	LÄHTEET .....	40

## LIITTEET

## **TERMIT JA MÄÄRITELMÄT**

Termit ja määritelmät on lainattu kirjallisuudesta (Talotohtori, Kaila 1997) /1/, (Talosi / Säästä energiaa 2012) /2/, (Suomen rakentamismääräyskokoelma 2010) /3/, (Ekologia, ympäristö, ihminen, Erat 1994) /4/, (RT-korttiVA.pdf) ja (RK080303.pdf) /8/.

### **Λ-ARVO**

Λ-arvo on rakennusaineiden lämmönjohtavuutta kuvaava suure. Λ-arvo ilmoittaa, montako wattia tehoa siirtyy sekunnissa neliömetrin kokoisen ja metrin paksuisen tasalaatuisen ainekerroksen läpi, kuin lämpötilaero sen eri puolilla on yksi aste.

### **U-ARVO**

U-arvo on lämmönläpäisykerroin. U-avolla tarkastellaan lämpövirran tiheyttä, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen.

### **VESIHÖYRYLÄPÄISEVYYS**

Vesihöyryläpäisevyys  $\delta_p$  tai  $\delta_v$ , ilmoittaa vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayksikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyrypitoisuuksien ero tai vesihöyryn osapaineen ero ainekerroksen eri puolilla on yksikön suuruinen.

### **HENGITTÄVÄ RAKENNE**

Rakenne, jossa diffuusion avulla siirtyvä vesihöyry kiinnittyy hygroskooppiseen eristeeseen ja irtaantuu eristeestä helposti takaisin ympäristöön. Hengittävään rakenteeseen ja sen läpi voi diffusoitua vesihöyryyn lisäksi myös muita kaasuja, kuten hiilidioksidia. Rakenteen hengittävyydellä on keskeinen osuus terveelliseen kosteuteen huoneilmassa.

**LIITELUETTELO**

- LIITE 1** Pohjapiirustus kellari
- LIITE 2** Pohjapiirustus alakerta
- LIITE 3** Pohjapiirustus yläkerta
- LIITE 4** Julkisivut
- LIITE 5** Leikkaus A-A
- LIITE 6** E-luku
- LIITE 7** U-arvo puruseinä
- LIITE 8** U-arvo kivivillaseinä
- LIITE 9** U-arvo selluvillaseinä
- LIITE 10** U-arvo puruvälipohja ja yläpohja
- LIITE 11** U-arvo kivivillavälipohja ja yläpohja
- LIITE 12** U-arvo selluvillavälipohja ja yläpohja
- LIITE 13** U-arvo polystyreeniyläpohja

# 1 JOHDANTO

## 1.1 Taustat

Yksi suurimmista maailmanlaajuisista ympäristöuhista on ilmastonmuutos, joka johtuu ilmakehässä olevista kasvihuonekaasuista. Ilmastonmuutoksen suurimpana syynä on fossiilisten polttoaineiden käyttö. Rakennukset kuluttavat lähes 40 prosenttia Euroopassa käytettävästä primäärienergiasta, joka on yli kaksi kertaa yhtä paljon kuin liikenteen energiankulutus. Maapallon hiilidioksidipäästöistä suuri osa tulee rakennusten energiankulutuksesta. /10/

Siksi onkin tärkeää pysähtyä miettimään, ja tarkastelemaan miten oleva ja tuleva asuntokantamme pidetään kunnossa ja rakennus korjataan ekologisesti ja energia-ystävällisesti tulevia sukupolvia ajatellen.

## 1.2 Tavoitteet

Tämän työn tarkoituksena on etsiä vaihtoehto pientalon energiaremontille koskien eristäviä ulkoseiniä ja välikattoa. Työssä käsitellään 1940-luvulla rakennetun pientalon energiatehokkuuden parantamista. Talo on rakennettu 40-luvun rakennustapaa noudattaen sahanpurutäytteiseksi. Talo on eristyksiltään alkuperäiskunnossa ja kuiva kauttaaltaan. Selvitän työssäni sahanpurun palo-, kosteus-, ja lämpöeristävyysominaisuudet sekä vertailen niitä uusiin eristeisiin energiataloudellisuuden ja ekologisen näkökulman kautta.

Työssä tutkin myös eristeiden vaihdon riskejä lämpövuotojen osalta ja sitä, antaa-ko uusi eristys lisäarvoa asukkaille. Kustannusten määräytyminen ja takaisinmaksuaika ovat osaltaan ratkaiseva tekijä tässä työssä. Työn lopputuloksena kerron suositukseni eristysremontiksi ja sen, onko hankkeeseen kannattavaa ryhtyä.

## 1.3 Tutkimusmenetelmät

Työssäni käytän eri lähteitä, kuten rakennusalan kirjallisuutta, artikkeleita, netti-kauppaa ja RT-kortteja. Tutkin rakenteet yhdessä talon omistajan kanssa, joka te-



kee lopullisen päätöksen korjausvaihtoehdosta. Laskelmat teen lähteistä ja talosta saatavilla tiedoilla.

## 2 HISTORIAA

Rakennuksien lämmityksen ja ilmanvaihdon parannussuunnittelu alkoi viime vuosisadalla terveydellisten kysymysten parissa. Perustan tälle kaikelle loi saksalaisen Max von Petterkoferin vuonna 1858 julkaisema kirja Kokeita asuinrakennusten ilmanvaihdosta. /1/

J. Strömberg esitti 1914 Teknillisessä käsikirjassa kaavan lämmön läpikulkukertoimen  $k$  laskemiseksi.  $K$  oli ”lämmönpaljous lämpöyksikköinä”. Kirjan mukaan ”lämpöyksikköä sanotaan kaloriiaksi”, eli  $K$ -arvo on lyhennys sanasta kaloriarvo. Strömbergin tutkimuksien perusteella hän esitti hirsiseinän  $K$ -arvoksi vuoraamattomana  $0,8 - 0,6$  (nykymitoin  $0,9 - 0,7$ ) ja vuorattuna  $0,5 - 0,4$  ( $0,6 - 0,5$ ).  $60$  cm:n tiiliseinän arvo oli  $1,0$  ( $1,2$ ) ja  $30$  cm:n täytteellä varustetun välikaton  $0,40$  ( $0,47$ ). ”Numeroarvo vaihtelee eri henkilöiden tekemien kokeiden mukaan jonkun verran. /1/

Suomenkielisten Teknikkojen Seura, Suomen Arkkitehtiklubi ja Suomen Rakennusmestariiliitto asettivat Rakennusaineiden Normaalimääräyskomitean. Komitean tutkimusten mukaan julkaistiin vuonna 1915 ehdotus keskuslämmityslaitosten määräyksiksi. Julkaisussa määriteltiin meille ensi kerran virallisesti laskelmissa käytettävät rakenteiden lämmönsiirtymisluvut eli  $K$ -arvot, esim.  $60$  cm:n tiiliseinä,  $K = 0,98$  (nykymitoin  $1,14$ ),  $15$  cm:n hirsiseinä,  $K = 0,60$  ( $0,70$ ) ja sama varustettuna ulkolaudoituksella, sen alla olevalla kattohuovalla sekä sisäpuolisella seinäpaperilla,  $K = 0,5$  ( $0,6$ ). Eri rakenteille ei vielä tässä vaiheessa asetettu vähimmäisvaatimuksia, vaan lämmitysjärjestelmiä mitoitettiin rakenteiden mukaan. /1/

Perusteelliset kokeet lämmönläpäisyn mittaamiseksi aloittivat insinöörit H. Kreüger ja A. Eriksson Ruotsissa 1920 – 1923. He määrittivät  $\lambda$ - ja  $k$ -arvoja sekä eri paikkakuntien lämmönkulutuslukuja. Suomessa  $k$ -arvoja alettiin julkaisemaan säännöllisesti vuonna 1937 rakentajain kalenterissa. Vuonna 1946 Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT laati lämmöneristyksistä ja niiden taloudellisesta pak-suudesta ohjeen. Vuonna 1949 VTT julkaisi rakennusmateriaalien suomalaiset  $\lambda$ -arvot sekä rakenteiden  $k$ -arvot julkaisussa ”Asuinrakennusten seinämien lämmönläpäisyluvut ja niiden suositeltavat enimmäisarvot”. /1/

Suomessa eristystä mitoittaessa kahden kiven tiiliseinän eristyskyky oli referenssinä. Tekniikan käsikirja vuodelta 1952 totesi: ”Mikäli kysymys on eristämisestä ulkoilmaa vastaan, eristyskyky on oleva sama kuin 57 cm paksuisen seinän punaisista tiilistä: tällaisen seinän lämmönläpäisykertoimena on mainittu arvo  $k = 0,85$  (nykymitoin 0,98).”/1/

Vuonna 1962 rakennusinsinööriyhdistys laati asuinrakennusten lämmöneristysnormit. VTT uusi normit 1969, mutta vuonna 1972 energiakriisin vallitessa tarkastettiin normeja uudelleen. Sisäasianministeriö hyväksyi energiansäästöön tähtäävät normit vuonna 1975. Vieläkin voimassa olevat, mutta tiukentuneet lämmöneristysohjeet ovat vuodelta 1978 ja eri rakenteita koskevat määräykset vuodelta 1985. Näiden normien mukaan seinän  $k$ -arvon tulee olla 0,28 eli eristävyyttä on oltava vanhaan nähden peräti 3,5-kertaisesti. Ylä- ja alapohjan  $k$ -arvo vaatimus on 0,22 ja ikkunan 2,1. /1/

Toisaalta säästäminen energiassa ja lisäeristämisen tuoma tiivistäminen on jo rekisteröity sairastilastoissa, kirjoitti professori Mikko Raatikainen Jyväskylästä vuonna 1981. Rakennusten pitää hengittää, eikä se saa olla pelkästään koneellisen ilmanvaihdon varassa. Muovipussissa asumisen miellyttävyyttä sietää epäillä, vastusteli yllilääkäri Tari Haahtela vuonna 1985. Vuonna 1992 Raimo Mustonen toi väitöskirjassaan julki tiiviiden asuntojen aiheuttavan syöpää noin 100 – 250 ihmiselle vuodessa. Tutkimustulokset hukkuivat säästöintoilun alle. Ruotsissa on tilastoitu vielä hurjempia lukuja. /1/

Purutäytteiset lautatalot yleistyivät 1930 – 1940 luvuilla. Seinien lämpimyyteen kiinnitettiin huomiota ja purun sullomisesta ohjeistettiin hyvin. Täytteen laskeutuminen rakenteen sisällä estettiin sekoittamalla purun sekaan kutterin lastuja, eli höyläkoneen lastuja. Pienviljelijän rakennusopissa vuodelta 1933 neuvotaan, että täyteaineen tulee olla kuivaa ja sullonta tapahtuu sisälaudoituksen edessä. Vaakasuoria sidepuita ei saa olla esteinä purun painumisen vuoksi. Ullakkotilassa seinien yläpää jätettiin auki mahdollisen eristeen lisäämisen vuoksi. Ikkunan alle tuleva seinälauta jätettiin irrottavaksi mahdollisen eristeen lisäämisen vuoksi. Parhaana eristeenä pidettiin kuivia turvepehkuja, kutterinlastuja ja kuivia sahanpuru-

ja. Eristeiden joukkoon sekoitettiin lasinsiruja, katajan neulasia, kalkkia tms. Ikkunoiden alapuolinen rakenne tukittiin rakennuspahvilla vedon poistamiseksi. /1/

Sahanpurun tie tuli päätökseen vuonna 1966, jolloin mineraalivilla valtasi eristemarkkinat. Vuosittain julkaistu Rakenteiden yksikkökustannuksia kirja poisti tuolloin sahanpurun kirjastaan. /1/

2000-luvulla K-arvo unohdettiin ja siitä alettiin käyttämään nimeä U-arvo. U-arvo vaatimukset ovat melkein vuosi vuodelta tiukentuneet, josta rakennuksen vaippaan kuuluvan seinän, yläpohjan tai alapohjan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään  $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Lämpimän tilan ikkunan lämmönläpäisykerroin saa olla enintään  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja puolilämpimän enintään  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$ . /13, 22/

### 3 MATERIAALIN VALINTAAN VAIKUTTAVAT SUUREET

#### Λ-ARVO

Rakennusaineiden lämmönjohtavuutta kuvaava suure on  $\lambda$ -arvo (lambda-arvo; lambda on kreikkalainen I-kirjain). Sen yksikkönä käytettiin aina 1970-luvulle saakka kcal/mh°C. Vuonna 1960 vahvistetun SI-järjestelmän mukainen edellisen vähitellen syrjäyttänyt yksikkö on W/m°C, tai uudemman merkintätavan mukaan W/mK (K= Kelvinaste, joka on saman suuruinen kuin celsiusaste). Vanha yksikkö on hieman uutta pienempi; nykyarvo saadaan kertomalla vanha luvulla 1,106. /1/

Materiaalin lambda-arvolla ( $\lambda$ ) ilmoitetaan, kuinka paljon lämpöä johtuu tunnin kuluessa (Wh) neliömetrin laajuisen ja metrin paksuisen materiaalin läpi pintojen välisen lämpötilaeron ollessa 1°C. Esimerkiksi otetaan kuutiometrin pala eristettä, annetaan lämpötilan olla toisella puolella 1°C korkeampi kuin toisella, esim. 21 ja 20. Sen jälkeen mitataan, kuinka paljon lämpöä (Wh) eristeen läpi johtuu tunnin aikana. Mitä vähemmän lämpöä materiaalin lävitse johtuu, sitä parempi on sen eristyskyky. /2/

Yleisesti aiheesta puhutaan lämmöneristävydestä, joka on lämmönjohtavuuden käänteisarvo. Mitä pienempi eristeen  $\lambda$ -arvo on, sitä parempi on aineen lämmöneristyskyky. /1/

#### U-ARVO

Lämmönläpäisykerroin eli U-arvo, (joka oli aiemmin k-arvo) on lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötilaero rakennusosan eri puolilla olevien ympäristöjen välillä on yksikön suuruinen. Yksikkönä käytetään W/(m²K). /3/

#### VESIHÖYRYN LÄPÄISEVYYS

Vesihöyryläpäisevyys  $\delta_p$  on vesihöyryyn osapaine-eron avulla laskettu kg/(m\*s\*Pa) tai  $\delta_v$  on vesihöyrypitoisuuseron avulla laskettu m²/s. Näiden arvojen on tarkoitus ilmoittaa vesihöyrymäärän, joka jatkuvuustilassa läpäisee aikayk-

sikössä pintayksikön suuruisen ja pituusyksikön paksuisen homogeenisen ainekerroksen, kun vesihöyrypitoisuuksien ero tai vesihöyryn osapaineen ero ainekerroksen eri puolilla on yksikön suuruinen. Vesihöyrynläpäisevyys voidaan ilmoittaa joko vesihöyrypitoisuuden suhteen, sv (m<sup>2</sup>/s), tai vesihöyryn osapaine-eron suhteen, sp (kg/msPa). Vesihöyrynläpäisevyys on materiaalin ominaisuus. /12, 20/

## **PALOLUOKAT**

Euroopassa rakennustuotteille on luokiteltu viisi palokoemenetelmää. Näiden tuloksien mukaan tuotteet on jaettu seitsemään pääluokkaan: A1, A2, B, C, D, E ja F. Luokat A1 ja F esiintyvät aina ilman lisämääreitä. E ilman lisämäärettä tarkoittaa, että tarvikkeesta ei irtoa palavia pisaroita. /11/

### *Selostus*

- **A1** *Tarvikkeet, jotka eivät osallistu lainkaan paloon.*
- **A2** *Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on erittäin rajoitettu.*
- **B** *Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyvin rajoitettu.*
- **C** *Tarvikkeet, jotka osallistuvat paloon rajoitetusti.*
- **D** *Tarvikkeet, joiden osallistuminen paloon on hyväksyttävissä.*
- **E** *Tarvikkeet, joiden käyttäytyminen palossa on hyväksyttävissä.*
- **F** *Tarvikkeet, joiden käyttäytymistä ei ole määritelty.*

Tiedot on peräisin (E1\_2011-fi.pdf) /11/

## **PÄÄSTÖLUOKAT**

Luokituksella rakennusmateriaalit jaetaan kolmeen luokkaan, joista M1 on paras. M1-merkki kertoo, että tuote on testattu puolueettomassa laboratorioissa, niin että tunnetuissa testiolosuhteissa se täyttää M1-luokan vaatimukset neljän viikon testin jälkeen. Vaatimukset määräytyi vain kemiallisille päästöille, eli emissioille, jotka

irtoavat materiaaleista. Päästöluokitukset rakennusmateriaaleille on ensisijaisesti suunniteltu tavanomaisissa asuin- ja työhuoneissa esiintyvien rakennusmateriaalien luokittelua varten. Yksikkönä käytetään  $\text{mg}/\text{m}^2\text{h}$ . /6/

