

Hannu-Matti Mäenpää

**VANHAN HIRSITALON KUNTOARVIO, LÄMPÖKUVAUS JA
LISÄKONDUKTANSSIEN MÄÄRITYS**

VANHAN HIRSITALON KUNTOARVIO, LÄMPÖKUVAUS JA LISÄKONDUKTANSSIEN MÄÄRITYS

Hannu-Matti Mäenpää
Opinnäytetyö
Kevät 2017
Rakennustekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikka, talonrakennus/korjausrakentaminen

Tekijä: Hannu-Matti Mäenpää
Opinnäytetyön nimi: Vanhan hirsitalon kuntoarvio, lämpökuvaus ja
lisäkonduktanssien määrittäminen
Työn ohjaaja: Kimmo Illikkainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2017
Sivumäärä: 38 + 8 liitettä

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa kuntoarvio ja lämpökuvaus Nivallassa sijaitsevaan 1850-luvulla rakennettuun hirsitaloon. Kohteen rakenteet arvioitiin ja tehtiin myös viivamaisten kylmäsiltojen laskelmat ja vertaillaan niitä taulukkoarvoihin.

Kohteen kunnan määrittämiseen käytettiin kuntoarviota ja lämpökuvausta. Kuntoarvio aloitettiin haastattelemalla tilaajaa ja keräämällä lähtötietoja kiinteistöstä. Kohteen rakenteet pyrittiin määrittämään niin tarkasti kuin se oli mahdollista. Tämä kuitenkin perustui lähinnä arvioihin ja kohteelle tehtyjen korjaustoimien aikana havaittuihin tietoihin.

Kuntoarvion tuloksista voidaan päätellä, että rakennus ja sen alueet ovat pääosin hyvässä kunnossa. Rakennuksen pohjoisen puoleisessa päädyssä näkyvä ulkoverhouksen lahovaurio ja sen alla olevien hirsien kunto tulisi selvittää mahdollisimman pian, jotta vaurio ei pääsisi kasvamaan. Rakenteiden eristävyys oli odotettavissa, että sen aikaiset rakenteet eivät tulisi täyttämään nykymääräyksiä energiatehokkuudessa. Laskelmista kävi ilmi, että rakenteet ovat heikkoja lämmöneristävyydeltään ja rakenteiden liittymien viivamaiset lisäkonduktanssit eivät täytä nykymääräysten mukaisia taulukkoarvoja.

Asiasanat: kuntoarvio, hirsirakennus, lämpökuvaus, lämpösimulointi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering, Option of House Building Engineering

Author: Hannu-Matti Mäenpää

Title of thesis: Condition survey, Thermal Imaging and Linear Additional Conductance Determination of Log House.

Supervisor: Kimmo Illikkainen

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2017

Pages: 38 + 8 appendices

In this thesis the objective was to make a condition survey and thermal imaging to a log house built in 1849. The building is located in Nivala. The object structures are estimated and a linear additional conductance was calculated to these structures. These values were compared to table values specified in building regulations.

The condition survey and thermal imaging is used to determine the condition of the building. The condition survey started with interviewing the owner of the building and summoning output data of a property. The structures of building determined as precisely as possible. This determination was based mainly to approximation and visual perceptions from renovations to building during the past years.

The results of the condition survey tells that the building and surroundings of it are mainly in a good condition. At the north side of the building rot damage in the facade was detected. It is highly recommendable to estimate the condition of the log frame under the damaged facade. The insulation of structures was expected that they do not meet the current regulations in energy efficiency. The calculations prove that structures have low thermal insulation and the linear joints between structures don't meet the current regulations.

Keywords: condition survey, log house, thermal imaging, thermal simulation

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
SANASTO	6
1 JOHDANTO	7
2 KUNTOARVIO, LÄMPÖKUVAUS JA LÄMPÖSIMULAATIO	8
2.1 Kuntoarvion lähtötiedot	8
2.2 Lämpökuvaus	8
2.3 Lämpösimulointi	9
3 KESKISEN KUNTOARVIO JA LÄMPÖKUVAUS	10
3.1 Kohteen perustiedot	11
3.2 Korjaushistoria	11
3.3 Kuntoarvion käsittely	12
3.3.1 Alerakenteet ja piha-alue	12
3.3.2 Alapohja ja perustukset	13
3.3.3 Ulkoseinät ja julkisivuverhous	14
3.3.4 Vesikatto ja yläpohja	14
3.3.5 Ikkunat ja ovet	15
3.3.6 Tulisijat ja hormit	16
3.3.7 Rakennuspiirustukset	16
3.4 Rakennusosien U-arvot ja lisäkonduktanssi	17
3.4.1 Ulkoseinän lämmönläpäisykerroin ja lisäkonduktanssi	18
3.4.2 Yläpohjan lämmönläpäisykerroin ja lisäkonduktanssi	23
3.4.3 Alapohjan lämmönläpäisykerroin ja lisäkonduktanssi	28
4 YHTEENVETO	37
LÄHTEET	38

SANASTO

Kuntoarvio	Kiinteistön tilojen, rakennusosien, järjestelmien, laitteiden ja ulkoalueiden kunnan selvittäminen aistinvaraisesti ja kokemusperäisesti. Käytetyt menetelmät eivät riko ainetta ja materiaaleja. Kuntoarvio voidaan tarvittaessa rajata jollekin tietylle osa-alueelle, mikäli koko kiinteistöä käsittävälle kuntoarviolla ei ole tarvetta. (KH 90-00535. 2013, 2.)
Lämpökuvauus	Lämpökuvauksessa määritetään pinnan lämpötilajakauma mittaamalla kuvattavan pinnan infrapunasäteilyä. (RT 14-10850. 2005, 2.)
Lämpökamera	Vastaanottaa pinnoilta lähtevää lämpö- ja infrapunasäteilyn voimakkuutta. Kamera prosessoi tulokset digitaalisesti ja ilmoittaa tulokset lämpökuvassa. (RT 14-10850. 2005, 2.)
Viivamainen lisäkonduktanssi	Viivamainen lisäkonduktanssi ilmoittaa rakennusosassa olevan pituusyksikön mittaisen viivamaisen kylmäsillan aiheuttaman lisäyksen jatkuvuustilassa rakennusosan läpi kulkevaan lämpövirtaan, kun lämpötila rakennusosan eri puolilla on yksikön suuruinen. (Ympäristöministeriö, Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012,6.)

1 JOHDANTO

Kuntoarvion tarkoituksena on käydä läpi kaikki kiinteistön kunnan ja korjaustarpeiden kannalta keskeiset asiat. Kuntoarvio tehdään julkaistujen ohjeiden ja KH-korttien mukaisesti. Arvio tehdään aistinvaraisin menetelmin, jotka eivät riiko ainetta ja materiaaleja. Joissakin tapauksissa kevyitä mittauksia voidaan tehdä. Kuntoarvio käsittelee kiinteistön aluerakenteet, rakennustekniikan ja kiinteistön tilat, sisäolot, turvallisuus-, terveys- ja ympäristövaikutukset ja kiinteistönhoidon kehitystarpeet. (KH 90-00294. 2001, 3.)

Opinnäytetyön tavoitteena on tehdä kuntoarvio Nivalassa sijaitsevaan 1850-luvulla rakennettuun hirsitaloon. Rakennuksessa on tilaajan mukaan havaittu ongelmakohtia, joihin on tarkoitus perehtyä tässä työssä. Opinnäytetyö tulee sisältämään rakennusteknisen kuntoarvion lisäksi lämpökuvauksen kohteessa. LVI-, sähkö- ja tietojärjestelmät jätetään tässä kohteessa vähemmälle huomiolle.

Työ aloitetaan kiinteistön ja rakennuksen rakennusteknisellä kuntoarviolla, ja lämpökuvaus suoritetaan osittain kuntoarvion yhteydessä. Kohteen rakenteet arvioidaan, ja näille rakenteille määritellään lämmönläpäisykerroin sekä määritetään rakenteiden liittymien lisäkonduktanssit.

Kohde on vanha maalaistalo Keskisen tila, jonka päärakennus on rakennettu vuonna 1849, ja sitä on laajennettu vuonna 1898. Kohteelle on tehty peruskorjauksia vuosien varrella, ja nykyinen kuisti on tehty 1990-luvulla. Muilta osin rakennusta ei ole laajennettu. Talon kokonaispinta-ala on noin 100 m². Rakennuksessa on myös kylmä käyttöullakko alkuperäisessä kunnossaan, joka on ollut 1950–70-luvulla asuinkäytössä.

2 KUNTOARVIO, LÄMPÖKUVAUS JA LÄMPÖSIMULAATIO

Kuntoarvion tarkoituksena on käydä läpi kaikki kiinteistön kunnan ja korjaustarpeiden kannalta keskeiset asiat. Kuntoarviossa käsitellään seuraavat asiat: aluerakenteet, rakennustekniikka ja kiinteistön tilat, LVISA-järjestelmät, yleiset tilat, ulkoalueiden rakenteet ja varusteet, turvallisuus- ja terveysriskit ja kiinteistönhoidon ja ylläpidon kehitystarpeet. Tarvittaessa voidaan tilaajan kanssa sopia myös siitä, että arvioidaan myös kiinteistön toiminnallisuutta, viihtyisyyttä ja muunneltavuutta. (KH 90-00294. 2001, 4.)

2.1 Kuntoarvion lähtötiedot

Kuntoarvio aloitetaan lähtötietojen keräämisellä ja niiden läpikäynnillä. Asukkaille tehdään kysely, josta käy ilmi käytännössä havaitut ongelmakohdat. Varsinaisen kiinteistötarkastus ja kuntoarvioon sisältyvä tarkastelu tehdään näiden tietojen perusteella. Kuntoarvion laatijalla tulee olla tietoa ja tietämystä kohteen kiinteistölle tyypillisimmistä riskikohdista. Lopuksi arviosta laaditaan raportti, ja se luovutetaan kuntoarvion tilaajalle. Kuntoarvioraportissa tulee mainita tärkeysjärjestyksessä asiat, jotka vaikuttavat turvallisuuteen ja terveyteen, sekä rakeneosat tai rakenteet, joissa on merkittävimmät korjauskustannukset ja vauriot. Vaurioiden edetessä ne voivat aiheuttaa suuria vahinkoja ja kustannuksia. (KH 90-00294. 2001, 4.)

2.2 Lämpökuvaus

Lämpökuvauksen tarkoituksena on määrittää rakennuksen ulkovaipan lämpötekninen kunto, lämmöneristeiden toiminnallisuus ja rakenteellinen tiiveys. Lämpökuvaus on ainetta rikkomaton rakennusten laadun- ja kunnonarviointimenetelmä. (RT 14-10850. 2005, 1.)

2.3 Lämpösimulointi

Rakennusten rakenteiden energiatehokkuuksien kasvaessa korostuu kylmäsiltojen merkitys rakennusosien liittymissä. Lämpösimuloinnin avulla pystytään määrittämään rakennusosien välisen liitoksen lisäkonduktanssi. Lisäkonduktanssi ilmaisee rakennusosassa olevan pistemäisen tai viivamaisen kylmäsillassa johtuvan lisäyksen jatkuvuustilassa rakenteen läpi kulkevaan lämpövirtaan, lämpötilaeron ollessa rakennusosan eri puolilla yksikön suuruinen. Tämä lisäkonduktanssi voi olla pistemäisenä esimerkiksi rakenteessa oleva terässide tai viivamaisena seinän ala- ja ylaohjauspuussa. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 6.)

Simuloinnin avulla pystytään määrittämään nämä kylmäsiltojen aiheuttamat lisäkonduktanssit mallintamalla rakennuksen eri rakennusosat ja liittymät. Lämpösimulointiin tarkoitettu ohjelma laskee numeerisella laskentamallilla rakennusosien liittymän lämpöteknisen kytkentäkertoimen L_{2D} , josta saadaan määritettyä lisäkonduktanssi Ψ kaavalla 2. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 13.)