## 4 PURURAKENTEISEN PIENTALON ENERGIAREMONTTI

### 4.1 Materiaalin valinta

Materiaalin valintaan vaikuttaa eristeen  $\lambda$ -arvo. Koska materiaalien  $\lambda$ -arvo ei ole vakio, niin tarkastelussa pitää ottaa huomioon eristeeseen vaikuttavat tiheys, lämpötila ja kosteus. Ominaisuuksiltaan kevyt ja paljon huokosia sisältävä aine on eristävyydeltään parempaa kuin tiivis, huokosia sisältävä aine, mutta huokosten tyyppi ja koko vaikuttavat eristävyYTEEN. Pienet erilliset huokokset ovat eristäviä, keskenään ja yhteydessä olevat avoimet tai suuret huokokset ei niin hyvin eristäviä. Kosteuden kerääntyminen huokosiin voi vaikuttaa eristävyYTEEN heikentävästi. Siksi normit on määritelty kosteuden huomioon ottavan  $\lambda$ -arvon mukaan. Eristävyyden säilyvyyden vuoksi eristeille määritellään tyyppihyväksynnässä myös suurin kosteusprosentti, joka aineella saa olla eristävyYTEEN säilyttämiseksi. Lämpötilan noustessa eristävyys heikkenee, mutta vaikutus tulee esille vasta suurien lämpötilojen teknisissä eristyksissä. /1/

U-arvon määrittämisessä rakenteen materiaalikerrosten  $\lambda$ -arvon ja paksuuden sekä ilmavälien lisäksi huomioon pintojen vaikutus eli sisä- ja ulkopuolinen pintavasutus. On myös huomioitava, että eristekerroksissa voi olla eriarvoisia materiaaleja, kuten puurunko mineraalivillaeristeen sisällä. Ilmavirtaukset eristeiden sisällä myös vaikuttavat osaltaan eristyskykyyn. U-arvo kertoo rakenteesta vain sen lämmönläpäisevyyden. Rakenteen lämmönvarauskyvyllä eli lämpökapasiteetilla on merkitystä ulkolämpötilan muutosten tasaamisessa. /1/

Varsinkin pohjoismaissa on eristyksellä tärkeä rooli. Helteet päivällä ja kylmyys yöllä vaativat rakenteilta eristyskykyä, jolla voimme säädellä miellyttävän lämpötilan asumismukavuudelle. Jos seinien pintalämpötila on yli 2 astetta kylmempi kuin sisäilma, koetaan huone vetoiseksi ja koleaksi. /1/

Eristyskyvyn lisäksi muita tärkeitä materiaaliominaisuuksia ovat terveellisyys, lämmönvarastointikyky (c), vesihöyryn läpäisyvastus ( $\mu$ ), raaka-aineen saatavuus alueella ja globaalisti, valmistusenergian määrä ja energian käytön ympäristövaikutukset sekä tietenkin eristeen hinta. Taloudellisuutta tarkastellessa mietitään



lämpöeristykseen kuluvien kustannusten takaisinmaksuaikaa siten, että missä ajassa lämpöeristys säästää yhtä paljon energiaa, rahassa mitattuna, kuin eristys on maksanut. Alla olevassa taulukossa määritellään eristemateriaalien fysikaaliset ominaisuudet. /4, 23, 24/

**Taulukko 1.** Eristemateriaalien fysikaaliset ominaisuudet.

Eriste	Tiheys P kg/m <sup>3</sup>	lämmönjohtavuus $\lambda$ W/m*K	Ominaislämpö- kapasiteetti Cp kJ/kg*K	vesi- höyry vastus $\mu$
Lasivilla	14-115	0,035-0,041	0,84	1,1
Vuorivilla	30-250	0,034-0,042	0,84	1-1,3
Selluvilla	40-70	0,040	1,8	1-1,5
Puukuitulevy	160-330	0,051	2,1	4-9
Leca	300-990	0,16-0,18	0,94	5-10
Polystyreeni	15-30	0,036-0,044	1,48	20-100
Polyuretaani	30-60	0,020-0,035	1,48	30-100
Sahanpuru	120-200	0,11-0,083	2,5	2,3

## 4.2 Ekologisuus

Ekologisesti kestäviin ratkaisuihin pyritään rakentamaan laadukkaasti ja kestävästi ympäristöstä saatavista rakennusmateriaaleista, sekä ilmaston mukaisesti hyödyntämällä auringon säteilyä ja suojautumalla kylmältä tuulelta. Ekologisessa tarkastelussa vertaillaan eristeaineen valmistukseen vaatimaa energiamäärää siihen, kuinka paljon energiaa säästyy sen ominaisuuksien ansiosta rakenteen koko elinajan aikana. /4/

Eristeaineiden valmistuksessa käytettävä energiamäärä on tärkeä valintakriteeri fossiilisten energiavarastojen ehtymisen näkökulmasta ja ympäristön kuormittavuuden vuoksi. Rakennusaineiden energiasisältöjä on tutkittu aktiivisesti ja pidetty kirjaa 1980-luvulta alkaen. Itävaltalainen rakennusbiologian instituutti on kirjannut useita eri tutkimuksia ja niiden keskiarvoja koskien lähinnä tuotantoon tarvittavia energiamääriä. Eri aineiden valmistusenergioita on verrattu niiden energiänsäästövaikutukseen tiettyssä rakenteessa ja selvitetty missä ajassa (kk) aine säästää sen energiamäärän mikä siihen on laitettu. Laskelmassa lähtökohtana oli ra-

kenne, jonka U-arvo on 1,41 W/m<sup>2</sup>K. Alla olevassa taulukossa on luetteloituna eristemateriaalien primäärienergian sisältö, energettinen kuoletusaika ja tarvittujen raaka-aineiden riittävyys. /4/

**Taulukko 2.** Primäärienergia sisältö, energettinen kuoletusaika ja raaka-aineen riittävyys.

Eriste	Primääri energia-sisältö MJ/kg	Energeettinen kuoletusaika kk	10-99v	Raaka-aineiden riittävyys globaalisesti 100-1000v	yli 1000v
Mineraalivilla	18	1,5-13		x (1)	
Selluvilla	0,9	0,1-0,3		x (1)	
Puukuitulevy	(-)	8-16			x (3)
Leca	3,4		x		
Polystyreeni	91	7-20		x (2)	
Polyuretaani	100	9-23		x (2)	
Olki	(-)	(-)			x(3)

Kriittisen raaka-aineet:

(1) = borax

(2) = öljy

(3) = riippuvat vuotuisesta kasvusta

(-) = ei tietoa

Taulukosta käy hyvin selville, että kaikki tutkitut aineet säästävät paljon enemmän energiaa kuin niiden valmistukseen kuluu ja siksi on järkevintä eristää rakennukset hyvin. Koska luonnonvarat yleisimpien eristeiden ja raaka-aineiden osalta on vähitellen ehtymässä, niin on jatkuvasti kehiteltävä ekologisempia ja kestävämpiä ratkaisuja uusiutuvista raaka-aineista: puusta, oljesta, kookoksesta jne. /4/

Matalaenergiatalon vaatimukseen on tämän päivän esitysvaihtoehdoilla helppo päästä. Eristeet on hyvin tutkittu ja kehitetty ekologisuuksi ja energiatehokkuutta ajatellen. Talon rakentamista ja korjaamista ajatellen on hyvä selvittää eri materiaalien ominaisuuksia aina ilmatiiveyden, vedenläpäisevyyden, lämpö ja äänieristävyyden, palo-ominaisuuksien ja ekologisuuden näkökulmista. Lämmitysenergi-

an hinnannostot tuovat osaltaan paineita rakentamiseen, koska kuluttajat haluavat tulla toimeen mahdollisimman vähäisellä energiankulutuksella.

Alla olevasta taulukosta selviää tämän päivän energiankulutus 130 m<sup>2</sup> pientalossa kWh/vuosi. Taulukosta käy hyvin selville, että eristävyydellä on suuri rooli ja vuositasolla säästöjä voi tulla jopa 8700 kWh/vuosi. /10/

**Taulukko 3.** Energiankulutus 130 m<sup>2</sup> kWh/vuosi.

Tavanomainen talo 126 kWh/m <sup>2</sup>	Energiaa säästävä talo 60 kWh/m <sup>2</sup>
Ilmanvaihto 3700 kWh/v	Ilmanvaihto 2400 kWh/v
Seinät 3600 kWh/v	Seinät 1450 kWh/v
Ikkunat 3400 kWh/v	Ikkunat 1450 kWh/v
Lattia 3400 kWh/v	Lattia 1450 kWh/v
Katto 2400 kWh/v	Katto 1050 kWh/v
Yhteensä 16500 kWh/v	Yhteensä 7800 kWh/v

Lähtökohtaisesti asuminen vanhassa rakennuksessa on jo ekologista, koska olemassa oleva rakennus ja siihen uhratut luonnonvarat pidetään hyötykäytössä. Energiaremonttiin kannattaa uhrata luonnonvaroja vasta silloin, kun korjaustarve tulee ajankohtaiseksi muutenkin.

Viime aikoina otsikoissa olleet hometalokokemukset kertovat osaltaan rakentamisen tiedosta ja laadusta. Vaikka kauhuskenaariot hometaloista liitetään usein rintamamiestaloihin, ovat hometalot nykyrakentamisen ilmiö. Vanhat rakennukset ovat alkaneet homehtumaan vasta, kun niihin on tehty nykyajan mukaisia peruskorjauksia. Rakennusratkaisut ja asumisstandardit etenkin pesutilojen osalta yhdistettiin vanhaan hengittävään rakenteeseen. Hometalo-ongelmat tulivat ilmi Suomessa parikymmentä vuotta höyrytiiviiden eli höyrysulullisten rakenteiden käyttöönoton jälkeen 1990-luvulla. Koneellisen ilmanvaihdon ja muovipussitalojen myötä olemme saaneet uuden kansanterveydellisen haasteen, kokonaisen sisäilmaongelmista sairastuneen väestöosan. /14/

Suomessa 1940-luvulla ja sitä ennen rakennettujen pientalojen osuus rakennuskannan pinta-alasta on 3,5 prosenttia (v.2012). Jos nämä pientalot kuluttaisivat

puolitoista kertaa enemmän lämmitysenergiaa uudempiin rakennuksiin nähden, olisi odotettavissa olevat säästöt pienet. Kun lämmöneristystä paranneltaisiin ja lämmitysenergian tarve tippuisi kymmenellä prosentilla, säästyisi Suomen kokonaisenergiakulutuksesta noin 0,1 prosenttia. Lukujen perusteella voimme todeta, ettei yli 50 – 60 vuotta vanhojen rakennusten olemassaolosta kannata kantaa huolta. /14/

### 4.3 Rakenteet

Täällä pohjoismaissa ilmasto-olosuhteet vaativat vaihtelevien vuodenaikojen vuoksi rakennuksilta paremman lämpöeristyksen ja siitä syystä talojen eristykset täytyy mitoittaa ja asentaa hyvin. Eristysvaihe täytyy toteuttaa huolellisesti lämpövuotojen estämiseksi ja kosteuden pääsy eristeisiin pitää varmistaa rakennusvaiheessa tarkkaa eristämistä noudattaen. Runkorakenteet energiaremonttikohhteissa on kunnossa ja niiden korjaamiseen ei ole tarvetta.

Energiankulutuksesta on tehty laskelmat lisäeristämättömän 10 cm:n pururakenteisen pientalon U-arvojen mukaan, joka on teoriassa 22 000 kWh. Mitattu energiankulutus oli todellisuudessa 17 000 kWh. Arvoja pohjatietona käyttäen rakennettiin samalle perheelle talo, jonka pinta-ala oli yhtä suuri. Eristeenä uudessa talossa oli 20 cm mineraalivillaa ja kulutus oli mittauksen jälkeen 16000 kWh. Mittausten perusteella voidaan todeta, että vanha talo osoittautui paljon paremmaksi kuin oletettiin. Talot on aikoinaan aina rakennettu talviolosuhteet huomioiden, eikä rakenteiden vanheneminen vähennä niiden eristyskykyä. /1/

Näistä johtopäätelmänä voidaan todeta, että puheet talojen elinkaaresta eivät täysin pidä paikkaansa. Puhutaan talon elinkaaren olevan noin 50 vuotta, jos siihen ei ole tehty peruskorjauksia. Lähtökohtana on ollut nähdä talo kulutushyödykkeenä, jolle on laskettu kuoletusikä. /1/

Laajemmat ulkovaippaan kohdistuvat korjaukset, joilla pyritään rakennuksen lämpötalouden parantamiseen, ovat harvemmin kannattavia ainoastaan energian säästöinvestointina. Ulkovaipan korjauksilla pääsääntöinen tarkoitus onkin parantaa asumismukavuutta. /25/

Yläpohjan lisäeristäminen on laskennallisesti ja tutkitusti kannattavin, koska lämmin ilma nousee ylöspäin ja lisäeristyksellä voidaan minimoida lämmön karkaaminen yläpohjan kautta pois. Yläpohjaa eristettäessä pitää kuitenkin huolehtia tilan hyvästä tuulettuvuudesta ja tarkastaa höyrynsulun pitävyys. Vanhan eristeen yläpuolelle lisätyn eristeen täytyy olla harvempaa, koska vanhan ja uuden eristeen väliin voi alkaa kertymään kosteutta. Yläpuolelle lisätty eriste kasvattaa alkupe- räisen eristeen lämpötilaa, jonka vuoksi rakenne pysyy paremmin kuivana. Eris- tystä toteutettaessa on huomioitava, ettei tuuletusraot jää eristeiden alle. /26/

#### 4.4 Hengittävyys

Hengittävät rakennus- ja eristemateriaalit ovat lähinnä puu ja puukuitutuotteet, siis hirsi ja lauta, puukuitulevyt, puukuitu- eli selluvilla sekä rakennuspahvit ja pape- rit. Puukuitueristeen tyyppihyväksynnässä on sallittu kosteus rajoitettu 12 prosent- tiin asti. Tällöin vesi pääsee haihtumaan materiaalista sille puolen, missä vesi- höyryn paine on pienempi. Hengittävä materiaali sitoo ja läpäisee ilman vesi- höyryä. Hengittämättömässä materiaalissa esim. mineraalivillakuidussa kosteus ei tunkeudu kuituihin sisälle, vaan liikkuu kuitujen välisessä ilmatilassa. Eriste toi- mii hyvin, kunhan kosteuspitoisuus ei pääse nousemaan. Kosteuden lisääntyessä, kuitujen pinta kastuu, jolloin eristeeseen muodostuu vesisilta ja eristeen läm- möneristyskyky romahtaa. Tyyppihyväksyntä määrittelee mineraalivillalle 0,5 prosenttia sallitun kosteuden. Vesi kerääntyy sille puolelle materiaalia, missä on pienempi vesihöyryn osapaine. Hengittämätön materiaali läpäisee, mutta ei sido ilman vesihöyryä. /1/

Tutkimuksissa on todettu, että noin 80 prosenttia rakenteiden lahovaurioista syn- tyy maaperästä, sisätiloista ja ulkoilman aiheuttamasta kosteuden siirtymisestä, eli diffuusiosta. Kosteusprosentti ulkona on yleensä suurempi kuin sisätiloissa ja tä- mä ero pyrkii tasoittumaan kosteuden pyrkiessä siirtymään rakenteiden läpi sisältä ulospäin. Rakenteissa olevat raot, saumat ja aukot lisäävät olennaisesti kosteuden pääsyä eteenpäin, jolloin ilma kuljettaa kosteuden mukanaan rakenteisiin. Raken- teiden ulkovaipan lämpötila laskee yleisesti ulospäin siirtyessä, jolloin sisältä tu- leva kosteus saattaa tiivistyä vaipan sisälle ja kastella sen. Tämän vuoksi rakenteet

tehdään höyrynsulkumuovilla tiiviiksi, joka estää liiallisen kosteuden pääsyn rakenteisiin. /25/

#### 4.5 Eristysvaihtoehdot

Kun lämmöneristävyyteen halutaan parannusta on edessä materiaalien vertailu. Uusina eristysvaihtoehtoina on ekovilla, kivivilla, vuorivilla ja polystyreeni. Nykyisen eristeen, eli sahanpurun perustietoja on käsitelty osiossa 4.5.1. Eristeen valintaan vaikuttaa, ekologisuus, tekniset ominaisuudet, hinta ja mieltymykset. Lopuksi tehdään päätelmät ja verrataan purueristeen ominaisuuksia vaihtoehtoihin. Päätelmien pohjalta tehdään ratkaisu, onko purueristeitä tarpeen lähteä vaihtamaan ja siten rikkomaan ns. historiallista rakennetta.

Lähtökohtana on, ettei talon rakenteita lähdetä muuttamaan, joten eristeet vaihdetaan olemassa olevaan rakenteeseen. Eristeiden vaihto tapahtuu talon sisäpuolelta. Lämmöneristeen valintaan vaikuttaa rakenteen kokonaisuus, millä varmistamme materiaalien yhteensopivuuden ja rakenteen hengittävyuden. Tavallisissa pientaloissa saa käyttää palavaa materiaalia eristeenä, esimerkiksi sahanpurua. Rakenteen palonkestävyys tulee ilmi tulipalossa, eikä se riipu vain materiaalin palamattomuudesta. Palokäsitellyillä materiaaleilla saadaan hyvin lisää aikaa tulipalojen sattuessa. /1/

##### 4.5.1 Sahanpuru

Vuonna 1949 rakennusinsinööriyhdistys julkaisi sahanpurun lämmönjohtavuusluvun. Tämän päivän mittaus tavoilla sahanpurun  $\lambda$ -arvo oli tiivistämättömänä 0,11, tiivistettynä tai huolellisesti tärytettynä 0,083 ja tiukkaan tiivistettynä 0,08 ja puristettuna 0,07. Sahanpurun ja kutterinlastun seos sai sekä sullottuna että tiukkaan sullottuna arvon 0,072. Purutäytteen lämmöneristys on siis noin puolet nykyajan mineraali- tai puukuituvillan lämpimyydestä. Sahanpuru on hengittävä, kosteutta sitova materiaali, mutta palava ja kostuessaan lahoava eriste. /1/

Eristysaineena sahanpuru on vielä tänäkin päivänä käyttökelpoinen. Eristepaksuuteen tulee kiinnittää huomiota ja sen pitäisi esimerkiksi yläpohjassa olla noin

40cm. Sahanpurun päällä eristeenä voi käyttää selluvillaa, jolloin rakenne säilyy hengittävänä. /1/

#### 4.5.2 Selluvilla

Ensimmäinen materiaalivaihtoehtomme on Ekovillan valmistama selluvilla. Selluvilla valmistetaan valikoidusta sanomalehtikeräyspaperista, johon lisätään palonestoaineita. Selluvillaa voi käyttää ylä ja alapohjissa sekä seinissä. Selluvillalla on myös hyvä kosteudensiirtokyky, jonka vuoksi se sopii myös passiivirakenteisiin. Selluvilla on EN 15804-standardin mukaan laadittu ympäristöseloste, josta käy ilmi tuotteen ympäristöprofiili. Selosteessa tarkastellaan valmistuksessa käytetyn energian kulutus, luonnonvarojen käyttö ja mm. hiilidioksidipäästöt. Hiilidioksidipäästöjen ehkäisy on ihmiskunnan yksi suurimmista kamppailuista planeettallamme. Villa valmistukseen käytetään uusiutuvaa puukuitua, jonka valmistus tuottaa vähän hiilidioksidia. Eristeen hiilisisältö on suurempi kuin sen valmistuksen tuottama hiilipäästö (EN 16449:14). Ekovillan paloluokitus on E. Ekovilla ei sula korkeissa lämpötiloissa, vaan hiiltyy kuten massiivipuun. Ominaisuus suojaa tehokkaasti eristeen sisällä olevia rakenteita. Ekovillalla on ominaisuus, joka palotilanteessa on huomattava etu. Ekovilla pystyy varaamaan kosteutta ja näin ollen palotilanteessa palon syttymis- ja leviämisenopeus hidastuu. Lämmönjohtavuus ekovillalla on 0,039 W/mK. /8/

#### 4.5.3 Kivivilla

Toinen materiaalivaihtoehtomme on kivivilla. Kivivillalla on laaja valikoima erimittaisia levyjä ja se on monikäyttöinen eriste ulkoseinien, yläpohjien ja rossipohjien lämmöneristämiseen sekä väliseinien ja välipohjien äänen- ja paloneristämiseen. Kivivilla rakenne on tiheä ja jämäkkä. Näiden ominaisuuksien avulla eristeen käsittely on helppoa. Kivivillan lämmöneristävyys sahanpuruun nähden on kaksinkertainen. Lämmönvastuksen pysyvyys lämmön, sään ja ikääntymisen vaikutuksesta kivivillan lämmönvastus ei pienene ajan kuluessa. Eristeen kuiturakenne on vakaa ja kuitujen väliset huokokset sisältävät vain ilmakehän omia kaasuja. Paloturvallisuuden näkökulmasta nykyinen eriste sahanpuru on helposti syttyvä, kun taas kivivilla on palamaton materiaali ja on luokituksestaan A1-materiaali.

Kivivillan palo-ominaisuudet pysyvät muuttumattomina ja on elinkaariajattelun näkökulmasta erinomainen vaihtoehto eristämiseen. Kivivillalla on erinomaiset ääneneristävyyssominaisuudet. Kivivillalla on sisäilman paras päästöluokitus M1. Kivivillan valinnalla pääsee hyvään energiatehokkuuteen sen hyvän lämmönjohtavuuden avulla, joka on 0,036 W/mK. /5/

#### 4.5.4 Polyuretaani

Kolmas materiaali vaihtoehtomme on SPU-polyuretaanieristeiden Vintti-lita ja Anselmi. SPU-eristeiden lämmöneristävyyks on markkinoiden paras. Eristelevyt mahdollistavat energiatehokkaan ja ohuemman rakentamistavan muihin eristystapoihin verrattuna. SPU-eristeillä on alhainen lämmönjohtavuus ja korkea vesihöyryvastus. Näillä ominaisuuksilla rakenteesta tulee lämpö- ja kosteusteknisesti oikeaoppisen ilmanpitävä. SPU:n rakenne mahdollistaa rakentamisen ilman höyrynsulkukerrosta. Eristeiden muoto, lämmöneristysominaisuudet säilyvät muuttumattomina ja eriste ei vety, kutistu tai homehdu. VTT:n tutkimuksen RTE1929/00b mukaan SPU:lla eristetyt talon ja villaeristeisen talon turvallisuus palotilanteessa on sama. Palotilanteessa polyuretaanieristeet hiiltyvät hitaasti, jonka ansiosta palon leviäminen hidastuu. SPU-eristeillä on sisäilman paras päästöluokitus M1. Lämmönjohtavuus Vintti-litalla on 0,022 W/mK, paksuuden ollessa 70-160 mm. Lämmönjohtavuus Anselmilla on 0,023 W/mK, paksuuden ollessa 40 mm. /7/ ja /31/

#### 4.5.5 Vuorivilla

Neljäs materiaali vaihtoehtomme on vuorivilla, jonka lämmöneristävyyks, paloturvallisuus ja ääneneristysominaisuudet ovat ainutlaatuiset. Vuorivillan parhaimpia ominaisuuksia on villan rakenteen muuttumattomuus sitä käsiteltäessä, se säilyttää ryhtinsä koko elinkaarensa ajan. Kiinteän rakenteensa vuoksi villan saumakohdissa ei ole lämpöliikkeestä ja puun elämisestä johtuvia rakoja, jotka aiheuttaisivat lämpövuotoja ja kosteuden tiivistymistä. Rakennukset, jotka on eristetty vuorivillalla pysyvät koko elinkaarensa ajan kuivana, joka on perusedellytys terveelliselle ja hengittävälle sisäilmalle. Ominaisuutena on myös, ettei villa kerää kosteutta itseensä ja mikrobien on mahdotonta kasvaa sen pinnalla. Vuorivillalla on sisäil-



man paras päästöluokitus M1. Raaka-aine vuorivillassa on palamaton kivi. Vuorivilla on ympäristöystävällinen eikä aiheuta käytön yhteydessä haittaa, eikä käytön jälkeen loppusijoituksessa. Vuorivilla soveltuu myös hyvin uusiokäyttöön. Lämmönjohtavuus vuorivillalla on 0,036 W/mK. /10/

#### 4.5.6 Höyrinsulkumateriaali

Höyrinsulkuun käytettävät kalvot ja paperit jaetaan kahteen ryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä on tuotteita, joilla diffuusiovastus on riippumaton ympärillä vaikuttavista olosuhteista. Toisessa ryhmässä on tuotteet, joiden diffuusion vastusominaisuudet muuttuvat siihen vaikuttavan kosteuden mukaan. Yleisesti käytössä oleva polyeteenikalvon ominaisuus on, etteivät ne päästä läpi lähes ollenkaan vesihöyryä tai vettä. Höyrinsulkumuovin vesihöyrynläpäisykerroimen  $W_p$  tulee olla alle  $10 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ . Jos kalvonpaksuus on 0,2 mm on vesiläpäisykerroin  $W_p$   $2 \dots 9,78 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ . Alumiinikalvon vesiläpäisykerroin  $W_p$  on  $0,4 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ .

Kosteutta tasapainottelevan höyrinsulkupaperin toimintaperiaate on estää vesihöyryn tiivistyminen rakenteisiin diffuusion suunnasta riippumatta. Höyrinsulkupaperin ominaisuus on päästää kosteutta pois rakenteista vuodenajan ja ilman kosteuspitoisuuden mukaan joko sisälle- tai ulospäin. Talvisin höyrinsulkupaperin diffuusiovastus on korkea ja silloin se päästää vähiten vesihöyryä ulkoilmasta rakenteisiin. Kesäisin, kun suhteellinen kosteuspitoisuus nousee, on höyrinsulku vesihöyryä läpäisevä ja vesihöyry siirtyy rakenteista huonetilaan. Kun kyseessä on kosteutta tasaava höyrinsulku, puhutaan monikerroslaminaatista, jonka materiaali on polypropeeni. Polypropeeni on höyrinsulkuna kalvossa tai kudottuna kankaana yhdessä esimerkiksi polyeteeni-kopolyymeerikalvon tai kudoksen kanssa. Edellä mainitun kankaan vesihöyrynläpäisykerroin  $W_p$  vaihtelee kosteuspitoisuudesta riippuen ollen  $0,19 \dots 0,00107 \cdot 10^{-12} \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ . /24/

Höyrinsulkumuovia käytetään höyrinsulkuna seinissä, katoissa ja lattioissa lämpimällä puolella. Se estää ilmavuodon sekä haitallisen kosteuden pääsyn rakenteisiin. /9/

Ekovillaeristeitä käytettäessä ei tarvita muovikalvoa höyrynsulkuksi. Ekovillan kyky varastoida ja luovuttaa kosteutta on moninkertainen painoonsa nähden hygroskooppisen puukuidun ansiosta. Ekovillan höyrynsulkuna käytetään Ekovilla X5 -ilmansulkua, jolla saavutetaan määräysten mukainen höyrynvastus (5:1) tuulensuojaan nähden. X5-ilmansululla varmistetaan rakenteen ilmanpitävyys ja rakenteen hengittävyys molempiin suuntiin. Vesihöyryn läpäisevyys  $S_d$  vanhennettuna X5-ilmansululla on 0,7 m./8, 27/

#### **4.6 Korjauksen riskit**

Remontoinnin yhteydessä menetämme historiallista arvoa, joka talolle tulee sen vanhetessa ja alkuperäisyyden säilyessä. Sahanpuru on painautunut hyvin seinärakenteisiin ja vedon tunnetta ei ole ollut sisällä. Eristystä vaihdettaessa eristävyys voi heiketä ja vedon tunne voi kasvaa. Jos käytämme höyrynsulkua, talosta voi tulla hyvinkin hengittämätön, mikä voi tuoda terveysongelmia tullessaan. Painovoimaisessa talossa muovittamisen jälkeen pitää suunnitella ilmanvaihdon tehostamista, mikä puolestaan kasvattaa kustannuksia huomattavasti.

Seinärakenteita avatessa voi tulla yllätyksiä vastaan, mutta alustavasti näyttää siltä, että kaikki rakenteet ovat kuivat. Mikäli päädytään muovittamaan painovoimainen talo, on myös tehostettava ilmanvaihtoa. Tämä puolestaan kasvattaa kustannuksia huomattavasti.

## 5 ESIMERKKITALO

### 5.1 Talon lähtötiedot

Talo on 1940-luvulla rakennettu 2,5-kerroksinen pientalo. Talossa on kellari, joka on puolet talon lattian pinta-alasta. Talo on alkuperäiskunnossa kuistia lukuunottamatta. Kattomateriaalina on saumapeltikatto, joka on kaikin puolin hyväkuntoinen, eikä vuoda mistään. Talossa on hyvä hengittää eikä minkäänlaisia kosteusvaurioiden merkkejä ole havaittavissa. Seinät on eristetty sahanpurulla ja eristyspaksuus on 100 mm. Yläpohjan ja välipohjan eristys on sahanpuru 200 mm. Purueristys ikkunoiden alla on hyvin tiivistetty, eikä lisäeristämiseen olisi tarvetta. Vedon tunnetta ei ole ollut ikkunoiden lähellä. Väli- ja yläpohjassa purutiiviste on myös hyvin tiivistetty, eikä talvisin ole tuntunut vetoa näidenkään osalta. Runko-rakenne on vaakaponttilaudoitus, vinokoolaus, paperi, sahanpuru vaakakoolaus, Halltex-levy ja tapetti. Runko on tällä hetkellä hyvin hengittävä. Lämmitysmuoto on öljylämmitys. Puruseinäarakenteiden U-arvo on noin 0,4215 W/m<sup>2</sup>K.

### 5.2 Rakenteiden mitat

**Seinäarakenteiden mitat ovat:**

- Kellarin ulkoseinien mitat ovat: 4,2 m x 2 m x 2 ja 10 m x 2 m.
- Alakerran ulkoseinien mitat ovat: 10 m x 2,7 m x 4.
- Yläkerran ulkoseinien mitat ovat: 10 m x 2,4 m x 2 ja 10 m x 1,7 m x 2.

**Välipohjan, yläpohjan ja alapohjan mitat ovat:**

- Yläkerran ja alakerran välipohjan mitat ovat: 10 m x 10 m.
- Yläpohjan mitat ovat: 10 m x 7,6 m.
- Alapohjan mitat ovat: 4,2 m x 10 m.

**Kellarin ikkunoiden mitat ovat:**

- 2 kpl 0,50 m x 0,8 m.
- 2 kpl 0,50 m x 0,5 m.
- 1 kpl 0,59 m x 0,89 m.

**Alakerran ikkunoiden mitat ovat:**

- 8 kpl 1,8 m x 1,3 m.
- 1 kpl 1,8 m x 1,0 m.

**Yläkerran ikkunoiden mitat ovat:**

- 4 kpl 1,8 m x 1,3 m.
- 3 kpl 0,59 m x 0,89 m.

**5.3 Kustannusvertailu**

Kustannusvertailussa hintojen lähteenä on käytetty taloon.com nettikaupan hintoja 6/2017. Materiaaleille on laskettu neliö- tai kuutio menekit ja laskujen pohjalta on laskettu kokonaiskustannukset.

**5.3.1 Laskentakaavat ja materiaalien hinnat**

**Yläpohjan laskentakaava on:** Yläpohjan pinta-ala (m<sup>2</sup>) x eristeen paksuus metreinä (m) = eristeen paksuus m<sup>3</sup>. Yläpohjassa pinta-alaksi lasketaan vain ylimmän kerroksen lämpimät tilat. Tilat lasketaan ulkoseinien ulkomittojen mukaan. Yläpohjan mitattu pinta-ala on 5 m x 10 m = 50 m<sup>2</sup>. Nykyisin rakennettavien pientalojen eristepaksuus tulisi olla noin 410 mm = 0,09 W/m<sup>2</sup>K (RakMk C3 ja D3 2010) uudet rakennukset. Laskentakaava on 5 m x 10 m x 0,41 m = 20,5 m<sup>3</sup>. Viinoissa yläpohjissa onteloiden m<sup>3</sup>-menekille kerroin on 1,75. /15/

**Välipohjan ja yläpohjan laskentakaava on:** Leveys x pituus = välipohjan pinta-ala (m<sup>2</sup>). Pinta-ala x eristeen paksuus metreinä (m) = eristeen paksuus m<sup>3</sup>.