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j l_j$$

KAAVA 2

L_{2D}	kaksiulotteisella laskennalla numeerisesti määritetty lämpötekninen kytkentäkerroin tarkasteltavalle liitokselle ja liittyville rakennusosille
U_j	Liittyvän rakenneosan j lämmönläpäisykerroin
l_j	Mallissa kuvatun rakenneosan pituus metreinä, jolla läpäisykerrointa U_j voidaan soveltaa

3 KESKISEN KUNTOARVIO JA LÄMPÖKUVAUS

Kuntoarvion kohteena on 1849 rakennettu hirsitalo. Rakennus sijaitsee Nivalassa Keskisen tilalla, ja se on täysin asuinkäytössä. Kuvassa 1 on hirsitalo kuvattuna etupihan puolelta.



KUVA 1. Keskisen hirsitalo kuvattuna etupihalta

Kiinteistön tarkemmassa tarkastelussa kävi ilmi, että ullakkotilassa on näkyvillä ylimääräisiä salvoksia hirsirungossa. Tämä voisi viitata siihen, että rakennus olisi siirretty nykyiselle paikalleen vuonna 1849 ja hirsirunko olisi tätäkin vanhempi (Mäenpää, 2016). Kiinteistölle ei tehdä varsinaista lämpökuvausraporttia. Lämpökuvaus ja sen käsittely tulee sisältymään kuntoarvio-osioon. Kohteelle ei ole aikaisemmin tehty kuntoarviota, eikä kiinteistöstä myöskään ole olemassa huoltokirjaa. Päärakennuksesta on muutamia piirustuksia, mitkä ovat ajalta kun nykyinen kuisti on rakennettu (liite 1).

3.1 Kohteen perustiedot

Kiinteistön omistaja on ilmoittanut kiinteistöstä perustietoja, jotka näkyvät taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Kiinteistö Keskisen perustiedot

Rakennustyyppi	omakotitalo
Kaupunki	Nivala
Rakennusvuosi	1849
Kerrosluku	1 + ullakko
Lämmitysjärjestelmä	vesikiertoinen sähkölämmitys
Ilmanvaihto	painovoimainen
Huoneistoala	100 m ²
Pääasiallinen rakennusmateriaali	puu

3.2 Korjaushistoria

Kiinteistössä on tehty vuosien varrella useita korjaustoimenpiteitä. Korjauksista ei ole olemassa asiakirjoja. Keskisen korjaushistoriaa on esitelty taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Kiinteistön korjaushistoria

1995	Rakennuksen vesikate on uusittu ja julkisivuverhous on maalattu. Ikkunat on uusittu ja nykyinen kuisti on rakennettu.
2007	Makuuhuoneisiin on tehty sisäpintojen saneeraus. Seiniä on osittain koolattu ja lämmöneristetty, sekä levytetty. Huoneiden lattiat on koolattu, lämmöneristetty ja levytetty.
2010	Saunan lauteet on uusittu
2011	Kylpyhuoneeseen on uusittu vedeneristys ja laatoitus.
2014	Kiinteistö on liitetty kunnalliseen jätevesiviemäriverkoston.

3.3 Kuntoarvion käsittely

Kohteen kuntoarvio tehdään rakennusosittain. Arviossa kiinnitetään erityisesti huomiota ongelmakohtiin, ja joiltakin osin rakennusosia jätetään kuntoarvion ulkopuolelle käsittelemättä.

3.3.1 Aluerakenteet ja piha-alue

Kiinteistön piha-alue koostuu pääosin etupihalla sijaitsevasta sorapinnoitteesta sekä nurmialueista. Kiinteistöön kuuluu myös muita rakennuksia, mutta ne jätetään tämän kuntoarvion ulkopuolelle. Nurmialueilla on havaittavissa jonkin verran sammaloitumista. Rakennuksen välittömässä läheisyydessä olevat puustot suositellaan poistettavaksi.

Rakennuksen vierustoilla tehtiin havaintoja puutteellisesta katto- ja pintavesien poisjohtamisesta. Rakennuksessa on käytetty syöksytorvien alla sekä betonisia että teräksisiä vesikouruja johtamaan vesi pois rakennuksen luota. Seinän vierustalla maanpinnan korkeus ja kallistukset ovat pääosin kunnossa. Pohjoispäädyssä maanpinnan korko on melkein puuverhouksen ja alimman hirren korkeudessa. Lisäksi maanpinnan kallistukset viettävät hieman rakennusta kohti pohjoisen puoleisella sivulla, jossa keväisin sulava lumi kerääntyy suuriksi lamikoiksi. Rakennuksen ympärillä ei ole salaojitusta. Kuvassa 2 näkyy pohjoispäädyn maanpinta.



KUVA 2. Pohjoispäädyn maanpinnan kallistukset johtavat rakennuksen vierustaa kohti



KUVA 3. Pohjoispäädyssä havaittavaa värjäytymää

Kiinteistö on liitetty vuonna 2014 kunnalliseen viemäriverkkoon. Tuolloin käytöstä poistuneet likakaivot purettiin ja kaivettiin kokonaan maasta pois. Suositellaan, että maanpinnan kallistukset ja maanpinnan korot korjattaisiin mahdollisimman pian. Rakennus sijaitsee kuitenkin korkealla paikalla, jolloin salaojien asennus ei ole välttämätön koko rakennusta kiertäväksi. Pohjoispäädyssä, jossa maanpinta viettää rakennusta kohti, voisi veden johtaa pois rakennuksen vierustalta esimerkiksi vastakaadolla. Painanteesta vesi voitaisiin johtaa joko tontin rajalla olevaan ojaan tai alavampaan maastoon.

3.3.2 Alapohja ja perustukset

Rakennuksessa on puurakenteinen tuulettuva alapohja. Alapohjassa on käytetty lämmöneristeenä sammaleen, sahanpurun ja hiekan sekoitusta. Alapohjaa ja lattiaa on jälkikäteen koolattu 50 x 75 mm:n lankulla, jonka päällä nykyinen lattialehty ja muovimatto on. Alapohjasta on tarkempi leikkauskuva liitteessä 8. Alapohjan kuntoa ei kohteessa päässyt tarkastamaan tarkemmin. Tarkastallessa rakennusta ulkopuolelta voidaan havaita alapohjan tuuletusaukkojen puutteet. Aukot ovat osittain peitossa. Perustukset koostuvat porakivistä, ja niistä on näkyvissä ainoastaan yksi rivi maanpinnan yläpuolella. Arvion mukaan porakiviä on ainakin kahdessa eri varvissa. Perustukset ovat pääosin kunnossa. Kuvassa 4 näkyvät etelänpuoleiset porakivet, joista yksi on hieman kallistunut.



KUVA 4. Eteläpäädyn perustukset.

3.3.3 Ulkoseinät ja julkisivuverhous

Rakennuksen julkisivuverhous on uusittu vuonna 1995. Verhouksena on käytetty ulkoverhouspaneelia 23 x 120 UTK, jonka alla on pystykoolaus 32 x 100 laudalla. Tarkempi rakenneleikkaus ulkoseinästä löytyy liitteestä 6. Maalipinnassa alkaa jo reilun 20 vuoden jälkeen näkyä rapistumista etenkin rakennuksen eteläpäädyssä. Maali lohkeilee ja hilseilee pois. Suositellaan maalipinnan mekaanista poistoa siltä osin kuin se helposti on poistettavissa, jonka jälkeen käsitellään pinta uudelleen.

3.3.4 Vesikatto ja yläpohja

Vesikatto on uusittu samoihin aikoihin julkisivuverhouksen kanssa. Vesikattona on tiilikuvioitu profiilipelti, jossa ei ole havaittavissa minkäänlaisia ongelmia. Maalipinta on vielä hyvässä kunnossa, eikä vuotokohtia ole ollut havaittavissa. Peltikaton kunnossapitajakso on Rakennustiedon ohjekortin mukaan 10–15 vuotta. Vaikka kattopellin pinnoituksessa ei havaittu ongelmia tai puutteita, vesikatton huoltomaalausta voisi kuitenkin harkita. Yläpohjan tarkempi rakenneleikkaus on liitteessä 7. (RT 18-10922. 2008, 9.)

Yläpohjassa tehtiin lämpökuvaukset, jossa kävi ilmi, että yläpohjarakenteessa suuremmin näkynyt lämpövuotoja. Yksittäinen suurempi lämpövuoto löytyi eteisen kohdalta. Kohdassa oli sähköjohtojen läpivienti välikatolle, jossa myös rakennuksen sähkökeskus sijaitsee. Läpiviennin kohdalta lämpövuoto oli havaittavissa täysin paljaalla kädelläkin. Kohteen lämpökuvauksessa käytettiin Flir One Android -lämpökameraa. Kamera kytketään Android-pohjaiseen laitteeseen, jota kameramoduuli käyttää kuvan prosessointiin. Alla olevassa kuvassa 5 näkyy lämpökameran havaitsema lämpövuoto. Lämpökamera osoittaa kuvausalueen maksimilämpötilaksi 23,6 °C, mikä on huomattava, kun sisälämpötila kuvaushetkellä oli noin 24 °C.



KUVA 5. Lämpökuvaa yläpohjan sähköjohtojen läpiviennistä

3.3.5 Ikkunat ja ovet

Rakennuksen ikkunat ovat tyypiltään MSK-ikkunoita eli sisäänaukeavia kolmi-puitteisia kolmilasisia ikkunoita. Osa ikkunoista on varustettu tuuletustoiminnolla ja aukipitolaitteilla. Uloin ikkuna koostuu vielä kolmesta erillisestä ruudusta, joiden välissä on puinen jakokarmi. Ikkunat ovat päällisin puolin hyvässä kunnossa, eikä niiden toiminnassa havaittu puutteita. Tiivisteet ovat kunnossa ja ikkunoiden käynti toimii. Ikkunat on tiivistetty hirsirunkoon nähden polyuretaanivaahdolla, ja lämpökuvauksissa ei havaittu suurempia lämpövuotoja ikkunaliit-tymien osalta.

Ulko-ovessa ei ollut havaittavissa puutteita. Ovi on lasiaukollinen massiivipuinen ulko-ovi. Oven käynti on hyvä, ja sen tiivisteet ovat kohtalaisessa kunnossa. Oven painikkeissa ja saranoissa ei ollut huomauttamista tai puutteita.

3.3.6 Tulisijat ja hormit

Rakennuksen tuvassa on alkuperäisellä paikallaan takka, jota käytetään talvisin tukemaan varsinaista lämmitysjärjestelmää. Alun perin tällä paikalla oli suuri leivinuuni, mutta aikojen saatossa se on päätetty purkaa, ja tilalle tehty nykyinen kevyempi tulisija. Tulisija on päällisin puolin hyvässä kunnossa. Pientä halkeilua on havaittavissa tulisijan rappauksen pinnassa.

Alkuperäisen rakennuksen päätyhuoneissa on lisäksi kaksi pönttöuunia ja myöhemmin rakennetussa laajennuksessa yksi pönttöuuni. Nämä eivät kuitenkaan ole olleet käytössä vuosikymmeniin, ja näin ollen pönttöuunien sisätila on täytetty kivivillalla ylimääräisen vedon poistamiseksi. Lisäksi pönttöuunien savuhormi on tukittu ja katkaistu ullakkotilassa.