**Seinien laskentakaava on:** Leveys x korkeus – aukot = seinien pinta-ala (m<sup>2</sup>).

Pinta-ala x eristeen paksuus metreinä (m) = eristeen paksuus m<sup>3</sup>.

**Taulukko 4.** Materiaalimenekit m<sup>2</sup> ja m<sup>3</sup>.

Materiaalien menekit	1	2	3	4	5	6
Sahanpuru m <sup>3</sup>	x	9,30	8,12	20,00	20,00	31,16
Selluvilla m <sup>3</sup>	x	9,30	8,12	20,00	20,00	31,16
Kivivilla 100 mm/m <sup>2</sup>	x	91,08	81,22	100,00	100,00	30,40
Polyuretaani 100 mm/m <sup>2</sup>	x	91,08	81,22	100,00	100,00	15,96
Vuorivilla 100 mm/m <sup>2</sup>	x	91,08	81,22	100,00	100,00	30,40
Höyrynsulku m <sup>2</sup>	x	91,08	81,22	100,00	100,00	76,00

Lyhenteet:

1 = Kellarin seinät

2 = Seinät alakerta

3 = Seinät yläkerta

4 = Välipohja alakerta

5 = Välipohja yläkerta

6 = Yläpohjan eristys m<sup>3</sup>

x = Ei eristetä

**Taulukko 5.** Eristeiden kustannukset m<sup>2</sup> ja m<sup>3</sup>.

Kustannukset	1	2	3	4	5	6
Sahanpuru m <sup>3</sup>	x	212,62	189,04	200,00	200,00	311,60
Selluvilla m <sup>3</sup>	x	962,14	855,28	894,00	894,00	1392,85
Kivivilla 100 mm/m <sup>2</sup>	x	522,00	464,26	499,00	499,00	151,70
Polyuretaani 100 mm/m <sup>2</sup>	x	x	x	x	x	362,61
Vuorivilla 100 mm/m <sup>2</sup>	x	712,08	633,22	675,00	675,00	410,40
Höyrynsulku m <sup>2</sup>	x	108,36	96,58	116,00	116,00	88,16

Lyhenteet:

1 = Kellarin seinät

2 = Seinät alakerta

3 = Seinät yläkerta

4 = Välipohja alakerta

5 = Välipohja yläkerta

6 = Yläpohjan eristys m<sup>3</sup>

x = Ei lasketa

### **5.3.2 Sahanpuru**

Sahanpurun hinta itse kuormattuna on noin 10 €/m<sup>3</sup>. Kutterinpurun hinta on itse kuormattuna noin 18 €/m<sup>3</sup>. /21/

### **5.3.3 Selluvilla**

Ekovillan hinta alle 405 mm puhallettuna on noin 44.70 €/m<sup>3</sup>. /15/

### **5.3.4 Kivivilla**

Kivivillan levykoko on optimoitu kokoon 565 x 1220 mm. Kivivillan hinta on noin 4,99 €/m<sup>2</sup> levyn paksuuden ollessa 100 mm. /16/

### **5.3.5 Polyuretaani**

Kingspan Therma TP10 Vintti-lita 120 x 1200 x 2400 mm. Levyn hinta on noin 26,01 €/m<sup>2</sup>. /17/

Kingspan Therma TW56 Anselmi 40 x 600 x 2600 mm. Levyn hinta on noin 21,09 €/m<sup>2</sup>. /31/

### **5.3.6 Vuorivilla**

Vuorivillan levykoko on optimoitu kokoon 570 x 1170 mm. Rockwoolin hinta on noin 6,75 €/m<sup>2</sup> levyn paksuuden ollessa 100 mm. /18/

### **5.3.7 Höyrynsulkupaperi**

Ilmansulkupaperi Ekovilla X5 koko on 1300 mm x 46,2 m x 0,3 mm. Hinta on 69,80 €/rulla ja neliölle 1,16 €/m<sup>2</sup>. /19/

### **5.3.8 Mitoitusohjelmat**

Laskelmiin on käytetty puuinfon internet-sivuilta löytyvää E-lukulaskuria, puurakenteen U-arvolaskuria ja alapohjan U-arvolaskuria. U-arvon laskeminen tehdään

standardin SFS EN ISO 6946 laskentamenetelmällä. Ohjelma laskee rakenteen kokonaislämmönvastuksen ala- ja yläikiarvon, jonka pohjalta rakenteelle laskeaan U-arvo.

E-lukulaskuriin on määritelty rakennuksen mitat, rakenteisiin tulevien eristeiden U-arvot, lämmitysjärjestelmä ja muita laskuihin vaikuttavia arvoja. Osa arvoista on laskurin oletusarvoja, kuten ikkunoiden pinta-ala. Vaikka rakennus ei laskurin mukaan täytä energiatehokkuus vaatimuksia  $160 \text{ kWh/m}^2$  a on rakennus hyvin eristetty ja E-luku vaatimukseen päästäisiin jo vähällä eristeen paksuuden kasvatamisella. E-lukulaskurissa on käytetty seinäeristeenä kivivillaa ja yläpohjassa polyuretaania. Laskurin mukaan talon E-luku tulee olemaan kivivilla seinillä ja polyuretaani yläpohjalla  $166 \text{ kWh/m}^2$  a.

Taulukkoon 6 on kerätty U-arvolaskurin mukaiset tulokset. Sarakkeessa yksi on U-arvot nykyisillä runkorakenteilla ja sarakkeissa 2 – 7 on laskettu eristeiden paksuus normitalo 2010, matalaenergiatalon ja passiivitalon U-arvo vaatimuksilla. Taulukon mukaan parhaat rakennevaihtoehdot ovat siten U-arvojen näkökulmasta kivivilla ja polyuretaani. Taulukosta käy hyvin selville materiaalien U-arvot ja taulukko antaa selkeän näkökulman materiaalien valintaan. Jos pientalon energiatehokkuudessa halutaan päästä U-arvoltaan tämän päivän ohjearvoihin, on rakenteita kasvatettava huomattavasti, jonka suora vaikutus kohdistuu kustannuksiin. Laskelmat ovat liitteissä 6 – 13. /28/

**Taulukko 6.** Rakenteiden U-arvot  $\text{W/m}^2\text{K}$ .

U-arvot	1	2	3	4	5	6	7
Sahanpuruseinä 100 mm	0,56	450mm	700mm	850mm			
Kivivillaseinä 100 mm	0,37	250mm	350mm	450mm			
Selluvillaseinä 100 mm	0,36	250mm	400mm	450mm			
Puruväli- ja yläpohja 200 mm	0,38				1000mm	1150mm	1300mm
Kivivillaväli- ja yläpohja 200 mm	0,21				500mm	600mm	700mm
Selluvillaväli- ja yläpohja 200 mm	0,22				550mm	650mm	750mm
Polyuretaaniyläpohja 160 mm	0,14				350mm	400mm	450mm

## Lyhenteet:

1 = Valokkitie 9 U-arvo

2 = Seinät normitalo 2010 0,17 W/m<sup>2</sup>,K

3 = Seinät matalaenergiatalo 0,12 W/m<sup>2</sup>,K

7 = Seinät passiivitalo 0,08-0,10 W/m<sup>2</sup>,K

5 = Väli- ja yläpohja normitalo 2010 0,09 W/m<sup>2</sup>,K

6 = Väli- ja yläpohja matalaenergiatalo 0,08 W/m<sup>2</sup>,K

7 = Väli- ja yläpohja passiivitalo 0,07 W/m<sup>2</sup>,K



## 6 KORJAUS VAIHTOEHDOT

### 6.1 Lähtötiedot

Lähtökohtaisesti talo pidetään hengittävänä ja painovoimaisena. Seinärakenteissa ja ala- ja yläpohjassa ei ole havaittavia mikrobivaurioita, joten todennäköisesti sahanpurueristeen kunto on moitteeton. Mikäli rakenteissa ilmenisi mikrobivaurioita, olisi näkyvissä selkeitä tavanomaisia merkkejä vaurioista esimerkiksi pölymäistä rihmastoa ja mustia pilkkuja. Kyseiset vauriokohdat täytyisi puhdistaa koneellisesti hiomalla, tai mekaanisin keinoin teräsharjaamalla. Puhdistuksen jälkeen rakenteet tulee imuroida puhtaaksi irtoavasta pölystä ja suojata siihen tarkoitettulla homeenestoaineella käyttöohjeiden mukaan. Puhdistuksen jälkeen energia- tehokkuus paranee vaihtamalla eristeet U-arvoltaan energia-tehokkaimpiin.

Yläpohjassa olevan sahanpurun päälle voidaan lisätä eristettä 250 mm, jolla saadaan tarvittava lämpösäästö aikaan. Purueristettä kuoritaan noin 50 mm pinnasta pois, jolla poistetaan mikrobikasvuston mahdollinen kasvaminen eristeissä. Lämmöneristävyys kuitenkin paranee huomattavasti, jos poistaa kokonaan vanhan purueristeen ja vaihtaa U-arvoltaan parempaan eristeeseen. Vaihtoehtoista valitaan kustannusvertailun pohjalta taloudellisen ja sopivin vaihtoehto remonttiin. Eristeiden asennuksessa tulee noudattaa valmistajan ohjeita ja RT-kortisto antaa hyviä ohjeita eristämiseen. /26/

### 6.2 Korjausvaihtoehto 1

#### Yleistä

Kivivillan ominaisuudet sopivat erinomaisesti kohteeseen. Kivivilla on palamaton eriste ja sen lämmöneristävyys sahanpuruun verraten on kaksinkertainen. Kivivillalla on paras sisäilman päästöluokka M1, joka sopii erinomaisesti allergiaoireista kärsiville. Kivivillan työstettävyyden on helppoa ja sillä on erinomainen ääneneristysominaisuus. Sisäpuolelle kivivillan päälle asennetaan höyrynsulkumuovi estämään sisältäpäin tulevaa kosteutta. Tällä varmistetaan sisäilman kosteuspitoisuuden, joka on suositusten mukaan noin 40 prosenttia. Hengittävässä rakenteessa on

riski, että ilmankosteus putoaa alle 40 prosentin ja sisäilmasta tulee liian kuiva. Jos kosteusprosentti ei ole 40 prosentin lähetyvillä on talossa allergikoille ja astmaatikoille vaikea hengittää. Kivivillan hinta on huokeimmasta päästä ja on kustannuksellisesti hyvä vaihtoehto. Välipohjat, yläpohja ja seinät puretaan sisältä päin. Rakenteista poistetaan imuautolla kaikki irtoava sahanpuru ja muu materiaali.

### **Ulkoseinät**

Seinien purkaminen aloitetaan ylhäältä alas päin. Seinät pyritään purkamaan vähän kerrallaan, jolloin sahanpuru saadaan imettyä etukäteen pois ennen seinämateriaalien pois ottamista.

Purujen tilalle runkoon 50\*100 vaihdetaan levyvillaeristeet 100 mm. Asennuksessa noudatetaan erityistä tarkkuutta, ettei mahdollisia lämpövuotoja pääse syntymään uuden eristeen asentamisen jälkeen. Eristeen ja sisäverhouksen väliin laiteetaan höyrynsulkumuovi, joka päätetään välipohjan runkoon ja eristetään M1-luokan liimalla ja lopuksi saumataan hyvin höyrynsulkuun sopivalla teipillä. Liimasauma varmistetaan laittamalla lauta saumakohtaan kuivumisen ajaksi. Yläpohjassa sauma tehdään polyuretaanieristeen pintaan, tai rungon rakenteeseen noin 150 mm pituudelta. Saumakohta eristetään M1-luokan liimalla ja lopuksi saumataan hyvin höyrynsulkuun sopivalla teipillä. Liimasauma varmistetaan laittamalla lauta saumakohtaan kuivumisen ajaksi.

### **Välipohjat ja väliseinät**

Molemmat välipohjat ja kaikki väliseinät jätetään hengitettäväksi, jolloin ilma pääsee vapaasti liikkumaan rakenteen läpi tarvittaessa. Väliseinistä puretaan toinen puoli, jonka nähdään aiheuttavan vähemmän vahinkoa purettaessa. Välipohjat puretaan alakautta ja lattiarakenteet jätetään alkuperäiseen kuntoonsa. Eristyksenä käytetään 200 mm paksuista kivivillalevyä. Pinta verhoillaan hygroskooppisesti hengittävällä materiaalilla, jolla osaltaan varmistetaan rakenteen hengittävyys.

## Yläpohja

Yläpohjaan vaihdetaan polyuretaanilevyt SPU Vintti-Iita 120 mm ja SPU Anselmi 40 mm. Näillä eristyspaksuuksilla saadaan ohjeellinen lambda arvo 0,023 W/mK. Levyt leikataan yläpohjan runkorakenteen mukaan noin 30 mm runkorakenteen väliä kapeammaksi. Tällä varmistetaan uretaanille tarpeeksi paisumisvaraa. Levyn voi katkaista käsisahalla tai mattoveitsellä.

Asennuksessa puhdistetaan irtoava materiaali ja pöly pois. Alimmaiseksi tulevan eristelevyn alle pursotetaan saumavaahtoa, joka eristää levyn ja lattian välin. Levyn kiinnittäminen runkotolppiin helpottuu, kun laittaa molemmille laidoille runkoon ruuvilla kiinni asennuspalat. Tämä auttaa saamaan levyn oikealle tasolle rungon kanssa. Levyjen saumat tiivistetään uretaanilla ja käsittelyn aikana varmistetaan, että kaikki on tiivistynyt oikein. Levyjen välisiin saumoihin pursotetaan saumavahto levyjen sauman tiiviyn varmistamiseksi.

Yläpohjan vinot rakenteet tulee tehdä vähintään 50 mm:n tuuletusvälillä, jolloin kattorakenteen ja vesikaton väli on tarpeeksi hyvin tuulettuva. Kun saumavahto on kuivunut, poista ylimääräinen yli levyntason pursunut uretaani pois. Asenna Anselmi suoraan Vintti-Iitalevyn päälle. Päälle asennettava levy sahataan 15 – 20 mm huonekorkeutta matalammaksi. Ensimmäistä levyä asennettaessa nurkan pysytsaumaan ja lattiaan pursutetaan uretaani. Levyt kiinnitetään runkoon ruuveilla välimitan ollessa 300 mm ja etäisyyden ollessa levyn reunasta 15 mm. Pursota levyjen välinen sauma ennen uuden levyn asentamista. Nurkkien asennus tehdään puskuliitoksilla ja liitoskohdat pursotetaan saumavaahdolla.

Kattoon asennettaessa pintalevyä seinän yläreunaan pursotetaan saumavaahtoa. Levy kiinnitetään ruuvilla ja aluslevyllä. Kiinnitä pintaverhousta varten kattoon koolausrimat. Savupiipun saumaus tehdään siihen sopivalla palouretaanilla. Leikatut levyt ja läpiviennit teipataan alumiiniteipillä tarpeen mukaan. Ilmanvaihtokanavat eristetään 100 mm levyvillalla. Savupiippu eristetään uretaanilevystä ylöspäin paloeristykseen sopivalla kivilevyvillalla vähintään 100 mm etäisyydelle palavista rakenteista. Paloeristykseen tulee ulottua vähintään 100 mm yläpohjaeristeen yläpuolelle. Eristys tehdään 2x50 mm kivilevyvillalla ja saumat limitetään

noin 50 mm. 2000-luvulta alkaen monet kuitenkin rappaa ja eristää hormit palovillalla vesikatteeseen asti. Myös piipun rappausta ns. slammausmenetelmällä kannattaa harkita remontin yhteyteen.

Yläpohjan SPU-eristeen lopullinen paksuus tulee olemaan 160 mm, jolla saavutamme tämän päivän rakentamisen vaadittavan eristyspaksuuden. /29, 30/

### **6.3 Korjausvaihtoehto 2**

#### **Yleistä**

Toinen eriste vaihtoehtomme on puhallettava ekovilla. Ekovillalla on erinomaiset palon, kosteuden ja lämmöneristävyyden ominaisuudet. Seinät ja välipohjat puretaan sisältäpäin ja rakenteista poistetaan imuautolla kaikki irtoava sahanpuru ja pöly.