3.3.7 Rakennuspiirustukset

Kohteesta ei ollut olemassa alkuperäisiä rakennuspiirustuksia. Vuoden 1995 kuistin laajennuksesta löytyi rakennuslupapiirustuksia liitteessä 1. Tämän opin- näytetyön aikana kohteelle laadittiin uudet rakennuspiirustukset vanhojen kuvien pohjalta käyttäen Cad-ohjelmistoa. Julkisivupiirroksot ovat liitteissä 2 ja 3. Leikkaus- ja pohjapiirustus ovat liitteessä 4 ja 5. Rakenneleikkaukset löytyvät liitteistä 6, 7 ja 8.

3.4 Rakennusosien U-arvot ja lisäkonduktanssi

Rakenteiden lämmönläpäisykerroin eli U-arvo on lämpövirran tiheys, joka jatkuvuustilassa läpäisee rakennusosan, kun lämpötila ero rakenteen eri puolilla olevien ilmatilojen välillä on yksikön suuruinen. (C4. 2003, 3.)

Lämmönläpäisykerroin saadaan määritettyä rakenteelle kaavalla 3.

$$U = 1/R_T \quad \text{KAAVA 3}$$

U = lämmönläpäisykerroin

R_T = rakennusosan kokonaislämmönvastus

Jos rakennusosa on epätasa-aineinen niin, että siinä on pintojen suuntaisia ainekerroksia, joilla on rinnakkain lämmönvastukseltaan erilaisia osa-alueita, lasketaan epätasa-aineisen ainekerroksen j lämmönvastus kaavalla 4. (C4. 2003, 5.)

$$1/R_j = f_a / R_{aj} + f_b / R_{bj} + \dots + f_n / R_{nj} \quad \text{KAAVA 4}$$

f_a, f_b, \dots, f_n	Epätasa-aineisen ainekerroksen j tasa-aineisen osa-alueen a, b, \dots, n suhteellinen osuus ainekerroksen kokonaispinta-alasta
$R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{nj}$	Epätasa-aineisen kerroksen j tasa-aineisen osan a, b, \dots, n lämmönvastus, jossa $R_{aj} = d_j / \lambda_{aj}$, $R_{bj} = d_j / \lambda_{bj}$, ... $R_{nj} = d_j / \lambda_{nj}$
$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$	Ainekerroksen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo
d	Ainekerroksen paksuus metreinä

Epätasa-aineisia kerroksia sisältävän rakennusosan kokonaislämmönvastus R_T lasketaan kaavalla 5. (C4. 2002, 5.)

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_n + \Sigma R + R_{se} \quad \text{KAAVA 5}$$

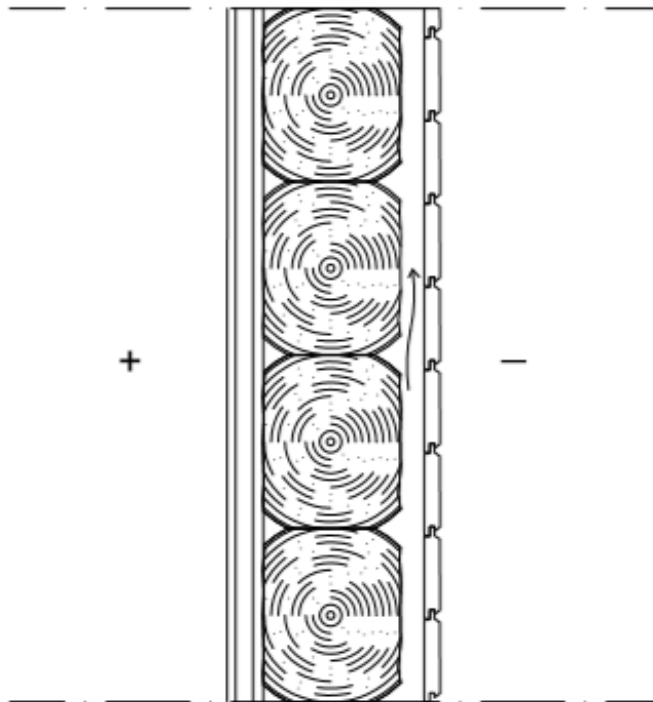
$R_1 + R_2 + \dots + R_n$ Epätasa-aineisen ainekerroksen 1, 2, ... n lämmönvastus laskettuna kaavalla 3

ΣR Tasa-aineisten ainekerrosten, ilmakerroksen ja maan lämmönvastusten summa

$R_{si} + R_{se}$ Sisä- ja ulkopuolen pintavastuksen summa

3.4.1 Ulkoseinän lämmönläpäisykerroin ja lisäkonduktanssi

Kohteen ulkoseinärakenne koostuu hirsirungosta. Rungon ulkopinnassa on tuuletusraollinen pystykoolaus, jonka päällä on nykyinen ulkoverhous. Hirsirungon sisäpintaan on aikoinaan asennettu Halteks-levy, joka on toiminut sisäverhouksena. Sittemmin rakennuksen korjauksissa on levyn päälle laitettu koolaus ja lastulevy, joka on toiminut sisäverhouksena tähän päivään saakka. Kuvassa 6 on esitetty rakenneleikkaus rakennepaksuuksineen ulkoseinästä



US

- ulkoverhouspaneeli 23x120 UTK
- pystykoolaus 32x100 k600
- hirsi ~200x250 mm, hirsien välissä sammal (rive)
- Halteks-levy 15 mm
- pystykoolaus 25x100 k600
- lastulevy 12 mm

KUVA 6. Ulkoseinän rakenneleikkaus.

Lämmönläpäisykerroin laskettiin taulukkolaskentapohjaisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 perusteella. Ulkoseinän U-arvo on laskettu taulukon 3 mukaisesti.

TAULUKKO 3. Ulkoseinän U-arvo laskelmat

Alue	alueen mitat		f
	(m)	(m)	
Alue a (koolaus)	0,6	0,1	0,166667
Alue b (ilmarako)	0,6	0,5	0,833333
Koko alue	0,6	0,6	1

US

Ainekerros	d	λ	R _{aj}	R _{bj}
R _{si}	-	-	0,13 m ² K/W	0,13 m ² K/W
Lastulevy	0,012 m	0,12 W/mK	0,1 m ² K/W	0,1 m ² K/W
Pystykoolaus k600	0,025 m	0,12 W/mK	0,715 m ² K/W	
Ilmarako	0,025 m			0,18 m ² K/W
Halteksi-levy	0,015 m	0,049 W/mK	0,306 m ² K/W	0,306 m ² K/W
Hirsirunko	0,2 m	0,12 W/mK	1,667 m ² K/W	1,667 m ² K/W
R _{se}	-	-	0,04 m ² K/W	0,04 m ² K/W
			2,958 m ² K/W	2,423 m ² K/W

$$f_a/R_{aj} = 0,0564$$

$$f_b/R_{bj} = 0,344$$

$$1/R_T = 0,400$$

$$R_T = 2,4981 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Alue	alueen mitat		f	d	λ	R	f/R
<i>Pystykoolaus</i>	<i>(m)</i>	<i>(m)</i>					
<i>Alue a</i>	0,6	0,1	0,166667	0,025	0,12	0,208	0,8
<i>Alue b</i>	0,6	0,5	0,833333	0,025	0,025	1	0,833333
<i>Koko alue</i>	0,6	0,6	1				
<i>1/R2</i>							1,633333
<i>R2</i>							0,612245

$R_{T''}$ 2,855 m^2K/W

R_T 2,6766 m^2K/W

U-arvo 0,37 W/m^2K

Jos oletetaan RakMk C4:n mukaisesti rakenteen kokonaislämmönvastus alalikiarvon mukaiseksi, saadaan U-arvoksi **0,35 W/m^2K**

Laskennan tulosten perusteella kokonaislämmönvastukseksi saadaan $0,37 \text{ W/m}^2\text{K}$. RakMk C4:n mukaisesti rakenteen kokonaislämmönvastus alaliikarvon R_{τ} perusteella, saadaan U-arvoksi $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ulkoseinäakenteen U-arvo täyttää rakentamismääräyskokoelman D3:n vertailuarvon hirsiseinälle $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$.

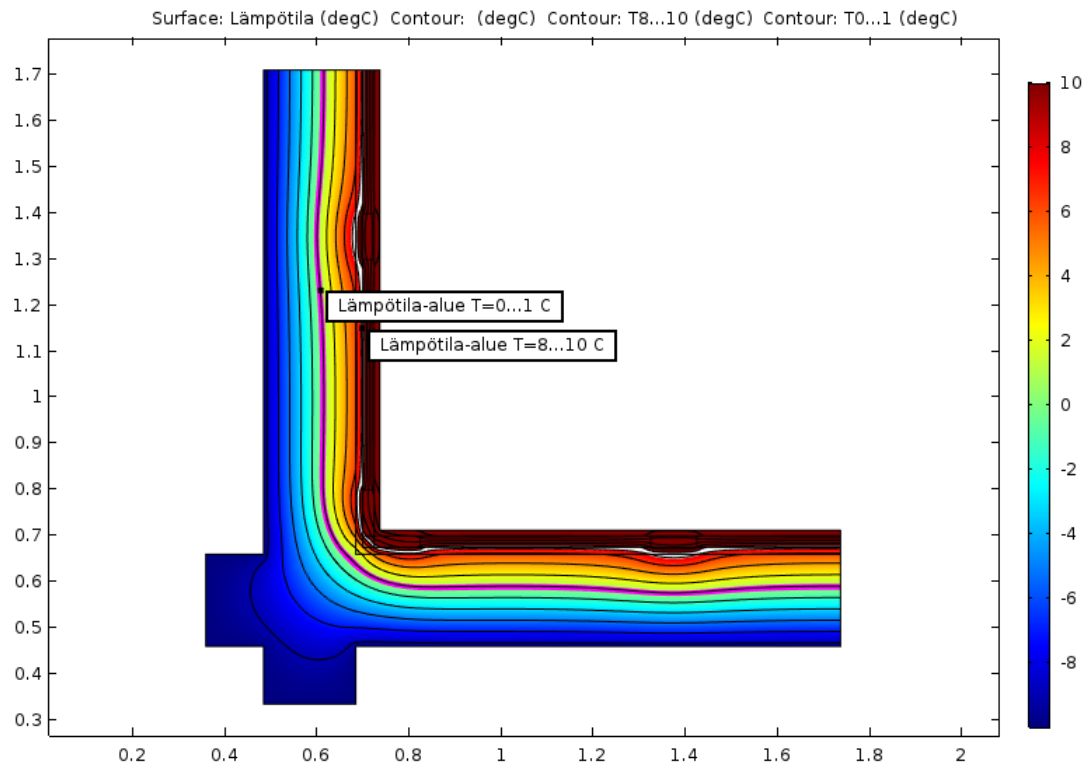
Comsol-lämpösimulaatiossa ulkoseinän lämpötekniiseksi kytkentäkertoimeksi eli L2D-arvoksi saatiin $0,76856 \text{ W/mK}$. Simulaatio mallinnettiin niin, että ulkoseinän pituus on 1 m kumpaankin suuntaan. Tästä L2D-arvosta vähentämällä seinän U-arvo molemmista suunnista, saadaan ulkoseinä-liitoksen lineaarinen lisäkonduktanssi arvo ψ . Laskennan tuloksena ulkoseinän lisäkonduktanssi-arvoksi saadaan

$$\psi = 0,76856 \text{ W/mK} - (1 \text{ m} \times 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}) - (1 \text{ m} \times 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}) = 0,06856 \text{ W/mK}$$

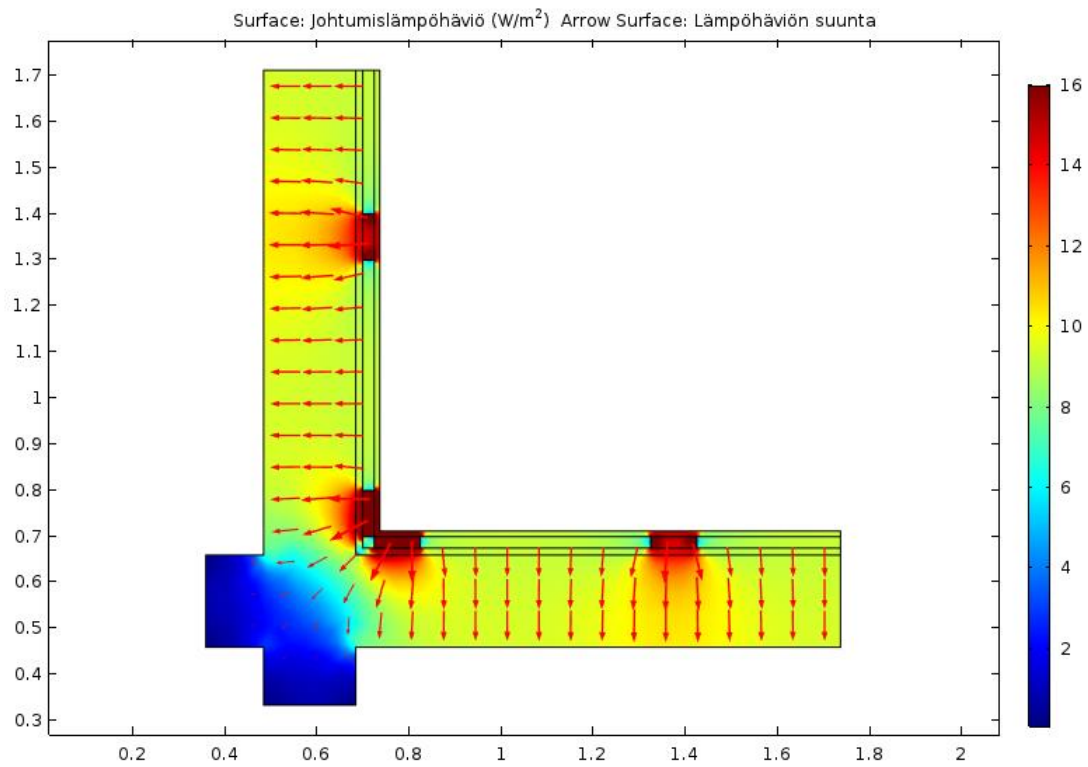
Puurakenteisen ulkoseinän välisen ulkonurkan lisäkonduktanssin taulukkoarvo hirsiseinälle on ympäristöministeriön laskentaoppaan mukaan $0,05 \text{ W/mK}$. Kyseisen ulkonurkan liitoksen lisäkonduktanssi-arvo ei täytä laskentaoppaan mukaista taulukkoarvoa. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 11.)

Simuloinnilla saatiin myös määritettyä rakenteen lämpötila- ja lämpövirtaja-kauma. Kyseiset simuloinnit on esitetty kuvissa 7 ja 8. Simuloinnissa käytettiin sisäilman lämpötilan arvoa $+ 20 \text{ }^\circ\text{C}$ ja ulkoilman lämpötilan arvona $-10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Kuvassa 6 on esitetty myös lämpötila-alueet $T = 0-1 \text{ }^\circ\text{C}$ ja $T = 8-10 \text{ }^\circ\text{C}$, jotka ovat mikrobikasvustolle suotuisaa lämpötila-aluetta.



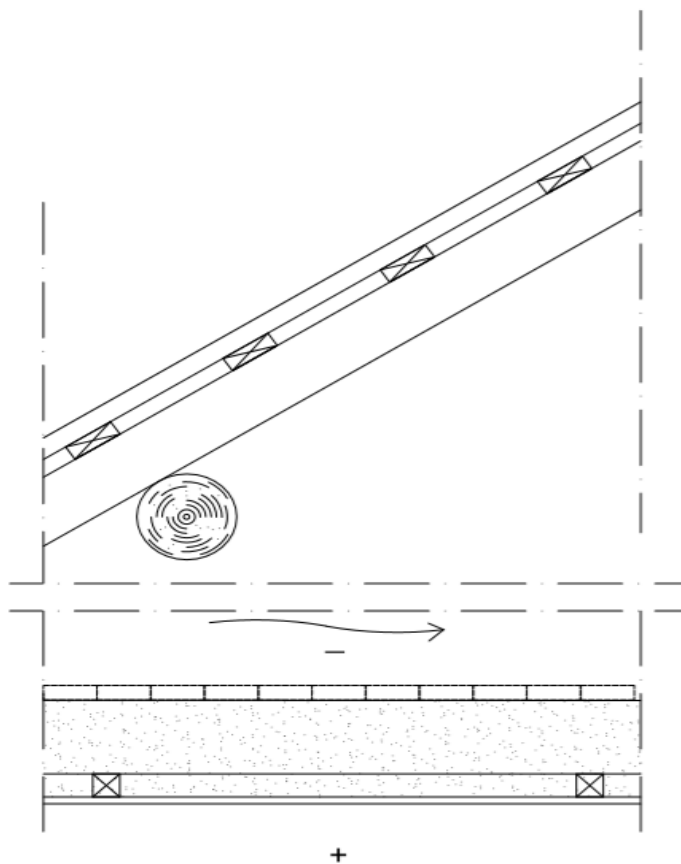
KUVA 7. Ulkoseinärakenteen lämpötilajakauma



KUVA 8. Ulkoseinärakenteen lämpövirtajakauma

3.4.2 Yläpohjan lämmönläpäisykerroin ja lisäkonduktanssi

Rakennuksen yläpohja koostuu kantavasta hirsipalkkistosta, jotka ovat tuettuna ulkoseinän hirsirunkoon. Nykyinen sisäkatto on tuettu ja koolattu hirsipalkkiin 50 x 50 mm sahatavaralla. Koolauksen alapinnassa on höyrynsulkumuovi ja tämän päällä sisäkatoissa 15 mm:n käsittelemätön koivupaneeli. Yläpohjan eristeenä toimii alkuperäinen, lähinnä sammaleesta ja hiekasta koostuva, eristekerros. Eristekerroksen päällä on umpilaudoitus, joka toimii myös ullakkotilan lattiana. Kuvassa 9 on esitetty yläpohjan rakenneleikkaus.



YP

- tiilikuviopeltti
- ruoteet 32x100, k350
- aluskate-koolaus 32x100
- kattoriskat 125x50, k900
- hirsi
- umpilaudoitus 32x100
- muhaeriste 250 mm
- koolaus 50x50, k900
- muovi
- koivupaneeli

KUVA 9. Yläpohjan rakenneleikkaus

Lämmönläpäisykertoimen laskenta suoritettiin taulukkolaskentapohjaisesti Suomen rakentamismääräyskokoelman C4 perusteella. Yläpohjan U-arvo on laskettu taulukon 4 mukaisesti. Laskennassa on käytetty muhaeristeen lämmönjohtavuutena arvoa 0,08 W/mK (Kaila 1997, 465).

TAULUKKO 4. Yläpohjan U-arvolaskelmat

YP

Ainekerros	d	λ	R _{aj}	R _{bj}	R _{cj}	R _{dj}
R _{si}	-	-	0,1 m ² K/W	0,1 m ² K/W	0,1 m ² K/W	0,1 m ² K/W
Koivupaneeli	0,015 m	0,12 W/mK	0,125 m ² K/W	0,13 m ² K/W	0,125 m ² K/W	0,125 m ² K/W
Muovi	0,0002 m	W/mK	0,02 m ² K/W	0,02 m ² K/W	0,02 m ² K/W	0,02 m ² K/W
Koolaus 50 x 50	0,05 m	0,12 W/mK	0,417 m ² K/W		0,417 m ² K/W	
Koolaus/eriste	0,05 m	0,08 W/mK		0,63 m ² K/W		0,625 m ² K/W
Hirsipalkki 150x200	0,2 m	0,12 W/mK	1,667 m ² K/W	1,67 m ² K/W		
Hirsi/eriste	0,2 m	0,08 W/mK			2,5 m ² K/W	2,5 m ² K/W
Umpilaudoitus	0,032 m	0,12 W/mK	0,267 m ² K/W	0,27 m ² K/W	0,267 m ² K/W	0,267 m ² K/W
R _{se}	-	-	0,04 m ² K/W	0,04 m ² K/W	0,04 m ² K/W	0,04 m ² K/W
			2,635 m ² K/W	2,84 m ² K/W	3,468 m ² K/W	3,677 m ² K/W

$$f_a/R_{aj} = 0,0035$$

$$f_b/R_{bj} = 0,0554$$

$$f_c/R_{cj} = 0,0133$$

$$f_d/R_{dj} = 0,2141$$

$$1/R_{T'} = 0,286$$

$$R_{T'} = 3,493 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Alue	alueen mitat		f	d	λ	R	f/R	
Hirsipalkki	(m)	(m)						
Alue a	0,15	0,85	0,157	0,2	0,12	1,67	0,0944	Puu
Alue b	0,75	0,85	0,787	0,2	0,08	2,5	0,3148	Eriste
Koko alue	0,9	0,9	1					
1/R3							0,4093	
R3							2,4434	
Koolaus	(m)	(m)						
Alue a	0,9	0,05	0,056	0,05	0,12	0,42	0,1333	Puu
Alue b	0,9	0,85	0,944	0,05	0,08	0,63	1,5111	Eriste
Koko alue	0,9	0,9	1					
1/R4							1,6444	
R4							0,6081	

Ainekerros	d	λ	R
R_{si}	-	-	0,1 m^2K/W
Koivupaneeli	0,015 m	0,12 W/mK	0,125 m^2K/W
Muovi	0,0002 m		0,02 m^2K/W
Koolaus 50 x 50	0,05 m	0,12 W/mK	0,608 m^2K/W
Hirsipalkki 150x200	0,2 m	0,12 W/mK	2,443 m^2K/W
Umpilaudoitus	0,032 m	0,12 W/mK	0,267 m^2K/W
R_{se}	-	-	0,24 m^2K/W

$$\underline{R_{T''}} \quad 3,803 \quad m^2K/W$$

$$\underline{R_T} \quad 3,648 \quad m^2K/W$$

$$\underline{U\text{-arvo}} \quad \mathbf{0,27} \quad W/m^2K$$

$$\underline{U\text{-arvo}} \quad \mathbf{0,26} \quad W/m^2K$$

Jos oletetaan RakMk C4:n perusteella rakenteen kokonaislämmönvastus alalikiarvon mukaiseksi, saadaan U-arvoksi **0,26 W/m²K**

Laskennan tulosten perusteella kokonaislämmönvastukseksi saadaan 0,27 W/m²K. RakMk C4:n mukaisesti rakenteen lämmönläpäisykerroin voidaan määrittää kokonaislämmönvastuksen alalikiarvon R_T'' perusteella. Tällä tavalla laskettuna saadaan U-arvoksi 0,26 W/m²K. Yläpohjarakenteen U-arvo ei täytä rakentamismääräyskokoelman D3:n vertailuarvon 0,09 W/m²K. Yläpohjan eristävyys on näiden laskelmien perusteella erittäin huono.