#### **Seinät**

Puretaan seinät ylhäältä alas päin, jotta saadaan sahanpurut imuroitua ilman suurempaa pölyämistä helposti pois. Purujen tilalle runkoon 50\*100 jaolla k900 puhalletaan Ekovillan puhallusvilla. Runkoon kiinnitetään nitomalla kangasvahvisteinen ilmansulkupaperi Ekovilla X5 500 mm:n etenemällä. Tällä rakenteella talon hengittävyys molempiin suuntiin pysyy erinomaisena. Villaa puhalletaan koolauksen väliin korkeudeltaan noin 500 mm kerrallaan, jolla varmistetaan eristeen tiiviys. Puhallusta jatketaan 500 millimetrin etenemällä, kunnes seinä on valmiiksi puhallettu. Ilmansulkupaperi limitetään alapohjaan vähintään 150 millimetrin matkalta nitojalla. Seinä pinnoitetaan hengittävällä materiaalilla esimerkiksi Halltex- tai Gyproc-levyllä. Pintaan asennetaan hengittävä tapetti.

#### **Välipohjat ja väliseinät**

Puretaan välipohjan alapuolinen laudoitus ulkoseinästä alkaen sisäänpäin. Imuautolla poistetaan purkamisesta tuleva sahanpuru ja pöly. Ilmansulkupaperi limitetään päällekkäin 150 millimetrin matkalta seinästä tulevan paperin kanssa ja nidotaan läheltä limityskohtaa runkoon kiinni. Villaa puhalletaan noin 500 mm pituus

suunnassa kerrallaan ja ilmansulkupaperia kiinnitetään nitojalla runkoon etenemän edetessä. Puhallusta jatketaan, kunnes välipohja on täynnä. Ilmansulkupaperin päättäminen tapahtuu kattoon hyvin nitomalla. Katto pinnoitetaan hengittäväällä materiaalilla.

Väliseinistä puretaan toinen puoli ylhäältä alaspäin edeten, jolla minimoidaan sahanpurun leviäminen työskentelyalueelle. Seinien runkoon laitetaan nitojalla kiinni ilmansulkupaperi alhaalta ylöspäin noin 500 millimetrin korkeudelle. Seinät puhalletaan täyteen 500 millimetrin etenemällä ja samalla tavalla edetään ylös asti. Ilmansulkupaperi limitetään mahdollisuuksien mukaan kattoihin noin 150 millimetriä katossa olevan ilmansulkupaperin kanssa.

### **Yläpohja**

Puretaan yläpohjan alapuolinen laudoitus. Imuautolla poistetaan purkamisesta tuleva sahanpuru ja pöly. Ilmansulkupaperi limitetään 150 millimetrin matkalta seinästä tulevan paperin kanssa päällekkäin ja nidotaan läheltä limityskohtaa runkoon kiinni. Villaa puhalletaan 400 mm yläpohjaan. Varmistetaan räystäslaudoituksesta tulevan välin esteettömyys. Läpiviennit tiivistetään Ekovilla X-hormiläpiviennillä. Läpiviennit kiinnitetään hakasilla tai nauloilla apukoolaukseen. Läpivienneissä on valmiina tiiviste, jolla saadaan hyvä tiivistys eristeen ja hormin välille. Jos rappaus tai tiilenpinta on epätasainen, voidaan saumaan käyttää paloluokiteltua tiivistemassaa. Yläpohjassa savupiippu eristetään puhallusvillan yläpuolelle vähintään 100 mm siihen soveltuvalla levypalovillalla, joka kiinnitetään mekaanisesti valmistajan ohjeita noudattaen. 2000-luvulla saneerauskohteissa on kuitenkin suositeltavaa rapata ja eristää palovillalla hormit vesikatteeseen saakka. Yläpohjan eristeen lopullinen paksuus tulee olemaan noin 400 mm.

### **6.4 Vaihtoehtojen vertailu**

Vaihtoehtoja on vertailtu taulukossa 7 sekä korjausrakentamisen helppouden, riskien, kustannusten ja lopputuloksen lämmöneristävyyden näkökulmasta taulukossa 6. Taulukossa 7 energiaremonttia on tarkasteltu työn helppouden, kustannusten,

U-arvojen, mieltymysten ja riskien näkökulmasta. Pisteytys on 1 – 3 josta 1 on huono, 2 on kohtalainen ja 3 on hyvä.

**Taulukko 7.** Vaihtoehtojen vertailu.

	1	2	3	4	5	YHT
Sahanpuruseinä 100 mm	1	2	1	3	1	8
Kivivillaseinä 100 mm	3	3	3	3	2	14
Selluvillaseinä 100 mm	1	2	1	3	2	9
Sahanpuruväli- ja yläpohja 200 mm	1	3	1	3	2	10
Kivivillaväli- ja yläpohja 200 mm	3	3	3	3	3	15
Selluvillaväli- ja yläpohja 200 mm	1	2	2	2	2	9
Polyuretaaniyläpohja 160 mm	2	2	3	2	2	11

Lyhenteet:

1 = Työn helppous

2 = Kustannukset

3 = U-arvo

4 = Mieltymykset

5 = Riskit

Pisteytys 1-3

1 = Huono

2 = Kohtalainen

3 = Hyvä

Taulukon 7 tulosten mukaan kivivilla on ylivoimainen vaihtoehto eristämiseen. Polyuretaanin valinta yläpohjaan on myös hyvä vaihtoehto. Kivivillan työstettävyyden on erinomainen ja materiaali muotoutuu hyvin rakenteisiin. Kustannukset ovat huokeimmasta päästä, mikä on rakentajalle hyvin tärkeää. U-arvo kivivillalla on vertailun toiseksi pienin 0,37 W/m<sup>2</sup>K. Voittaja U-arvo vertailussa oli polyuretaani arvolla 0,14 W/m<sup>2</sup>K. Polyuretaanin vahvin ominaisuus on yläpohjan kautta karkaavan lämmön estäminen.

## 7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Sahanpurutalojen energiaremontti alkaa olla ajankohtainen monen talon kohdalla ei pelkästään eristeiden, vaan myös käyttövesiputkistojen vuoksi. Putkistoremontin ja muun korjausremontin yhteydessä on hyvä miettiä eristeiden vaihtamista energia arvoiltaan paremmiksi.

Opinnäytetyöni laskelmat antavat hyvän esimerkin kaikille samaa remonttia suunnitteleville. Opinnäytetyöstäni selviää, kuinka eristeiden lämpöarvoja lasketaan, sekä mihin tuloksiin on päädytty.

Rakenteiden kunnosta ei voida olla varmoja, ennen kuin rakenteet on auki ja niiden todellinen tila nähdään. Rakenteiden aukaisun jälkeen on aika selvittää mitä tarpeita todellisuudessa on. Kustannuksia syntyy ja niistä on hyvä tehdä tarkka laskelma ennen remonttiin ryhtymistä. Syntyviä kustannuksia on esimerkiksi jäte- ja kierrätyskustannukset, imuauton vuokraus, eristeet, höyrinsulku, Gyproc-levyt, naulat, ruuvit. Työstä syntyviä kustannuksia esim. purku, eristys, levytys ja viimeistelykustannukset.

Jos työtä ei tee itse, niin kannattaa ottaa selkeä tarjous kokonaiskustannuksista, johon on sisällytetty kaikki eriteltyinä. Eritelty tarjous on helpompi kilpailuttaa, jolloin jää parempi kokonaiskuva kunkin remonttiin vaikuttavan asian kustannuksista.

Eristysvaihtoehtoja miettiessä on tärkeää selata eri valmistajien eristysvaihtoehtoja. RT-kortisto antaa hyvän lähtötietopankin remontteihin.

## 8 LÄHTEET

- /1/ Kaila, P. 1997. Talotohtori.
- /2/ Prien, S & Tanggaard, K. 2012. Säästä energiaa.
- /3/ C3-2010\_suomi\_221208.pdf. 2010. Rakennusten lämmöneristys.
- /4/ Erat, B. 1994. Ekologia, ihminen, ympäristö.
- /5/ Paroc-extra. 2017. Pehmeä levyeriste. Viitattu 31.5.2017.  
<http://www.paroc.fi/ratkaisut-tuotteet/tuotteet/pages/yleiseristeet/paroc-extra>
- /6/ Yleiset ohjeet\_270510. 2010. Rakennusmateriaalien päästöluokitus yleiset ohjeet. Viitattu 29.6.2017.  
<https://www.rakennustieto.fi/index/rakennustieto/rakennusmateriaalienpaastoluokitus/m1-vaatimuksetjalukitelujentuotteidenkaytto.html>
- /7/ Taloon. 2017. Polyuretaanilevy (SPU) Kingspan Therma TP10 Vintti-Iita 70mm. Viitattu 17.7.2017. <http://www.taloon.com/spu-vintti-iita-70x600x2600/JJ-52-64gjad/dp?openGroup=10236>
- /8/ RT-kortti 38504. 2017. Ekovilla-lämmöneristeet Ekovilla Oy. Rakennustieto Oy.
- /9/ RT-kortti 38848. 2017. Ypap tuotteet. Rakennustieto Oy.
- /10/ ParocEristäminen. 2005. Pientalon terve ja turvallinen eristäminen. Viitattu 1.6.2017. <http://www.taloon.info/pdf/ParocEristaminen.pdf>
- /11/ E1\_2011-fi. 2011. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten paloturvallisuus määräykset ja ohjeet 2011. Viitattu 31.5.2017.  
[http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Paloturvallisuus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Paloturvallisuus)
- /12/ RK080303. 2009. Rakennusfysiikan perussäännöt suunnittelussa ja rakentamisessa. Viitattu 1.6.2017.  
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK080303.pdf>
- /13/ 102966. 2010. C3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Rakennusten lämmöneristys määräykset 2010. Viitattu 1.6.2017.  
[https://www.edilex.fi/data/rakentamismaarayskset/c3\\_2010.pdf](https://www.edilex.fi/data/rakentamismaarayskset/c3_2010.pdf)
- /14/ Lahtinen, K. 2014. Viri ja valkee.
- /15/ Taloon. 2017. Puhallusvilla Ekovilla 15-35 m<sup>3</sup> puhallettuna. Viitattu 1.6.2017. <http://www.taloon.com/puhallusvilla-ekovilla-15-35-m3-puhallettuna/EKO-PUH-15-35/dp?openGroup=3586>

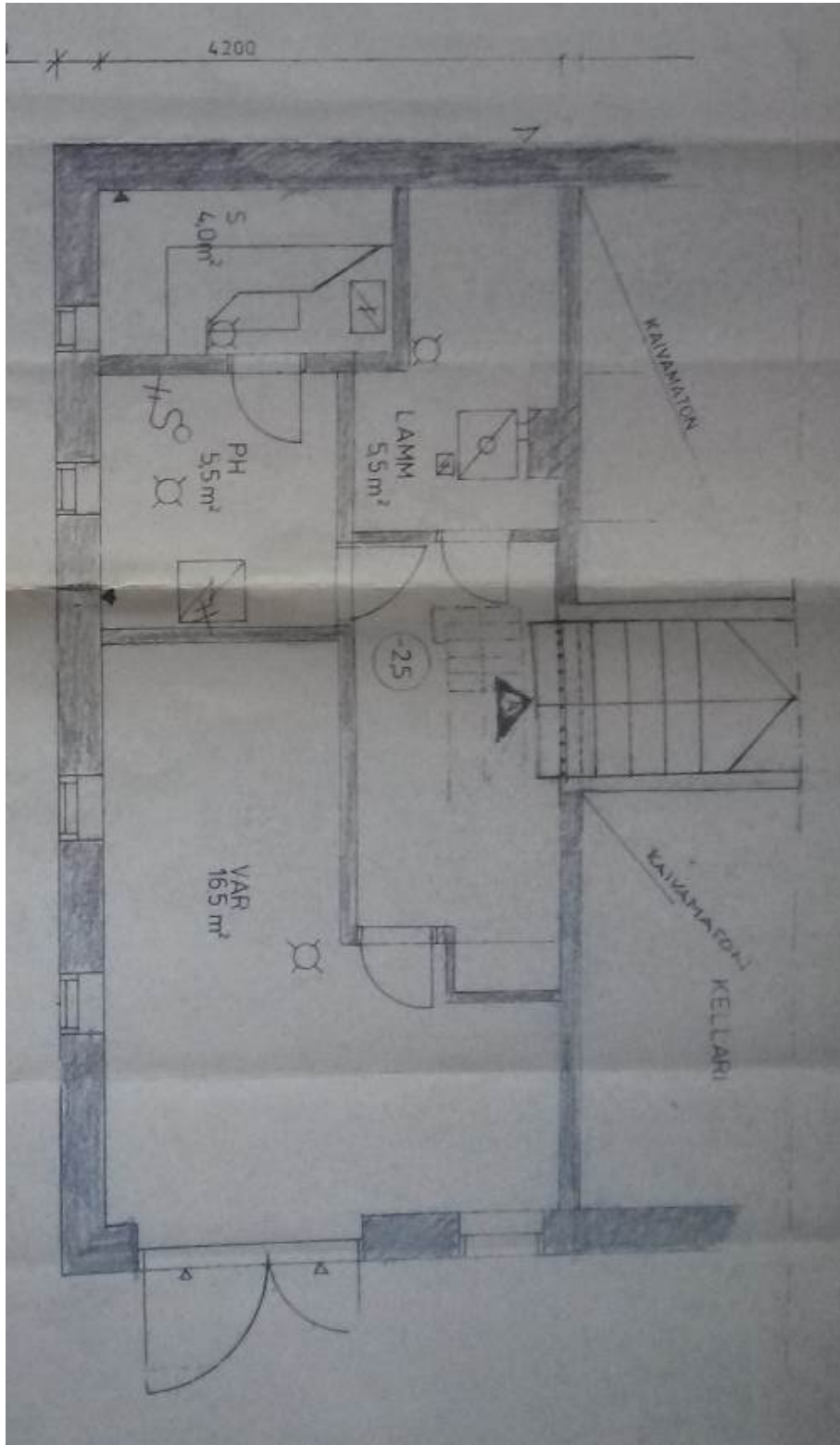


- /16/ Taloon. 2017. Paroc Extra kivivilla 100 mm, levykoko 565x1220 mm. Viitattu 1.6.2017. <http://www.taloon.com/paroc-extra-vuorivilla-100x565x1170-5-29-m2-pak/PM-AI00359/dp?openGroup=12677>
- /17/ Taloon. 2017. Kingspan Therma TP10 Vintti-Iita 70mm 70x600x2600. Viitattu 18.7.2017. <http://www.taloon.com/polyuretaanilevy-spu-al-120x1200x2400/JJ-44-58qewr/dp?openGroup=10236>
- /18/ Taloon. 2017. Flexi-Batts vuorivilla 570x1170x200. Viitattu 30.6.2017. <http://www.taloon.com/flexi-batts-vuorivilla-570x1170x200-2m2-pkt/RW-6340-00-01-0022/dp?openGroup=2990>
- /19/ Taloon. 2017. Ilmansulkupaperi Ekovilla X5. Viitattu 30.6.2017. <http://www.taloon.com/eko-ilmansulkupaperi-60m2-rll-x5/JJ-63-49tuxv/dp?openGroup=334>
- /20/ Vinha, J., Valovirta, I., Korpi, M., Mikkilä, A. & Käkelä P. 2005. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet lämpötilan ja suhteellisen kosteuden funktiona. Viitattu 8.6.2017. [https://tutcris.tut.fi/portal/files/1013606/vinha\\_rakennusmateriaalien\\_rakennusfysikaaliset\\_ominaisuudet.pdf](https://tutcris.tut.fi/portal/files/1013606/vinha_rakennusmateriaalien_rakennusfysikaaliset_ominaisuudet.pdf)
- /21/ Tamminiemi. 2017. Sahanpuru ja kutterinpuru. Viitattu 30.6.2017. <http://www.tamminiemi.com/purut/>
- /22/ Liite 1 tyyppirakennukset ja rakenteet 2014-05-23. 2017. Energiatodistus opas. Viitattu 30.6.2017. <http://www.ymparisto.fi/download/noname/%7BAC7A25CB-AE7E-4869-8884-1AE74D3FE2DE%7D/100058>
- /23/ RT 07-11195. 2016. Rakennustarvikkeiden ainetiheyksiä ja tavarakuormia. Rakennustieto Oy.
- /24/ Laine, K. 2010. Rakennusmateriaalien rakennusfysikaaliset ominaisuudet. Viitattu 15.6.2017. <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23014/Laine.pdf?sequence=1>
- /25/ Niskala, E. 2011. Puutalon korjaus.
- /26/ Pientalo\_7\_Ylapohja\_2013\_02\_01. 2013. Yläpohjan lisälämmöneristys. Viitattu 14.6.2017. [http://www.energiakorjaus.info/wp-content/uploads/2013/08/Pientalo\\_7\\_Ylapohja\\_2013\\_02\\_01.pdf](http://www.energiakorjaus.info/wp-content/uploads/2013/08/Pientalo_7_Ylapohja_2013_02_01.pdf)
- /27/ Ilmatiiviystuotteet\_2017-web. 2017. Ilmatiiviystuotteet. Viitattu 31.5.2017. [http://www.ekovilla.com/fileadmin/user\\_upload/dokumentit/Ilmatiiviystuotteet\\_2017-web.pdf](http://www.ekovilla.com/fileadmin/user_upload/dokumentit/Ilmatiiviystuotteet_2017-web.pdf)
- /28/ Puuinfo.fi. 2017. Viitattu 18.7.2017. <http://www.puuinfo.fi/node/1602>