Comsol-lämpösimulaatiossa yläpohjan ja ulkoseinän lämpötekniiseksi kytkentäkertoimeksi eli L2D-arvoksi saatiin 0,8168 W/mK. Simulaatio mallinnettiin niin, että ulkoseinän pituus on 1 m ja yläpohjan pituus on 1,5 m. Vähentämällä seinän ja yläpohjan U-arvo tästä L2D-arvosta, saadaan ulkoseinä-yläpohjaliitoksen lineaarinen lisäkonduktanssi arvo ψ . Tulokseksi saadaan ulkoseinän ja yläpohjan lisäkonduktanssi-arvo.

$$\psi = 0,8168 \text{ W/mK} - 0,35 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1 \text{ m} - 0,27 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1,5 \text{ m} = 0,0618 \text{ W/mK}.$$

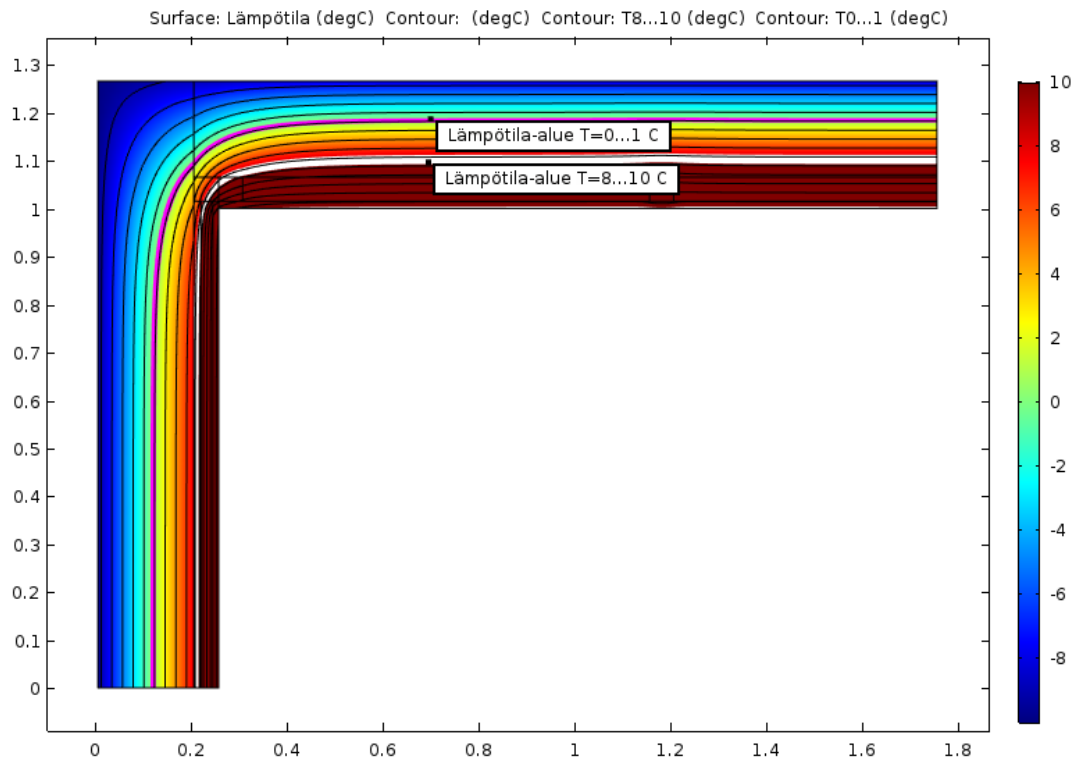
Lisäkonduktanssin määrittämisessä käytetään laskennassa Comsol-ohjelmasta saatavaa rakenteen U-arvoa.

Puurakenteisen yläpohjan ja hirsiseinän välisen liitoksen lisäkonduktanssin taulukkoarvo on ympäristöministeriön laskentaoppaan mukaan 0,04 W/mK. Kyseisen liitoksen lisäkonduktanssi-arvo ei täytä laskentaoppaan mukaista taulukkoarvoa. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 11.)

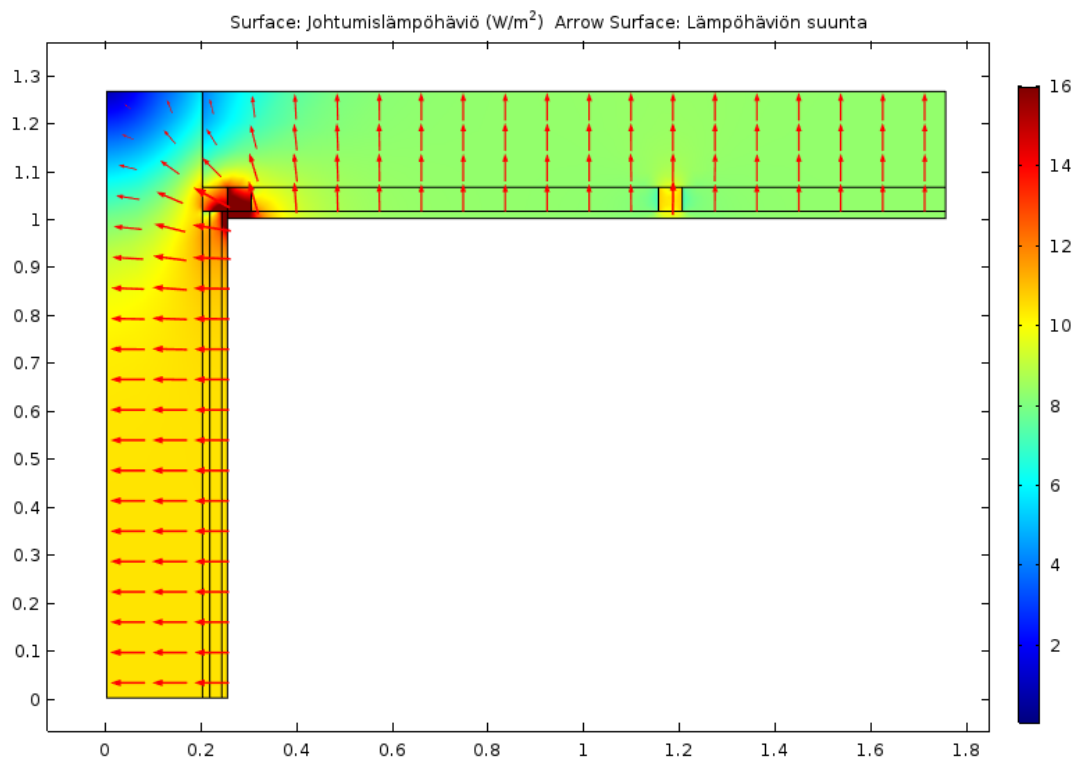
Laskelmien perusteella ulkoseinän ja yläpohjan liitoksen kylmäsillalla ei ole juurikaan merkitystä, vaan suurin lämpövuoto pääsee suoraan yläpohjan kautta sen huonon lämmöneristävyuden vuoksi.

Simuloinnilla saatiin myös määritettyä rakenteen lämpötila- ja lämpövirtajauma. Kyseiset simuloinnit on esitetty kuvissa 10 ja 11. Simuloinnissa käytettiin sisäilman lämpötilan arvoa + 20 °C ja ulkoilman lämpötilana arvoa – 10 °C.

Kuvassa 10 on esitetty myös lämpötila-alueet T = 0-1 °C ja T = 8-10 °C, jotka ovat mikrobikasvustolle suotuisaa lämpötila-aluetta.



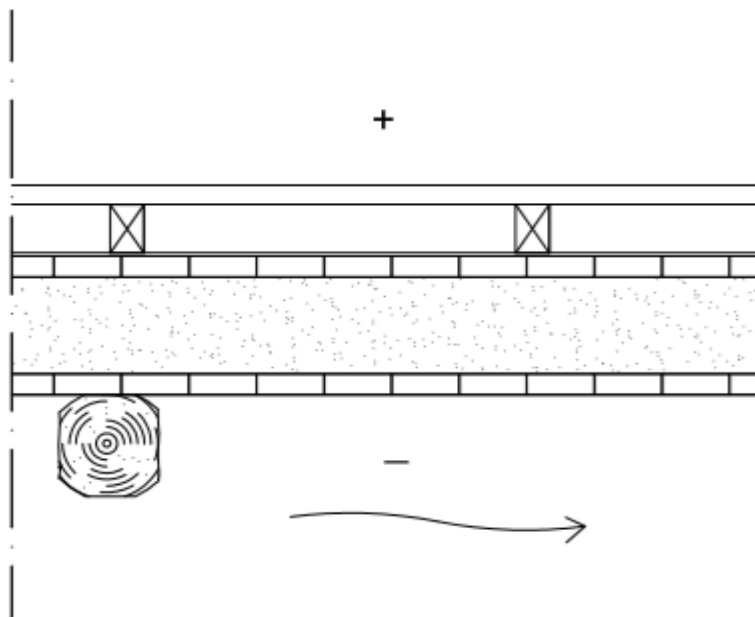
KUVA 10. Ulkoseinän ja yläpohjarakenteen lämpötilajakauma



KUVA 11. Ulkoseinän ja yläpohjarakenteen lämpövirtajakauma

3.4.3 Alapohjan lämmönläpäisykerroin ja lisäkonduktanssi

Rakennuksen alapohja koostuu rakennuksen pituussuuntaan kulkevista kantavista hirsistä, joiden päällä on kantava palkkisto 150 x 50, joka on 900 mm:n jaolla. Palkkistojen välissä on muhaeriste ja palkkien molemmin puolin ponttilaudoitus. Sisäpuolen lattiaa on myöhemmin oiottu ja koolattu 75 x 50 puutavaralla. Sen päällä on nykyinen lattialastulevy ja lattiamatto. Kuvassa 12 on esitetty alapohjan rakenneleikkaus.



AP

- muovimatto
- pontattu lattialastulevy 30 mm
- koolaus 75x50, k600
- lattiamatto
- kovalevy 5 mm
- tervapaperi
- ponttilauta 32x100
- koolaus 150x50, k900
- muhaeriste 150 mm
- ponttilauta
- lattiahirsi ~k1000
- tuuletusväli

Lämmönläpäisykertoimen laskenta tehtiin taulukkolaskentapohjaisesti Suomen rakentamismääräyskokoelmaan C4 perustuen. Alapohjan U-arvo on laskettu taulukon 5 mukaisesti. Laskennassa on käytetty muhaeristeen lämmönjohtavuuden arvoa 0,08 W/mK (Kaila 1997, 465).

TAULUKKO 5. Alapohjan U-arvolaskelmat

Alue	alueen mitat		f
	(m)	(m)	
Alue a (puiden risteyskohta)	0,05	0,1	0,006
Alue b (150x50)	0,05	0,8	0,049
Alue c (koolaus 75x50)	0,85	0,1	0,105
Alue d (eriste)	0,85	0,8	0,84
Koko alue	0,9	0,9	1

AP

Ainekerros	d	λ	R _{aj}	R _{bj}	R _{cj}	R _{dj}
R _{si}	-	-	0,17 m ² K/W	0,17 m ² K/W	0,17 m ² K/W	0,17 m ² K/W
Muovimatto	0,002 m	0,14 W/mK	0,014 m ² K/W	0,01 m ² K/W	0,014 m ² K/W	0,014 m ² K/W
Lastulevy	0,030 m	0,12 W/mK	0,25 m ² K/W	0,25 m ² K/W	0,25 m ² K/W	0,25 m ² K/W
Koolaus 75x50 k600	0,075 m	0,12 W/mK	0,625 m ² K/W		0,625 m ² K/W	
Koolaus/ilmarako	0,075 m	0,025 W/mK		3 m ² K/W		3 m ² K/W
Kovalevy	0,005 m	0,14 W/mK	0,036 m ² K/W	0,04 m ² K/W	0,036 m ² K/W	0,036 m ² K/W
Ponttilauta 32x100	0,032 m	0,12 W/mK	0,267 m ² K/W	0,27 m ² K/W	0,267 m ² K/W	0,267 m ² K/W
Koolaus 150x50 k900	0,15 m	0,12 W/mK	1,25 m ² K/W	1,25 m ² K/W		
Muhaeriste 150	0,15 m	0,08 W/mK			1,875 m ² K/W	1,875 m ² K/W
Ponttilauta 32x100	0,032 m	0,12 W/mK	0,267 m ² K/W	0,27 m ² K/W	0,267 m ² K/W	0,267 m ² K/W
R _{se}	-	-	0,04 m ² K/W	0,04 m ² K/W	0,04 m ² K/W	0,04 m ² K/W

2,918 m²K/W 5,29 m²K/W 3,543 m²K/W 5,918 m²K/W

f_a/R_{aj} 0,0021
 f_b/R_{bj} 0,0093
 f_c/R_{cj} 0,0296
 f_d/R_{dj} 0,1418
 1/R_T 0,183

R_T 5,4672 m²K/W

Alue	alueen mitat		f	d	λ	R	f/R	
	(m)	(m)						
Paalkki 150 x 50								
Alue a	0,05	0,9	0,055556	0,15	0,12	1,25	0,04444	Puu
			0,944444	0,15	0,08	1,875	0,5037	Eriste
Koko alue	0,9	0,9	1					
1/R ₃							0,54815	
R ₃							1,82432	

<i>Koolaus75x50</i>	(m)	(m)							
<i>Alue a</i>	0,9	0,1	0,111111	0,075	0,12	0,625	0,17778	Puu	
<i>Alue b</i>	0,9	0,8	0,888889	0,075	0,025	3	0,2963	Eriste	
<i>Koko alue</i>	0,9	0,9	1						
<i>1/R4</i>							0,47407		
<i>R4</i>							2,10938		

Ainekerros	d	λ	R
<i>R_{si}</i>	-	-	0,17 m ² K/W
<i>Muovimatto</i>	0,002 m	0,14 W/mK	0,014 m ² K/W
<i>Lastulevy</i>	0,03 m	0,12 W/mK	0,25 m ² K/W
<i>Koolaus 75x50 k600</i>	0,05 m	0,12 W/mK	2,109 m ² K/W
<i>Kovalevy</i>	0,005 m	0,12 W/mK	0,042 m ² K/W
<i>Ponttilauta 32x100</i>	0,2 m	0,12 W/mK	1,667 m ² K/W
<i>Koolaus 150x50 k900</i>	0,15 m	0,12 W/mK	1,824 m ² K/W
<i>Ponttilauta 32x100</i>	0,032 m	0,12 W/mK	0,267 m ² K/W
<i>R_{se}</i>	-	-	0,04 m ² K/W

$$\underline{R_{T''}} \quad 6,383 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\underline{R_T} \quad 5,925 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$\underline{\text{U-arvo}} \quad \mathbf{0,17} \text{ W/m}^2\text{K}$$

Ryömintätilan rakenteet laskettiin yksinkertaistetun kaavan mukaan (ks. RakMk C4), jossa alapohjan lämmönläpäisyarvo kerrotaan 0,9:llä. Näin saatiin U-arvoksi **0,15W/m²K**.

Tuulettuvan alapohjan ja ulkoseinän viivamaisen lisäkonduktanssin määrittämiseen tarvitaan myös alapohjan sokkelin lämmönläpäisykerrointa, joka on määritetty taulukkolaskentapohjaisesti taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Alapohjan ja sokkelirakenteen U-arvot

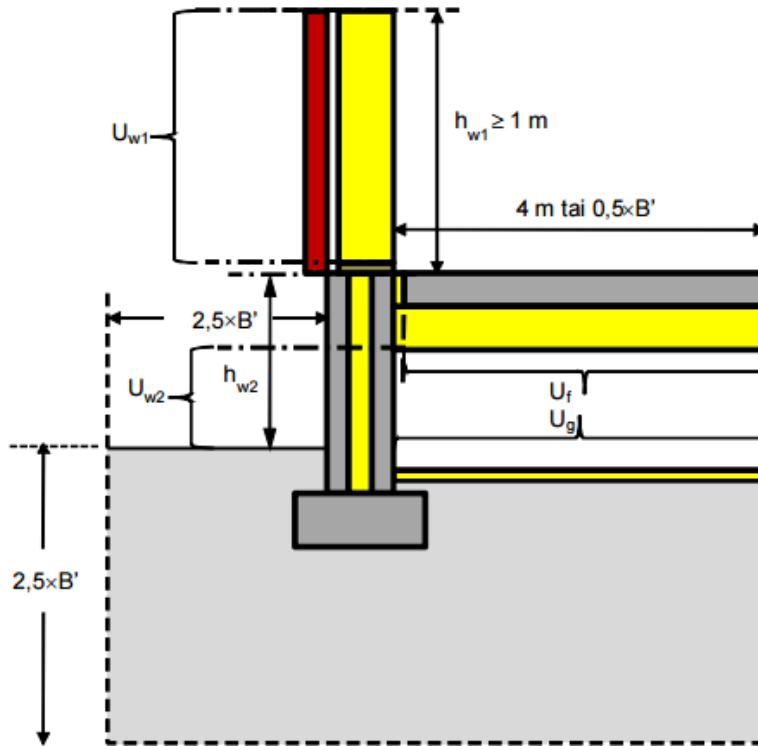
Rakennekerros	Kerrospaksuus d (mm)	Lämmönjohtavuus λU (W/mK)	Lämmönvastus R (m ² K/W)
<i>R_{si}</i>	-	-	0,17
<i>Muovimatto</i>	0,002	0,14	0,014285714
<i>Lastulevy</i>	0,03	0,12	0,25
<i>Koolaus 75x50 k600</i>	0,05	0,12	2,109
<i>Kovalevy</i>	0,005	0,12	0,041666667
<i>Ponttilauta 32x100</i>	0,2	0,12	1,666666667
<i>Koolaus 150x50 k900</i>	0,15	0,12	1,824
<i>Ponttilauta 32x100</i>	0,032	0,12	0,266666667
<i>R_{se}</i>	-	-	0,04
Σ			6,382285714

U_f=1/ΣR	0,16
---------------------------	-------------

Rakennekerros	Kerrospaksuus d (mm)	Lämmönjohtavuus λU (W/mK)	Lämmönvastus R (m ² K/W)
<i>R_{si}</i>	-	-	0,13
<i>Porakivi</i>	0,300	2,8	0,107142857
<i>R_{se}</i>	-	-	0,04
Σ			0,277142857

U_f=1/ΣR	3,61
---------------------------	-------------

Tuulettuvan alapohjan ja ulkoseinän viivamaisen lisäkonduktanssin määrittäminen etenee seuraavasti: kullekin rakenteelle määritetään lämmönläpäisykertoimet, kuten aikaisemmissa taulukoissa on laskettu. Laskentaan otetaan rakenteita mukaan kuvan 12 mukaisesti.



KUVA 12. Rakenteiden pituudet liittoksen lisäkonduktanssin määrittämiseen

Simulaatiota varten rakenneliittymästä tehdään kolme erilaista laskentatapausta taulukon 7 mukaisesti.

TAULUKKO 7. Laskentatapauksen lisäkonduktanssin määrittämistä varten

Laskentatapaus	Sisälämpötila θ_i	Ulkolämpötila θ_e	R-tilan lämpötila θ_u	Tulos
1	1	0	0	$L_1 = L_{ie} + L_{iu}$
2	0	1	0	$L_2 = L_{ie} + L_{ue,e}$
3	0	0	1	$L_3 = L_{iu} + L_{ue,e}$

Simulaation laskentatapauksissa muuttuva tekijä on lämpötila rakenteiden eri puolilla. Eri tapauksista saadut tulokset voidaan sijoittaa kaavaan 6, jonka kautta rakenteiden todelliset johtumislämpöhäviöt saadaan ratkaistua.

$$L_{iu} = 0,5 \times (L_1 - L_2 + L_3)$$

$$L_{ie} = 0,5 \times (L_1 + L_2 - L_3)$$

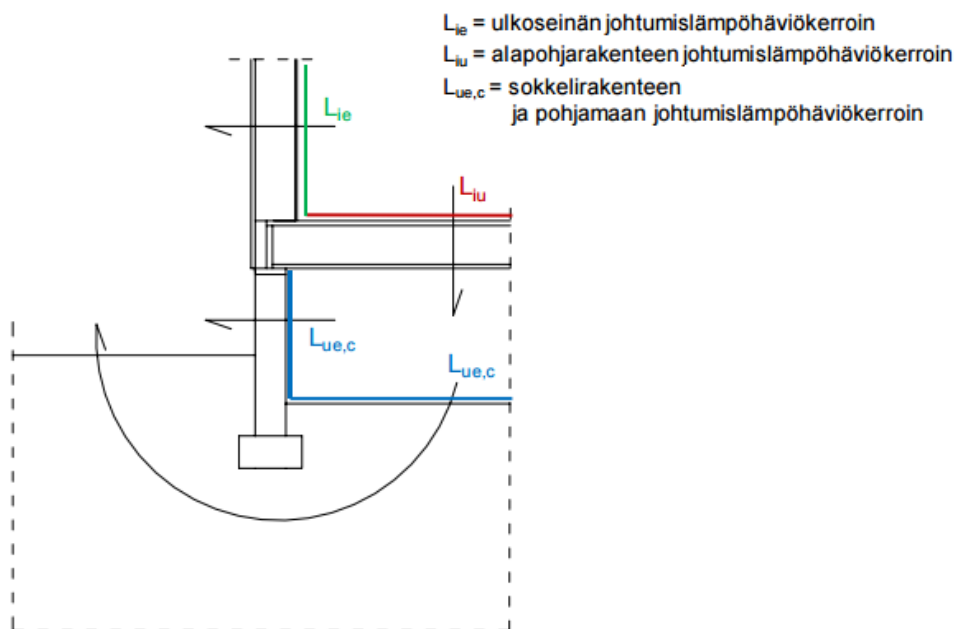
$$L_{ue,c} = 0,5 \times (L_2 + L_3 - L_1)$$

$$L_{ue} = L_{ue,c} + L_{ue,v}$$

KAAVA 6

Kuvassa 13 on esitetty laskentatapauksissa käytettävät johtumislämpöhäviökertoimet.

L_{ie} ulkoseinän johtumislämpöhäviökerroin, W/mK
 L_{iu} on sisäilman ja ryömintätilan välinen johtumislämpöhäviökerroin, W/mK
 L_{ue} on ryömintätilan ja ulkoilman välinen johtumislämpöhäviökerroin, W/mK



KUVA 13. Tuulettuvan alapohjarakenteen ja ulkoseinän liitoksen viivamaisen lisäkonduktanssin määrittämiseen tarvittavat johtumislämpöhäviökertoimet.

Rakenteen lämpötekkinen kytkentäkerroin L_{2D} saadaan määritettyä kaavalla 7, jossa käytetään rakenteiden todellisia johtumislämpöhäviökertoimia.

KAAVA 7

$$L_{2D} = \left(\frac{L_{iu} \cdot L_{ue}}{L_{iu} + L_{ue}} + L_{ie} \right)$$

Kaavassa 7 käytetty arvo L_{ue} , ryömintätilan ja ulkoilman välinen johtumislämpöhäviökerroin, saadaan ratkaistua seuraavasti: simuloinnin avulla määritetyn sokkelirakenteen ja pohjamaan johtumislämpöhäviökertoimeen lisäämällä arvo $L_{ue,v}$, joka ottaa huomioon ryömintätilan painovoimaisesti tuuletetun tilan ulkoilmaa korkeamman lämpötilan. Arvo $L_{ue,v}$ saadaan ratkaistua kaavalla 8. (Alitalo, 2017.)

$$L_{ue,v} = 1450 \cdot [(\epsilon \cdot v \cdot f_w) / B'] \cdot A/P$$

KAAVA 8

ϵ	Alapohjan tuuletusaukkojen suhde alapohjan piiriin
v	Tuulen keskinopeus 10 m:n korkeudella. Käytetään arvoa 3 m/s, mikäli tarkempia arvoja ei ole tiedossa.
f_w	Tuulensuojaisuskerroin
B'	Suhteellinen lattiamitta
A	Alapohjan pinta-ala
P	Alapohjan sokkelirakenteen piiri

Taulukossa 8 on esitetty taulukkolaskentapohjaisesti edellä olevat laskelmat, joiden lopussa on esitetty rakenteen lämpötekninen kytkentäkerroin.