/29/	Isover.	2017.	Viitattu	21.7.2017.
	<a href="https://www.isover.fi/rakenneratkaisut/piipun-eristys">https://www.isover.fi/rakenneratkaisut/piipun-eristys</a>			
/30/	Taloon.	2017.	Viitattu	21.7.2017.
	<a href="http://www.taloon.info/pdf/spu_vintti_iita_esite_ja_asennusohje.pdf">http://www.taloon.info/pdf/spu_vintti_iita_esite_ja_asennusohje.pdf</a>			
/31/	Taloon.	2017.	Viitattu	17.7.2017.
	<a href="http://www.taloon.com/tuotteet/polyuretaanieriste-spu-anselmi-40x600x2600/JJ-49-56qegj/dp?search=anselmi">http://www.taloon.com/tuotteet/polyuretaanieriste-spu-anselmi-40x600x2600/JJ-49-56qegj/dp?search=anselmi</a>			

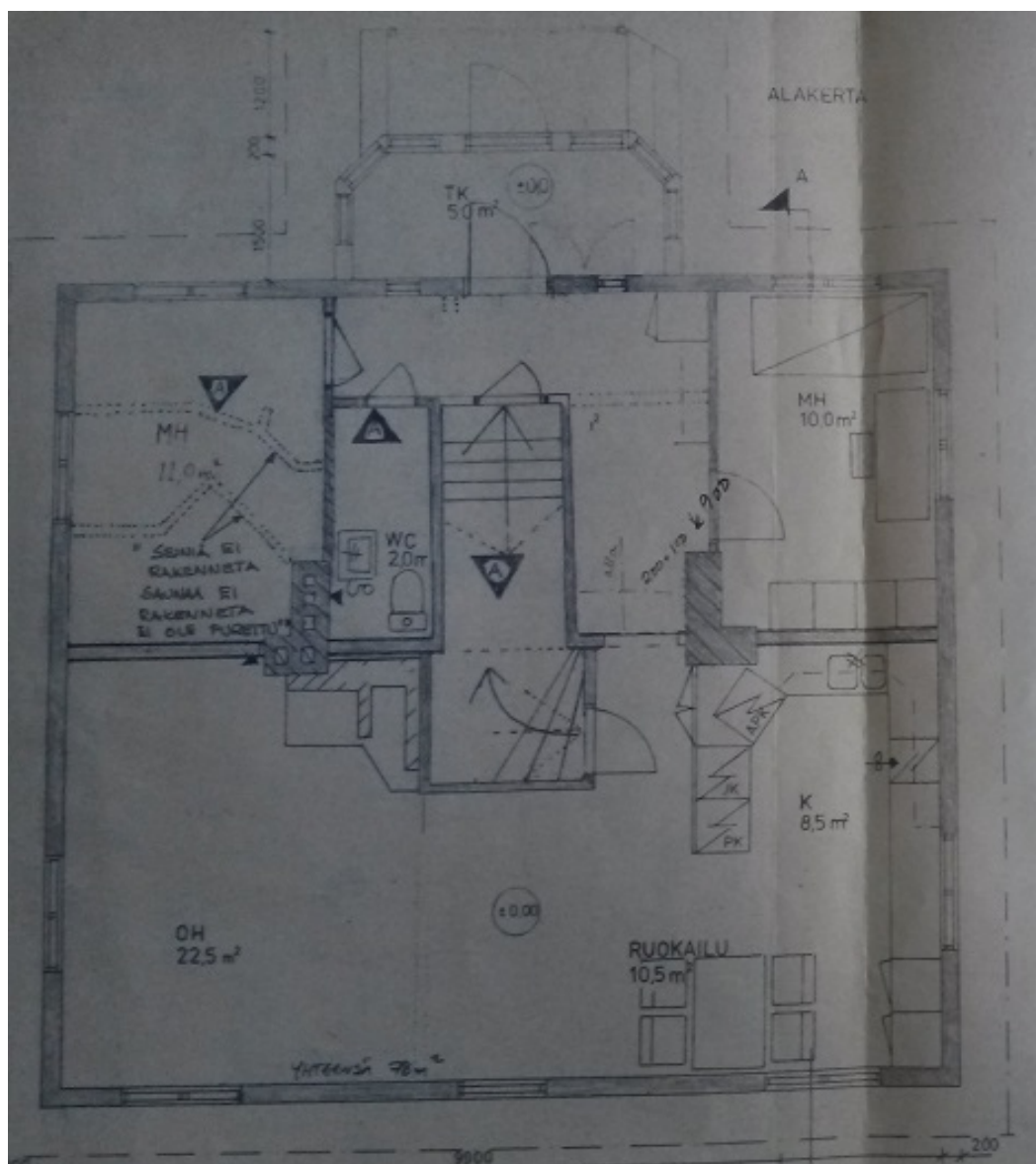
# LIITE 1

## Kellarin pohjapiirustus



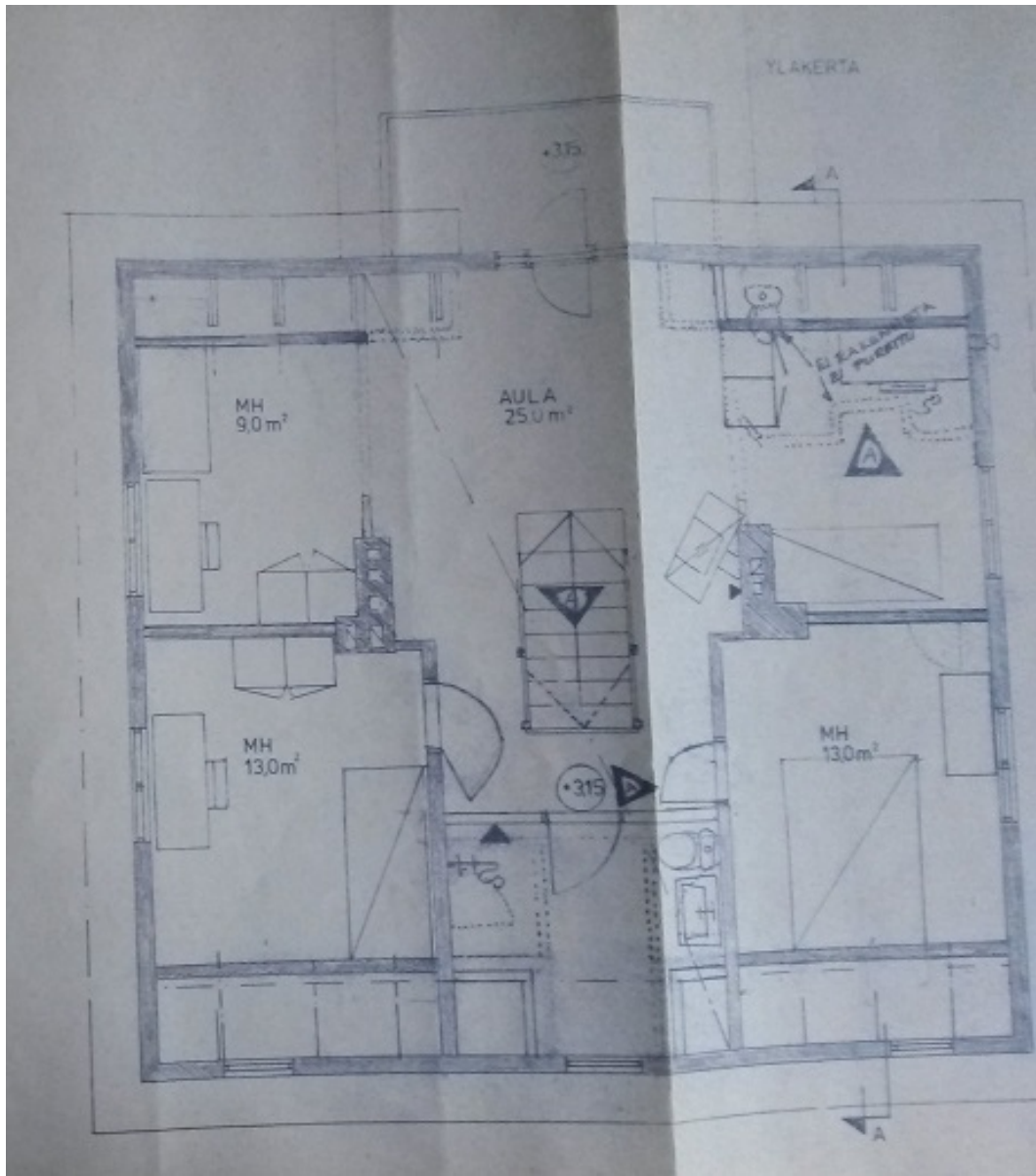
## LIITE 2

### Alakerran pohjapiirustus



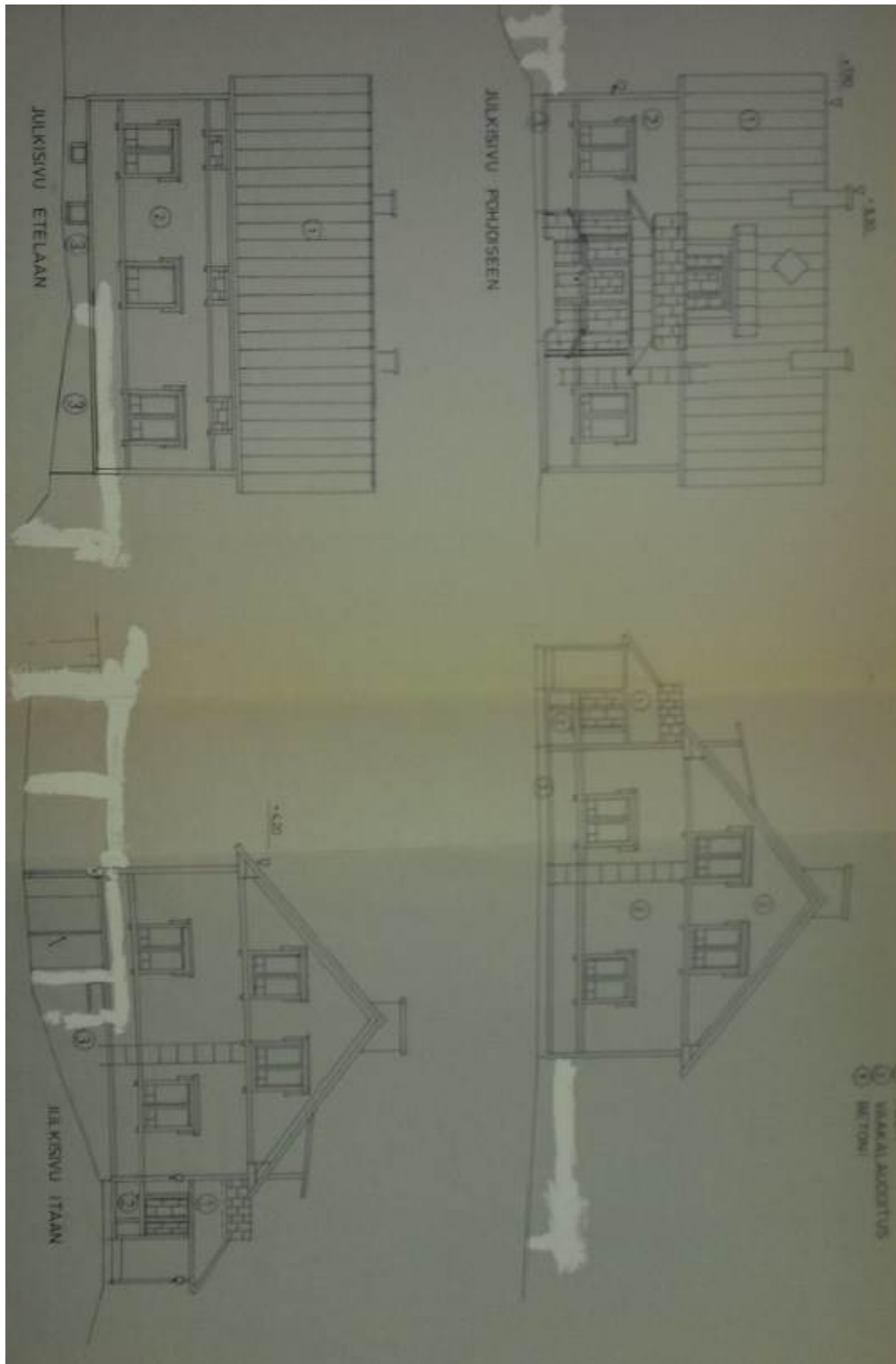
### LIITE 3

### Yläkerran pohjapiirustus



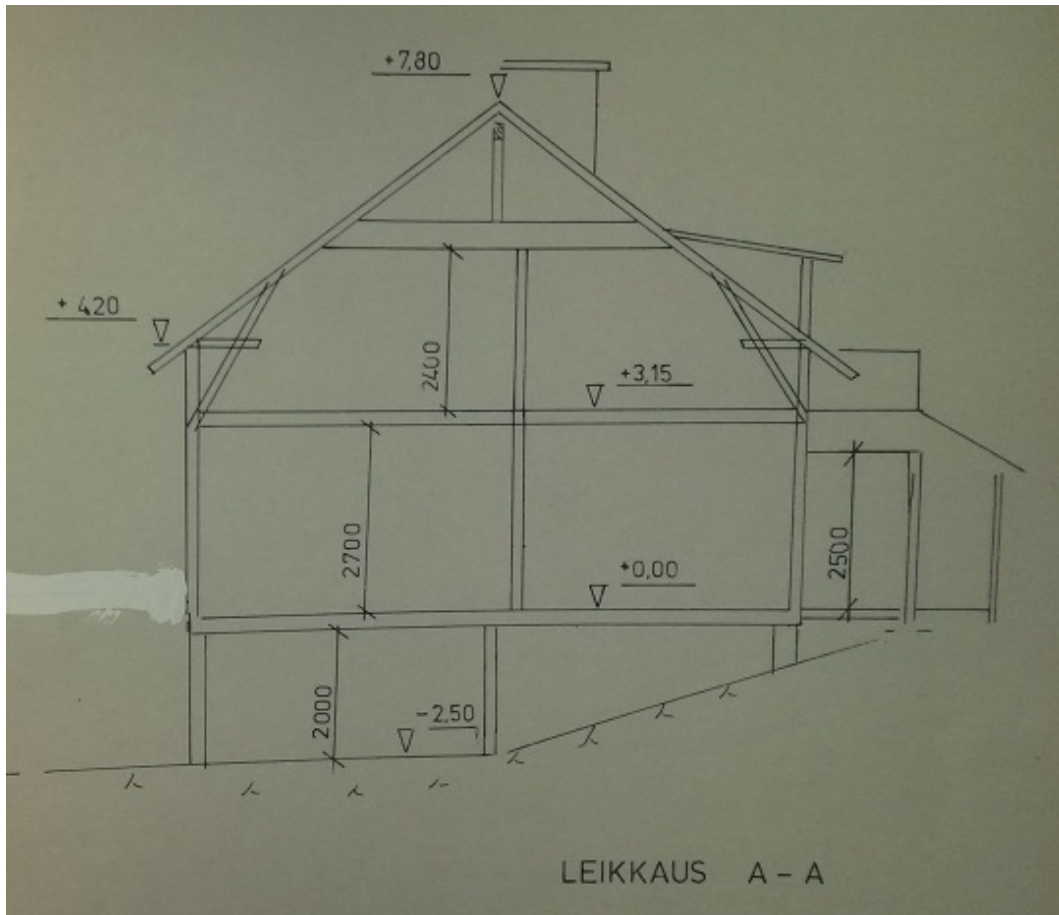
# LIITE 4

## Julkisivut



LIITE 5

Leikkaus A-A



# LIITE 6

## Pientalon E-luku

Ohjelmaversio 1.02	
Suunnittelutoimisto	Työn nro
Pientalon E-luku	6
	Sivu
	1 / 3
Päiväys	Tekijä
1.8.2017	Toni Erholtz
Rakennuskohde	Sisältö
Valokkitie 9	E-lukulaskuri

<b>RAKENNUKSEN TIEDOT</b>		<input checked="" type="checkbox"/> Täytä oletusarvot	<b>Info</b>
Rakennusluokka	Erilliset pientalot		
Lämmitetty nettopinta-ala, A <sub>netto</sub>	192,08	m <sup>2</sup>	
Kerroslukumäärä	3	Rakennusvaipan massiivisuus	Kevytrakenteinen
<b>RAKENTEIDEN TIEDOT</b>			<b>Info</b>
	Pinta-ala m <sup>2</sup>	U-arvon vertailuarvo W/m <sup>2</sup> K	Käytettävä U-arvo W/m <sup>2</sup> K
Ulkoseinät	226,8	0,17	0,37
			Ulkoseinän tyyppi Muu seinätyyppi
Yläpohja	76,0	0,09	0,14
Alapohja	42,0	0,16	0,17
			Alapohjan tyyppi Maata vasten
Kattoikkunat	0,0	1,00	
Uiko-ovet	8,2	1,00	1,00
Ikkunapinta-ala	17 %		Ikkunoiden U-arvo: 1,00
Ikkunat pohjoiseen	11,4	1,00	1,0
			Ikkunan g-arvo 0,6
Ikkunat itään	1,6	1,00	1,0
			Ikkunan g-arvo 0,6
Ikkunat etelään	14,7	1,00	1,0
			Ikkunan g-arvo 0,6
Ikkunat länteen	4,9	1,00	1,0
			Ikkunan g-arvo 0,6
<b>RAKENTEIDEN LIITYMIEN KYLMÄSILTOJEN TIEDOT</b>			<b>Info</b>
	Pituus m	Lisäkonduktanssi W/mK	Huonekorkeus m
Ulkoseinä - Yläpohja	29,2	0,1	2,5
Ulkoseinä - Alapohja	16,2	0,1	
Ulkoseinä - Välipohja	32,3	0,1	
Ulkoseinän ulkonurkka	37,5	0,0	
Ulkoseinän sisänurkka	7,5	0,0	
Ulkoseinä - ikkuna	93,3	0,0	
Ulkoseinä - ovi	19,7	0,0	



Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Pientalon E-luku	6	2 / 3
	Päiväys	
1.8.2017	Toni Erholtz	
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	E-lukulaskuri	

**ILMANVAIHDON TIEDOT****Info**

Koneellinen ilmanvaihto	Normaalilla hyötysuhteella toimiva ilmanvaihto	
IV-koneen LTO:n poistoilman vuosihyötysuhde	0,6	
SFP-luku	1,8	kW/(m <sup>3</sup> /s)
Tuloilman lämpötila jälkilämmityspatterin jälkeen	18,0	°C
Jälkilämmityspatteri	Kytetty lämmitysjärjestelmään	
Ilmanvuotoluku (q <sub>50</sub> )	4	m <sup>2</sup> /(hm <sup>2</sup> )

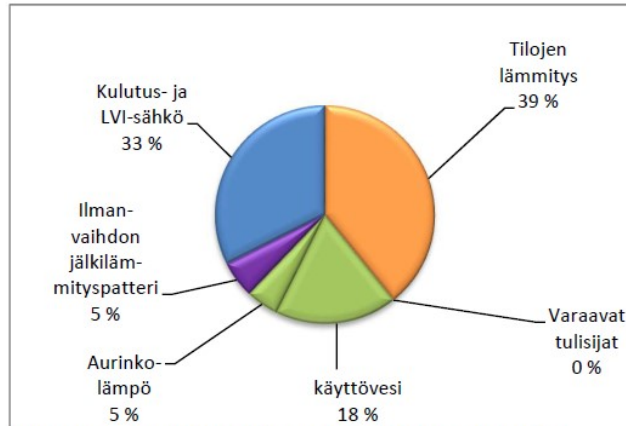
**LÄMMITYSJÄRJESTELMÄN TIEDOT****Info**

Lämmitystapa	Kaukolämpö	
Tilojen lämmönjakojärjestelmä	Vesikieroinen lattialämmitys 40/30 °C - maata vasten rajoittuvassa rakenteessa	
Varaavien tulisijojen määrä	0	
Lämpimän käyttöveden varastointi	300 l varaaja, 40 mm eristys	
Lämpimän käyttöveden kierto- ja siirtojohdot	Kiertojohto - ei tietoa eristystasosta	
Käyttöveteen kytkettyjä lämmityslaitteita	Ei	
<b>(Maalämpöpumppu)</b>	<b>Info (Poistoilmalämpöpumppu)</b>	<b>Info</b>
Tuotto-osuus	0,0	Info Tuotto-osuus
SPF-luku (tilat)	0,0	Info SPF-luku
SPF-luku (käyttövesi)	0,0	Info
Aurinkolämpö (tukemaan käyttöveden lämmitystä)	Kyllä	
Aurinkokeräimen pinta-ala	50	m <sup>2</sup>
Suuntaus	pohjoinen/koillinen/tuode	
Omavaraissähkö	0	kWh/a

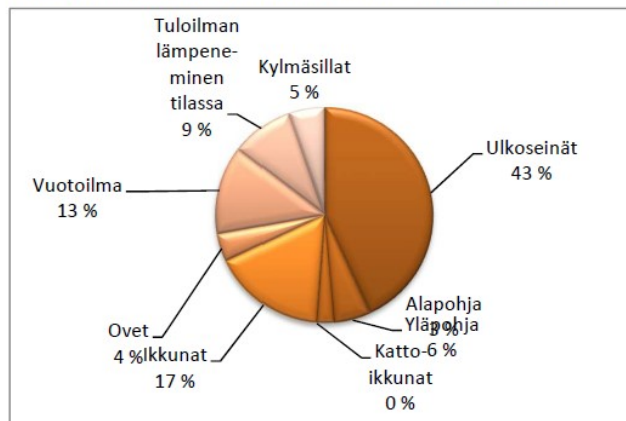
Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Pientalon E-luku	6	3 / 3
	Päiväys	
Rakennuskohde	1.8.2017	Toni Erholtz
Valokkitie 9	Sisältö	E-lukulaskuri

## LASKENTATULOKSET VALITUILLA ARVOILLA

Info



Kuvaaja 1. Energiamuotojen kertoimilla painotettu kokonaisenergiatarve



Kuvaaja 2. Sisätilojen lämmitystarpeen jakautuminen

Laskennassa käytetyt U-arvot, W/m<sup>2</sup>K

Ulkoseinät	0,37
Yläpohja	0,14
Alapohja	0,17
Kattoikkunat	0,00
Ulko-ovet	1,00

## Ikkunat

pohjone	1,00
itä	1,00
etelä	1,00
länsi	1,00

Kuvaajan 2 osuuksissa on huomioitu energiamuotojen kertoimien painotukset rakentamismääräysräsäkoelman osan D3-2012 mukaisesti seuraavasti:

1,7 - sähkö

0,7 - kaukolämpö

1,0 - fossiiliset polttoaineet

0,5 - rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet

E-luku valituilla U-arvoilla

166 kWh/m<sup>2</sup> a

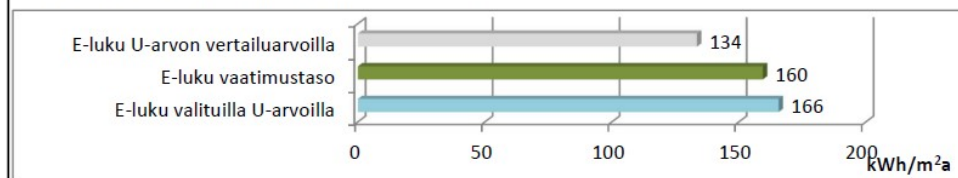
E-luku vaatimustaso

160 kWh/m<sup>2</sup> a

E-luku U-arvon vertailuarvoilla

134 kWh/m<sup>2</sup> a

**EI TÄYTÄ ENERGIA-TEHOKKUUS-VAATIMUKSIA**



# LIITE 7

## Pientalon puruseinän U-arvo

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto	Työn nro
Pientalon puruseinän U-arvo	7
	Sivu
	1 / 2
Rakennuskohde	Sisältö
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

**RAKENTEEN TIEDOT**
Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan)

**RAKENNEKERROKSET**

*Sisäpinta*

1 Kuitulevy

Kerroksen paksuus [d] 15,0 mm

Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,049 W/mK

2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)

Kerroksen paksuus [d] 100,0 mm

Lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,080 W/mK

Koolausuunta (p / v) p

3 Ei rakennekerrosta

4 Ei rakennekerrosta

5 Ei rakennekerrosta

6 Ei rakennekerrosta

7 Ei rakennekerrosta

8 Ei rakennekerrosta

*Ulkopinta*

**ILMARAKOJEN TIEDOT**

Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1

**METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT**

Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä

**KOOLAUKSEN TIEDOT**

Koolauspuun leveys [b] 48 mm

Koolauspuun lämmönjohtavuus [ $\lambda$ ] 0,120 W/mK

Pystykoolauksen k-jako [s] 600 mm

**RAKENNE / LÄMPÖVIRTA**

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Pientalon puruseinän U-arvo	7	2 / 2
	Päiväys	
42948	Toni Erholtz	
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kuitulevy	15	0,049	0,3061		
2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	100	0,080	1,2019	48	600
Ulkopinta			0,1300		

Rakenteen kokonaispaksuus		115 mm
		Ulkopuoli
		Sisäpuoli

MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI		
Ei muuraussiteitä		
OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOJUDET		
$f_a$	0,920	<i>Eriste</i>
$f_b$	0,080	<i>Pystykoolaus</i>
$f_c$	0,000	<i>Vaakakoolaus</i>
$f_d$	0,000	<i>Koolausristeys</i>
OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET		
$R_a$	1,816	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	1,399	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
U-ARVO		
$R'_T$	1,774	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	1,768	m <sup>2</sup> K/W
U	0,565	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

**Korjauksia ei tarvitse huomioida**

ULKOSEINÄN U-ARVO
$U_c = 0,5647 \text{ W/m}^2\text{K}$

VIRHEILMOITUKSET
.
.
.
.
.

# LIITE 8

## Pientalon U-arvo kivivillaseinä

Ohjelmaversio 1.03		
Suunnittelutoimisto	Työn nro	
Pientalon U-arvo kivivillaseinä	8	
	Päiväys	Tekijä
	1.8.2016	Toni Erholtz
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

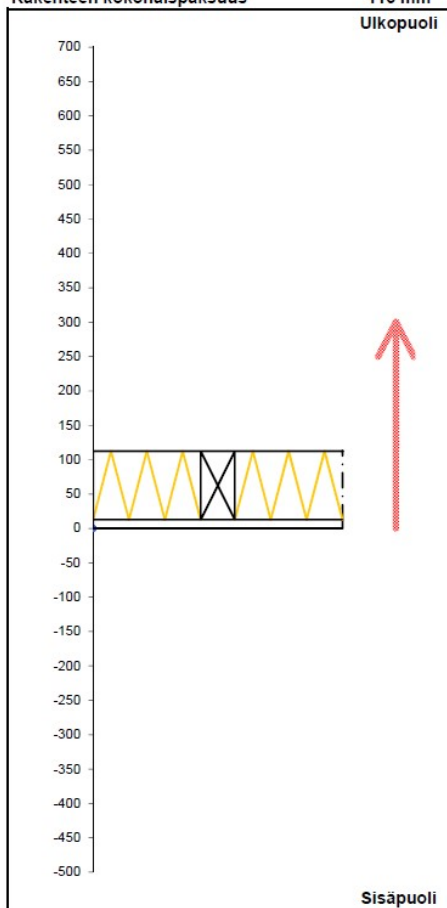
<p><b>RAKENTEEN TIEDOT</b> <span style="float: right; color: red;">Info</span></p> <p>TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan) ▼</p> <p><b>RAKENNEKERROKSET</b></p> <p><i>Sisäpinta</i></p> <p>1 Kipsilevy ▼          Kerroksen paksuus [d] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">12,5 mm</span>          Lämmönjohtavuus [λ] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0,210 W/mK</span></p> <p>2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼          Kerroksen paksuus [d] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">100,0 mm</span>          Lämmönjohtavuus [λ] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0,036 W/mK</span>          Koolaussuunta (p / v) <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">p</span></p> <p>3 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>4 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>5 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>6 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>7 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>8 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p><i>Ulkopinta</i></p>	<p><b>ILMARAKOJEN TIEDOT</b></p> <p>Ulkopuolen tuuletusrako <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Hyvin tuulettuva</span> ▼</p> <p>Ilmarakojen korjaustekijä <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Korjaustaso 1</span> ▼</p> <p><b>METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT</b></p> <p>Muuraussiteiden tyyppi <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Ei muuraussiteitä</span> ▼</p> <p><b>KOOLAUKSEN TIEDOT</b></p> <p>Koolauspuun leveys [b] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">48 mm</span> ▼</p> <p>Koolauspuun lämmönjohtavuus [λ] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0,120 W/mK</span></p> <p>Pystykoolauksen k-jako [s] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">600 mm</span></p>
--	---

**RAKENNE / LÄMPÖVIRTA**

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Pientalon U-arvo kivivillaseinä	8	2 / 2
	Päiväys	
42583	Toni Erholtz	
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Kipsilevy	12,5	0,210	0,0595		
2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	100	0,036	2,3408	48	600
Ulkopinta			0,1300		

Rakenteen kokonaispaksuus 113 mm



#### MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI

Ei muuraussiteitä

#### OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUEDET

$f_a$	0,920	<i>Eriste</i>
$f_b$	0,080	<i>Pystykoolaus</i>
$f_c$	0,000	<i>Vaakakoolaus</i>
$f_d$	0,000	<i>Koolausristeys</i>

#### OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET

$R_a$	3,097	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	1,153	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W

#### U-ARVO

$R'_T$	2,729	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	2,660	m <sup>2</sup> K/W
U	0,371	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

Korjauksia ei tarvitse huomioida

#### ULKOSEINÄN U-ARVO

$$U_c = 0,3711 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### VIRHEILMOITUKSET

.
.
.
.
.
.

# LIITE 9

## Pientalon U-arvo selluvillaseinä

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto	Työn nro
Pientalon U-arvo selluvillaseinä	9
	Päiväys
	1.8.2017
	Tekijä
	Toni Erholtz
	Sivu
	1 / 2
Rakennuskohde	Sisältö
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

### RAKENTEEN TIEDOT

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen ulkoseinä (lämpövirran suunta vaakasuoraan) ▼

#### RAKENNEKERROKSET

*Sisäpinta*

1	Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼		
	Kerroksen paksuus [d]	15,0 mm	
	Lämmönjohtavuus [λ]	0,049 W/mK	
	Koolausuunta (p / v)	p	

2	Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼		
	Kerroksen paksuus [d]	100,0 mm	
	Lämmönjohtavuus [λ]	0,039 W/mK	
	Koolausuunta (p / v)	p	

3	Ei rakennekerrosta ▼		
4	Ei rakennekerrosta ▼		
5	Ei rakennekerrosta ▼		
6	Ei rakennekerrosta ▼		
7	Ei rakennekerrosta ▼		
8	Ei rakennekerrosta ▼		

*Ulkopinta*

**Info**

#### ILMARAKOJEN TIEDOT

Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva ▼

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1 ▼

#### METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT

Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä ▼

#### KOOLAUKSEN TIEDOT

Koolauspuun leveys [b] 48 mm ▼

Koolauspuun lämmönjohtavuus [λ] 0,120 W/mK

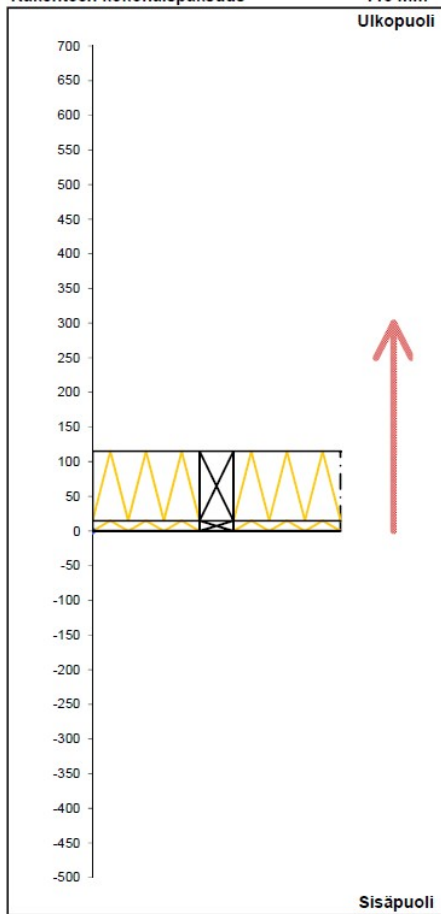
Pystykoolauksen k-jako [s] 600 mm

#### RAKENNE / LÄMPÖVIRTA

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Pientalon U-arvo selluvillaseinä	9	2 / 2
	Päiväys	
42948	Toni Erholtz	
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Puurakenteinen ulkoseinä	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1300		
1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	15	0,049	0,2743	48	600
2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	100	0,039	2,1988	48	600
Ulkopinta			0,1300		

Rakenteen kokonaispaksuus 115 mm

**MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI**

Ei muuraussiteitä

**OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUDET**

$f_a$	0,920	Eriste
$f_b$	0,080	Pystykoolaus
$f_c$	0,000	Vaakakoolaus
$f_d$	0,000	Koolausristeys

**OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET**

$R_a$	3,130	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	1,218	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W

**U-ARVO**

$R'_T$	2,781	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	2,733	m <sup>2</sup> K/W
U	0,363	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

Korjauksia ei tarvitse huomioida

**ULKOSEINÄN U-ARVO**

$$U_c = 0,3627 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**VIRHEILMOITUKSET**

.
.
.
.
.
.