TAULUKKO 8. Alapohjan ja ulkoseinän viivamaisen lisäkonduktanssin määrittäminen

Tuulettuvan alapohjan ja ulkoseinän lisäkonduktanssi

Alapohjan mitat	<i>Pituus</i>	15,3 m
	<i>Leveys</i>	6,5 m
<i>Alapohjan pinta-ala</i>	A	99,45 m²
<i>Rakennuksen piiri</i>	P	43,6 m
<i>Alapohjan karakteristinen mitta</i>	B'	4 m
<i>Alapohjan tuuletusaukkojen suhde piiriin</i>	ε	0,0083 m²/m
<i>Tuulen keskinopeus 10 m:n korkeudella</i>	v	3 m/s
<i>Tuulensuojaisuskerroin</i>	fw	0,05

Laskentatapa	Sisälämpötila	Ulkolämpötila	R-tilan lämpötila	Tulos
1	1	0	0	$L_1 = L_{ie} + L_{iu}$ 1,0849
2	0	1	0	$L_2 = L_{ie} + L_{ue,c}$ 3,9750
3	0	0	1	$L_3 = L_{iu} + L_{ue,c}$ 4,3308

$$L_{iu} = 0,5 \times (L_1 - L_2 + L_3) \quad \mathbf{0,72}$$

$$L_{ie} = 0,5 \times (L_1 + L_2 - L_3) \quad \mathbf{0,36}$$

$$L_{ue,c} = 0,5 \times (L_2 + L_3 - L_1) \quad \mathbf{3,61}$$

$$L_{ue} = L_{ue,c} + L_{ue,v} \quad \mathbf{8,24}$$

$$L_{uev} = 4,6345$$

Comsol U-arvot

US	0,33 W/m ² K
AP	0,17 W/m ² K
L2D	1,0270
ψ	0,0170

Laskennan tuloksena alapohjan ja ulkoseinän lisäkonduktanssiksi saadaan

$$\psi = 1,0270 \text{ W/mK} - 0,35 \text{ W/m}^2\text{K} \times 1 \text{ m} - 0,17 \text{ W/m}^2\text{K} \times 4 \text{ m} = 0,0170 \text{ W/mK}.$$

Lisäkonduktanssin määrittämisessä käytetään laskennassa Comsol-ohjelmasta saatavaa rakenteen U-arvoa.

Tuulettuvan alapohjan ja hirsiseinän välisen liitoksen lisäkonduktanssin taulukkoarvo on ympäristöministeriön laskentaoppaan mukaan 0,09 W/mK. Kyseisen liitoksen lisäkonduktanssi-arvo alittaa taulukkoarvon hyvin. (Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012, 11.)

4 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli suorittaa kuntoarvio ja lämpökuvaus Nivalassa sijaitsevaan 1850-luvulla rakennettuun hirsitaloon. Kuntoarvio aloitettiin keräämällä lähtötietoja kohteesta. Tilaajaa haastatteleamalla saatiin kohteesta perustietoja.

Kohteen kuntoarviossa käytiin läpi kiinteistön asumistilat ja rakennuksen alueosat. Arvio suoritettiin aistinvaraisin menetelmin, ja arviossa käytettiin apuna lämpökameraa.

Kuntoarviossa kävi ilmi, että kohde on suurimmalta osin hyvässä kunnossa. Rakennuksen pohjoisen puoleisessa päädyssä oli havaittavissa lahoa ulkoverhouksessa, minkä vuoksi alimpien hirsien kunto tulisi selvittää mahdollisimman pian. Rakennuksen sisäpuoliset tilat on saneerattu viime vuosina pinnoiltaan, eikä niissä ollut huomauttamista päällisin puolin. Lämpökameralla suoritettussa sisäpuolisessa kuvauksessa ei löytynyt huomattavaa lämpövuotoa rakenteiden liittymäkohdista eikä pinnoilta.

Rakenteiden lämmönläpäisykertoimien ja rakenteiden viivamaisien lisäkonduktanssien määrittämisessä oli odotettavissa, että tuonaikaiset rakenteet eivät tulisi täyttämään nykymääräyksiä. Rakennus on kuitenkin täysin toimiva ja asuinkelpoinen. Nämä harvat rakenteet ovat omalta osaltaan olleet mitä luultavammin hyödyksi rakennuksen pitkän elinkaaren kannalta.

LÄHTEET

KH 90-00294. 2001. Asuinkiinteistön kuntoarvio, suoritusohje. Rakennustieto Oy. Saatavissa:

http://www.rakennustieto.fi/channels/public/www/rane/attachments/5ecztM8oF/5eeoqzpdj/Files/CurrentFile/KHnayte_9000294.pdf. Hakupäivä 22.1.2016.

KH 90-00535. 2013. Asuinkiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje. Rakennustieto Oy. Saatavissa:

<https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/110807.html.stx>. Hakupäivä 1.3.2016.

RT 14-1085. 2005. Rakennuksen lämpökuvaus. Rakenteiden lämpötekniinen toimivuus. Saatavissa:

https://www.rakennustieto.fi/kortistot/tuotteet/RT_9112.html.stx. Hakupäivä 1.3.2016

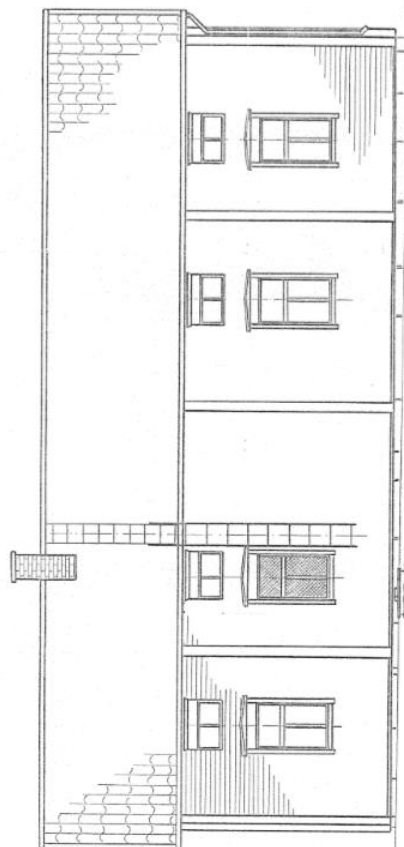
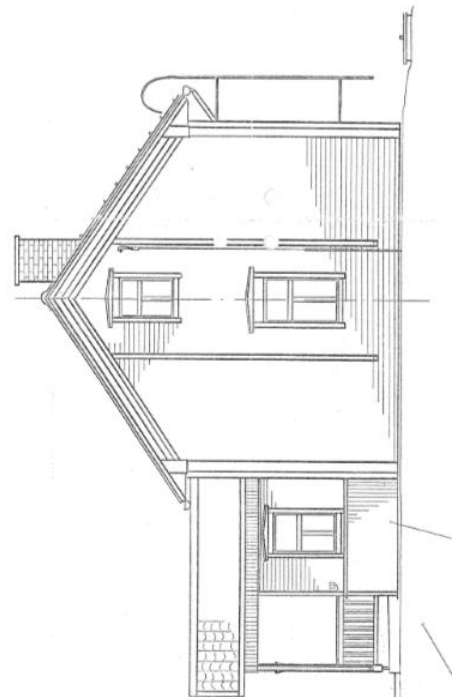
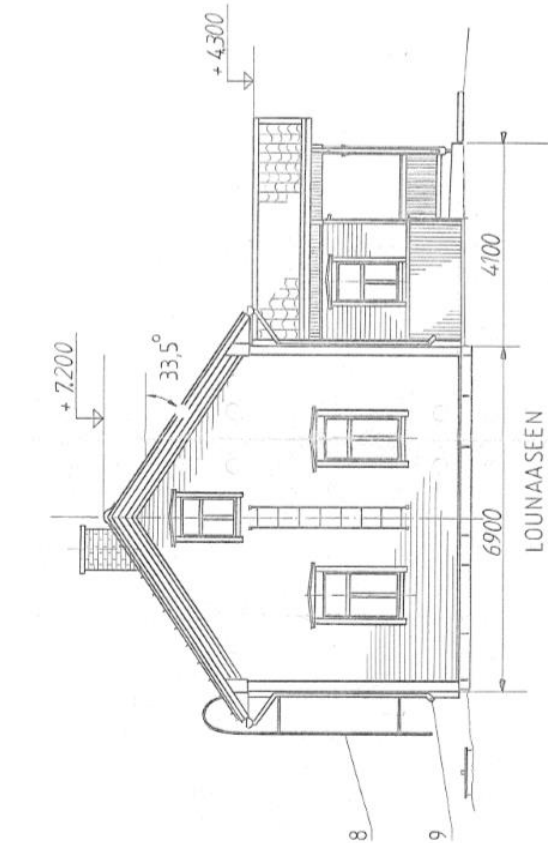
Kaila, Panu 1997. Talotohtori. Uudistettu painos. WSOY.

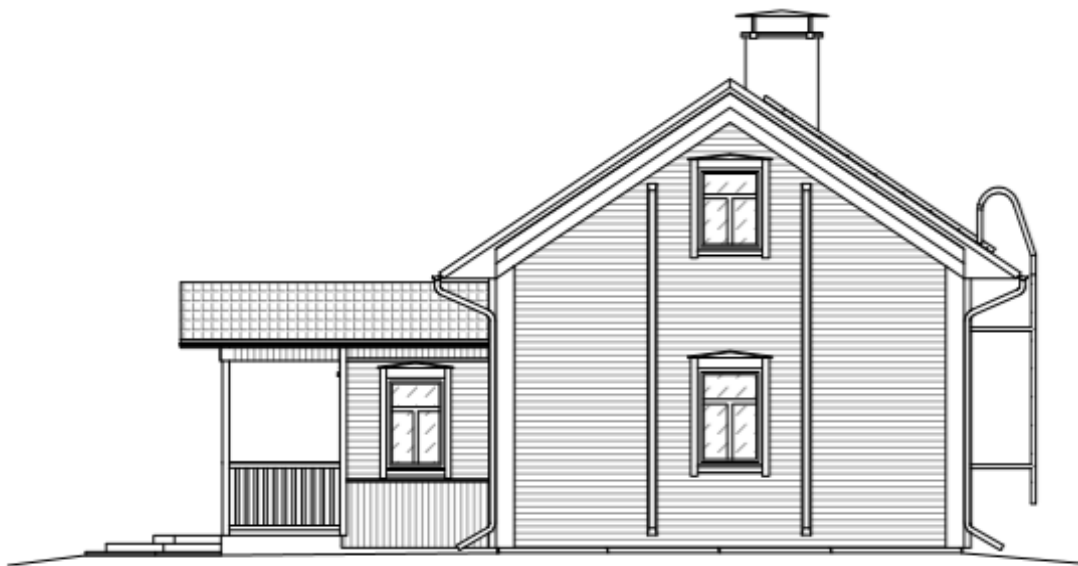
C4 2003. Suomen rakentamismääräyskokoelma. Lämmöneristys, ohjeet.