# LIITE 10

## Pientalon U-arvo sahanpuru välipohja ja yläpohja

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto <b>Pientalon U-arvo puruvälipohja ja yläpohja</b>	Työn nro <b>10</b> Päiväys 1.8.2017 Tekijä Toni Erholtz
Sivu <b>1 / 2</b>	
Rakennuskohde Valokkitie 9	Sisältö U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

**RAKENTEEN TIEDOT**
Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen yläpohja (lämpövirran suunta ylöspäin)

**RAKENNEKERROKSET**

*Sisäpinta*

1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼  
 Kerroksen paksuus [d] **200,0 mm**  
 Lämmönjohtavuus [λ] **0,080 W/mK**  
 Koolausuunta (p / v) **v**

2 Ei rakennekerrosta ▼

3 Ei rakennekerrosta ▼

4 Ei rakennekerrosta ▼

5 Ei rakennekerrosta ▼

6 Ei rakennekerrosta ▼

7 Ei rakennekerrosta ▼

8 Ei rakennekerrosta ▼

*Ulkopinta*

**ILMARAKOJEN TIEDOT**

Ulkopuolen tuuletusrako **Hyvin tuulettuva** ▼

Ilmarakojen korjaustekijä **Korjaustaso 1** ▼

**METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT**

Muuraussiteiden tyyppi **Ei muuraussiteitä** ▼

**KOOLAUKSEN TIEDOT**

Koolauspuun leveys [b] **48 mm** ▼

Koolauspuun lämmönjohtavuus [λ] **0,120 W/mK**

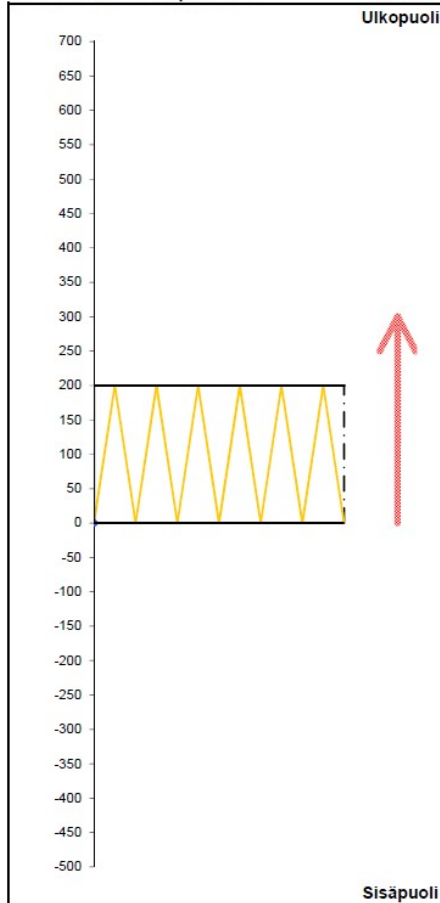
Vaakakoolauksen k-jako [s] **600 mm**

**RAKENNE / LÄMPÖVIRTA**

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Pientalon U-arvo puruvälipohja ja yläpohja	10	2 / 2
	Päiväys	
42948	Toni Erholtz	
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Puurakenteinen yläpohja	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1000		
1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	200	0,080	2,4038	48	600
Ulkopinta			0,1000		

Rakenteen kokonaispaksuus 200 mm

**MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI**

Ei muuraussiteitä

**OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUED**

$f_a$	0,920	<i>Eriste</i>
$f_b$	0,000	<i>Pystykoolaus</i>
$f_c$	0,080	<i>Vaakakoolaus</i>
$f_d$	0,000	<i>Koolausristeys</i>

**OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET**

$R_a$	2,700	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	1,867	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W

**U-ARVO**

$R'_T$	2,607	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	2,604	m <sup>2</sup> K/W
U	0,384	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,000	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

Korjauksia ei tarvitse huomioida

**YLÄPOHJAN U-ARVO**

$$U_c = 0,3838 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**VIRHEILMOITUKSET**

.
.
.
.
.
.

# LIITE 11

## Pientalon U-arvo kivivilla välipohja ja yläpohja

Ohjelmaversio 1.03																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 100%;">Suunnitteluohjeisto</td> <td style="width: 100%;">Työn nro</td> <td style="width: 100%;">Sivu</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Pientalon U-arvo kivivillavälipohja ja yläpohja</td> <td style="text-align: center;">11</td> <td style="text-align: center;">1 / 2</td> </tr> <tr> <td>Päiväys</td> <td>Tekijä</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">1.8.2017</td> <td style="text-align: center;">Toni Erholtz</td> </tr> <tr> <td>Rakennuskohde</td> <td colspan="2">Sisältö</td> </tr> <tr> <td>Valokkatie 9</td> <td colspan="2">U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)</td> </tr> </table>	Suunnitteluohjeisto	Työn nro	Sivu	Pientalon U-arvo kivivillavälipohja ja yläpohja	11	1 / 2	Päiväys	Tekijä		1.8.2017	Toni Erholtz	Rakennuskohde	Sisältö		Valokkatie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)		
Suunnitteluohjeisto	Työn nro	Sivu																
Pientalon U-arvo kivivillavälipohja ja yläpohja	11	1 / 2																
	Päiväys	Tekijä																
	1.8.2017	Toni Erholtz																
Rakennuskohde	Sisältö																	
Valokkatie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)																	

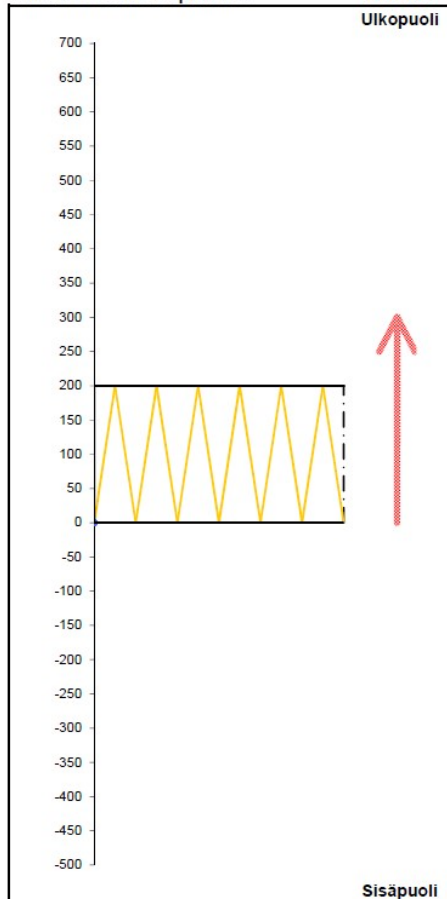
  

<h3 style="margin: 0;">RAKENTEEN TIEDOT <span style="float: right; color: red;">Info</span></h3> <p style="margin: 0;">TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen yläpohja (lämpövirran suunta ylöspäin) <span style="float: right;">▼</span></p> <h4 style="margin: 0;">RAKENNEKERROKSET</h4> <p style="margin: 0;"><i>Sisäpinta</i></p> <p>1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 80%;">Kerroksen paksuus [d]</td> <td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">200,0 mm</td> </tr> <tr> <td>Lämmönjohtavuus [λ]</td> <td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">0,036 W/mK</td> </tr> <tr> <td>Koolaussuunta (p / v)</td> <td style="border: 1px solid gray; text-align: center;">v</td> </tr> </table> <p>2 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>3 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>4 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>5 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>6 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>7 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>8 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p style="margin-top: 10px;"><i>Ulkopinta</i></p>	Kerroksen paksuus [d]	200,0 mm	Lämmönjohtavuus [λ]	0,036 W/mK	Koolaussuunta (p / v)	v	<h4 style="margin: 0;">ILMARAKOJEN TIEDOT</h4> <p>Ulkopuolen tuuletusrako <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Hyvin tuulettuva</span> ▼</p> <p>Ilmarakojen korjaustekijä <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Korjaustaso 1</span> ▼</p> <h4 style="margin: 0;">METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT</h4> <p>Muuraussiteiden tyyppi <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">Ei muuraussiteitä</span> ▼</p> <h4 style="margin: 0;">KOOLAUKSEN TIEDOT</h4> <p>Koolauspuun leveys [b] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">48 mm</span> ▼</p> <p>Koolauspuun lämmönjohtavuus [λ] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">0,120 W/mK</span></p> <p>Vaakakoolauksen k-jako [s] <span style="border: 1px solid gray; padding: 2px;">600 mm</span></p> <div style="border: 1px solid gray; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <h4 style="text-align: center; margin: 0;">RAKENNE / LÄMPÖVIRTA</h4> </div>
Kerroksen paksuus [d]	200,0 mm						
Lämmönjohtavuus [λ]	0,036 W/mK						
Koolaussuunta (p / v)	v						

Suunnittelutoimisto	Työn nro	Sivu
Pientalon U-arvo kivivillävipohja ja yläpohja	11	2 / 2
	Päiväys	
42948	Toni Erholtz	
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Puurakenteinen yläpohja	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1000		
1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	200	0,036	4,6816	48	600
Ulkopinta			0,1000		

Rakenteen kokonaispaksuus 200 mm

**MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI**

Ei muuraussiteitä

**OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUED**

$f_a$	0,920	<i>Eriste</i>
$f_b$	0,000	<i>Pystykoolaus</i>
$f_c$	0,080	<i>Vaakakoolaus</i>
$f_d$	0,000	<i>Koolausristeys</i>

**OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET**

$R_a$	5,756	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	0,000	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	1,867	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	0,000	m <sup>2</sup> K/W

**U-ARVO**

$R''_T$	4,933	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	4,882	m <sup>2</sup> K/W
U	0,204	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,009	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

**YLÄPOHJAN U-ARVO**

$$U_c = 0,2131 \text{ W/m}^2\text{K}$$

**VIRHEILMOITUKSET**

.
.
.
.
.
.

# LIITE 12

## Pientalon U-arvo selluvilla välipohja ja yläpohja

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto	Työn nro
Pientalon U-arvo selluvillavälipohja ja yläpohja	12
	Päiväys
	1.8.2017
	Tekijä
	Toni Erholtz
Rakennuskohde	Sisältö
Valokkite 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

<h3 style="text-align: center;">RAKENTEEN TIEDOT <span style="float: right;">Info</span></h3> <p>TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen yläpohja (lämpövirran suunta ylöspäin) ▼</p> <h4>RAKENNEKERROKSET</h4> <p><i>Sisäpinta</i></p> <p>1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼          Kerroksen paksuus [d] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">200,0 mm</span>          Lämmönjohtavuus [<math>\lambda</math>] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,039 W/mK</span>          Koolausuunta (p / v) <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">v</span></p> <p>2 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>3 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>4 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>5 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>6 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>7 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p>8 Ei rakennekerrosta ▼</p> <p><i>Ulkopinta</i></p>	<h4>ILMARAKOJEN TIEDOT</h4> <p>Ulkopuolen tuuletusrako <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Hyvin tuulettuva</span> ▼</p> <p>Ilmarakojen korjaustekijä <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Korjaustaso 1</span> ▼</p> <h4>METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT</h4> <p>Muuraussiteiden tyyppi <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Ei muuraussiteitä</span> ▼</p> <h4>KOOLAUKSEN TIEDOT</h4> <p>Koolauspuun leveys [b] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">48 mm</span> ▼</p> <p>Koolauspuun lämmönjohtavuus [<math>\lambda</math>] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0,120 W/mK</span></p> <p>Vaakakoolauksen k-jako [s] <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">600 mm</span></p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-top: 10px;"> <h4 style="text-align: center; background-color: #ffffcc;">RAKENNE / LÄMPÖVIRTA</h4> </div>
--	--



# LIITE 13

## Pientalon U-arvo polyuretaani yläpohja

Ohjelmaversio 1.03	
Suunnittelutoimisto	Työn nro
Pientalon U-arvo polyuretaaniyläpohja	13
	Sivu
	1 / 2
Päiväys	Tekijä
1.8.2017	Toni Erholtz
Rakennuskohde	Sisältö
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)

**RAKENTEEN TIEDOT**
Info

TARKASTELTAVA RAKENNE: Puurakenteinen yläpohja (lämpövirran suunta ylöspäin)

**RAKENNEKERROKSET**

*Sisäpinta*

1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 40,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [λ] 0,023 W/mK  
 Koolaussuunta (p / v) v

2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen) ▼  
 Kerroksen paksuus [d] 160,0 mm  
 Lämmönjohtavuus [λ] 0,022 W/mK  
 Koolaussuunta (p / v) p

3 Ei rakennekerrosta ▼

4 Ei rakennekerrosta ▼

5 Ei rakennekerrosta ▼

6 Ei rakennekerrosta ▼

7 Ei rakennekerrosta ▼

8 Ei rakennekerrosta ▼

*Ulkopinta*

**ILMARAKOJEN TIEDOT**

Ulkopuolen tuuletusrako Hyvin tuulettuva ▼

Ilmarakojen korjaustekijä Korjaustaso 1 ▼

**METALLISTEN MUURAUSSITEIDEN TIEDOT**

Muuraussiteiden tyyppi Ei muuraussiteitä ▼

**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**

Suunnitteluinsti	Työn nro	Sivu
Pientalon U-arvo polyuretaaniyläpohja	13	2 / 2
	Päiväys	
42948	Toni Erholtz	
Rakennuskohde	Sisältö	
Valokkitie 9	U-arvon määrittäminen (SFS-EN ISO 6946)	

Puurakenteinen yläpohja	d [mm]	$\lambda$ [W/mK]	R [m <sup>2</sup> K/W]	b [mm]	s [mm]
Sisäpinta			0,1000		
1 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	40	0,023	1,3004	48	600
2 Lämmöneriste (sisältää koolauksen)	160	0,022	5,3619	48	600
Ulkopinta			0,1000		

Rakenteen kokonaispaksuus		200 mm
Ulkopuoli		
Sisäpuoli		

MUURAUSSITEET ERISTEEN LÄPI		
Ei muuraussiteitä		
OSA-ALUEIDEN PINTA-ALAOSUUDET		
$f_a$	0,846	Eriste
$f_b$	0,074	Pystykoolaus
$f_c$	0,074	Vaakakoolaus
$f_d$	0,006	Koolausristeys
OSA-ALUEIDEN LÄMMÖNVASTUKSET		
$R_a$	9,212	m <sup>2</sup> K/W
$R_b$	3,272	m <sup>2</sup> K/W
$R_c$	7,806	m <sup>2</sup> K/W
$R_d$	1,867	m <sup>2</sup> K/W
U-ARVO		
$R'_T$	7,860	m <sup>2</sup> K/W
$R''_T$	6,862	m <sup>2</sup> K/W
U	0,136	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U''$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_g$	0,010	W/m <sup>2</sup> K
$\Delta U_f$	0,000	W/m <sup>2</sup> K

YLÄPOHJAN U-ARVO
$U_c = 0,1454 \text{ W/m}^2\text{K}$

VIRHEILMOITUKSET