Ympäristöministeriö, Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. 2012

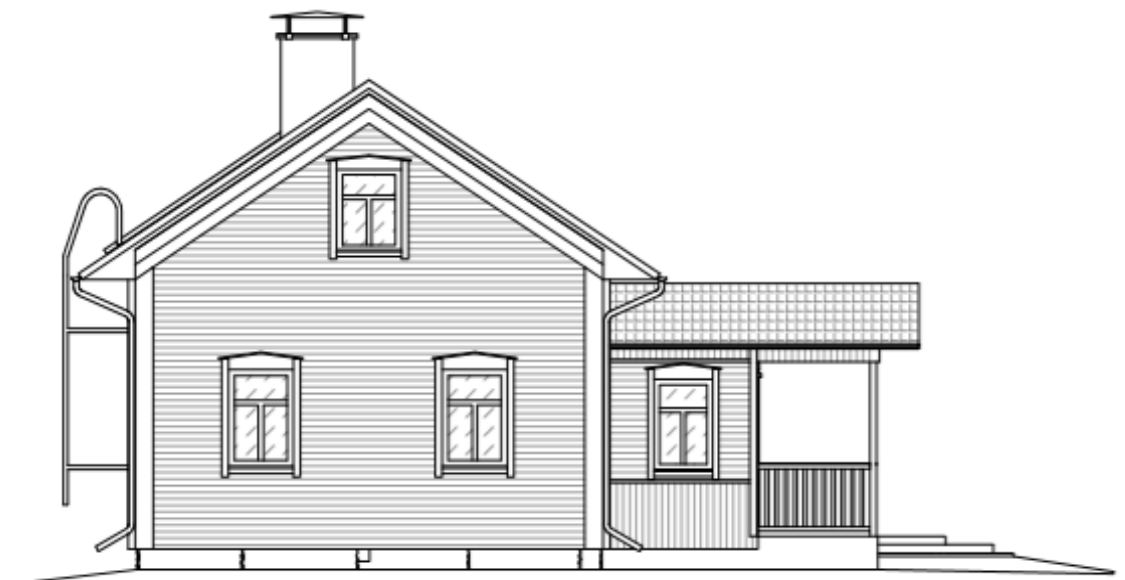
Alitalo, Sanna 2017. Rakentamistekniikan lehtori, OAMK. Haastattelu 14.3.2017

Mäenpää, Arvi 2016. Kiinteistön omistaja. Haastattelu 10.6.2016





JULKISIVU POHJOISEEN



JULKISIVU ETELÄÄN



JULKISIVU ITÄÄN



JULKISIVU LÄNTEEN

LEIKKAUS A-A

US

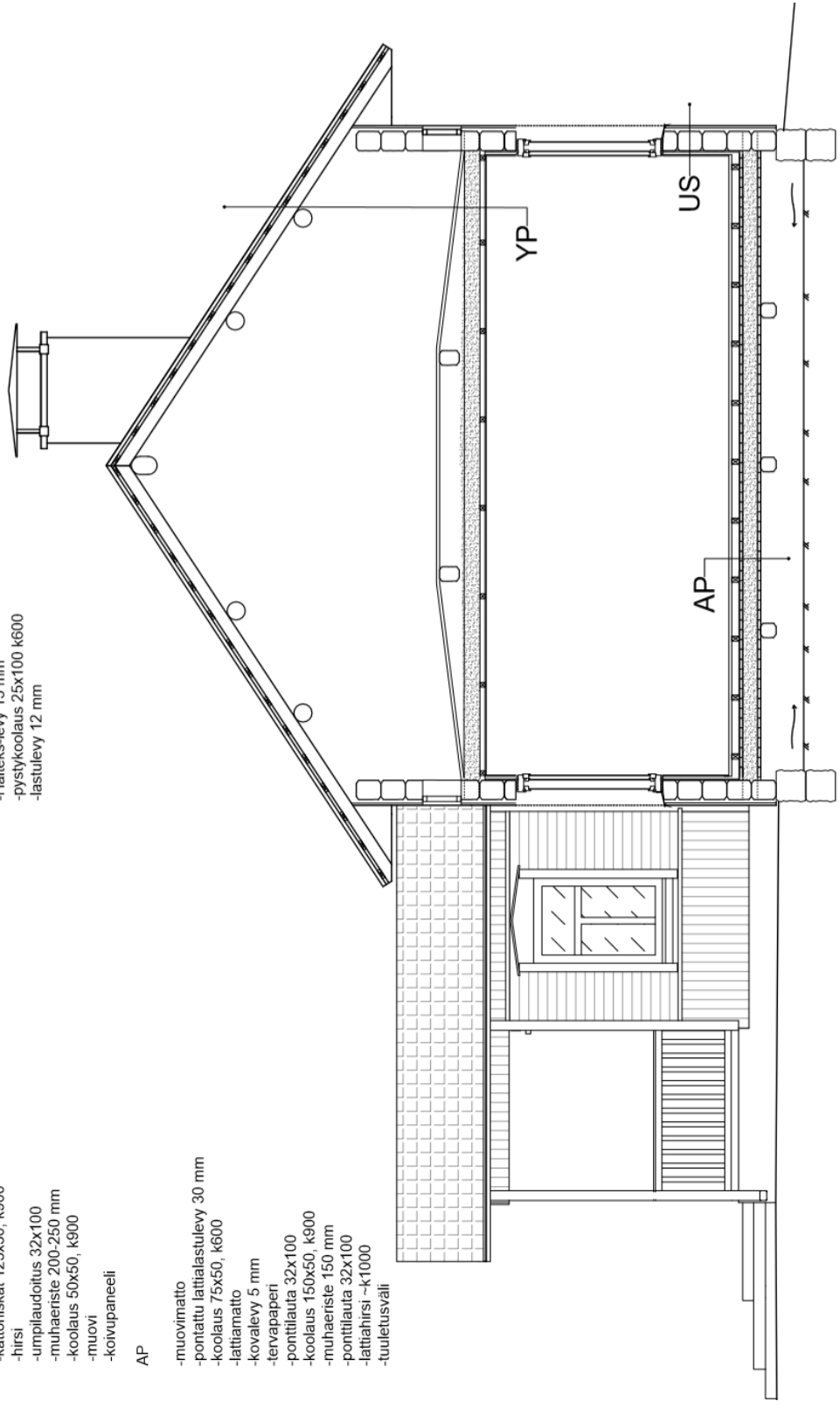
YP

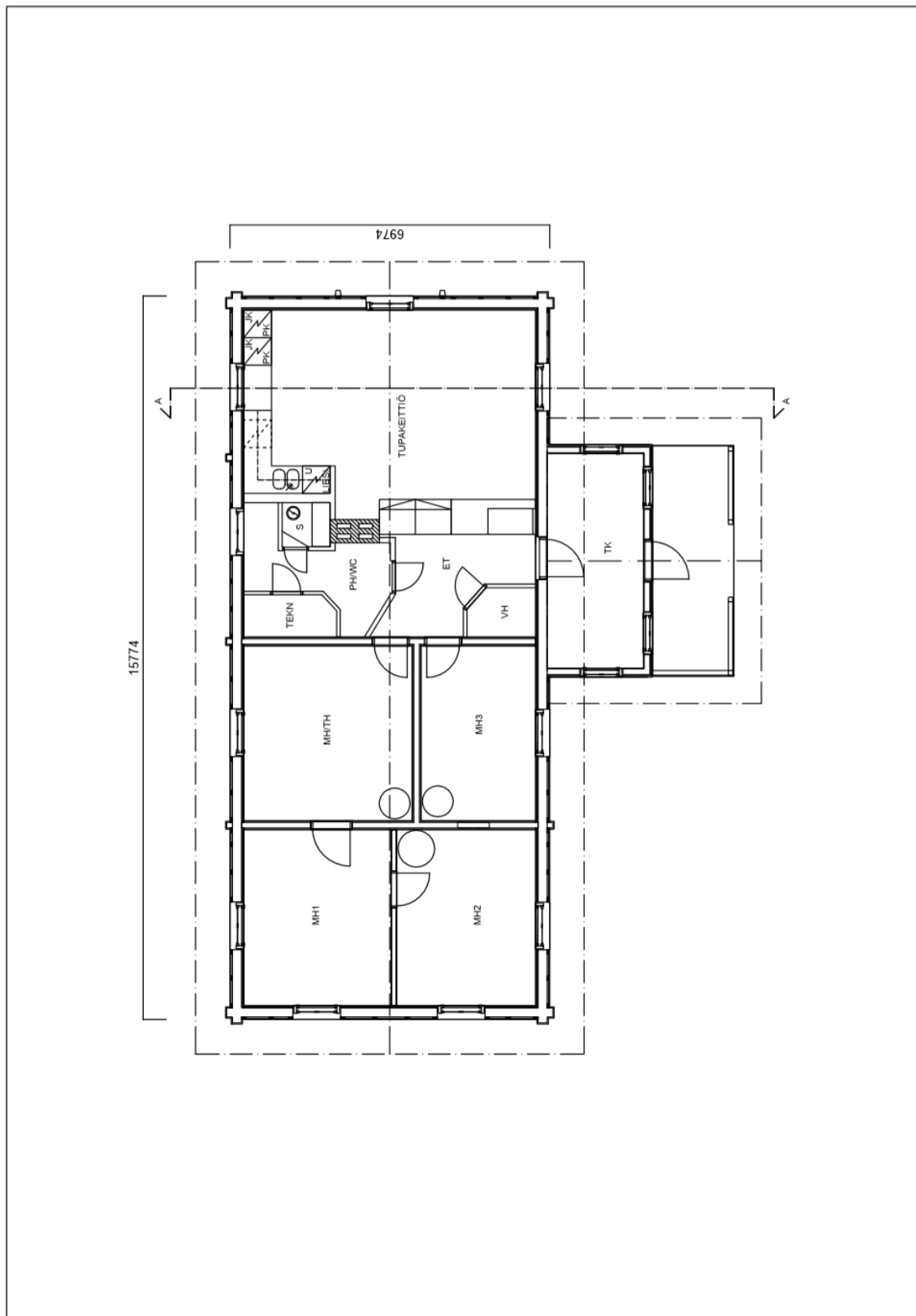
- ulkoverhouspaneeeli 23x120 UTK
- pystykoolausta 32x100 k600
- hirsi ~200x250 mm, hirsien välissä sammu (rive)
- Halteks-levy 15 mm
- pystykoolausta 25x100 k600
- lastulevy 12 mm

- tiliikkuviopelti
- ruoteet 32x100, k350
- aluskate-koolausta 32x100
- katoniskat 125x50, k900
- hirsi
- umplaudoitus 32x100
- muhaeriste 200-250 mm
- koolausta 50x50, k900
- muovi
- koivupaneeeli

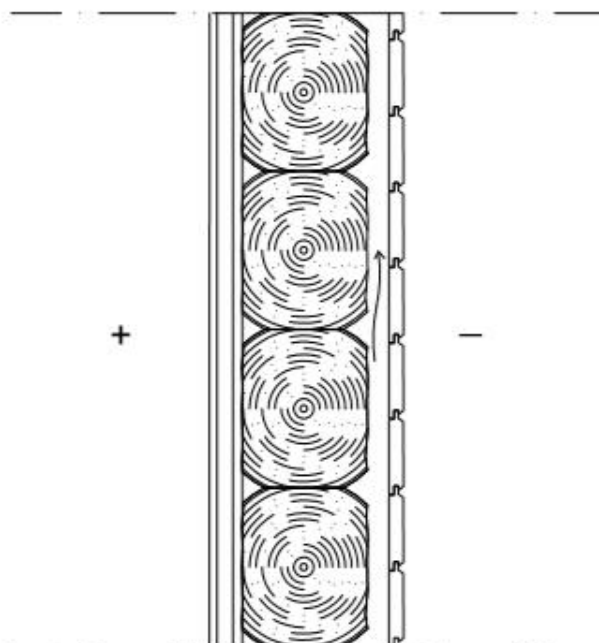
AP

- nuovimatto
- pontattu lattialastulevy 30 mm
- koolausta 75x50, k600
- lattiamatto
- kovalevy 5 mm
- tervopaperi
- ponttilausta 32x100
- koolausta 150x50, k900
- muhaeriste 150 mm
- ponttilausta 32x100
- lattiahirsi ~k1000
- tuuletusväli



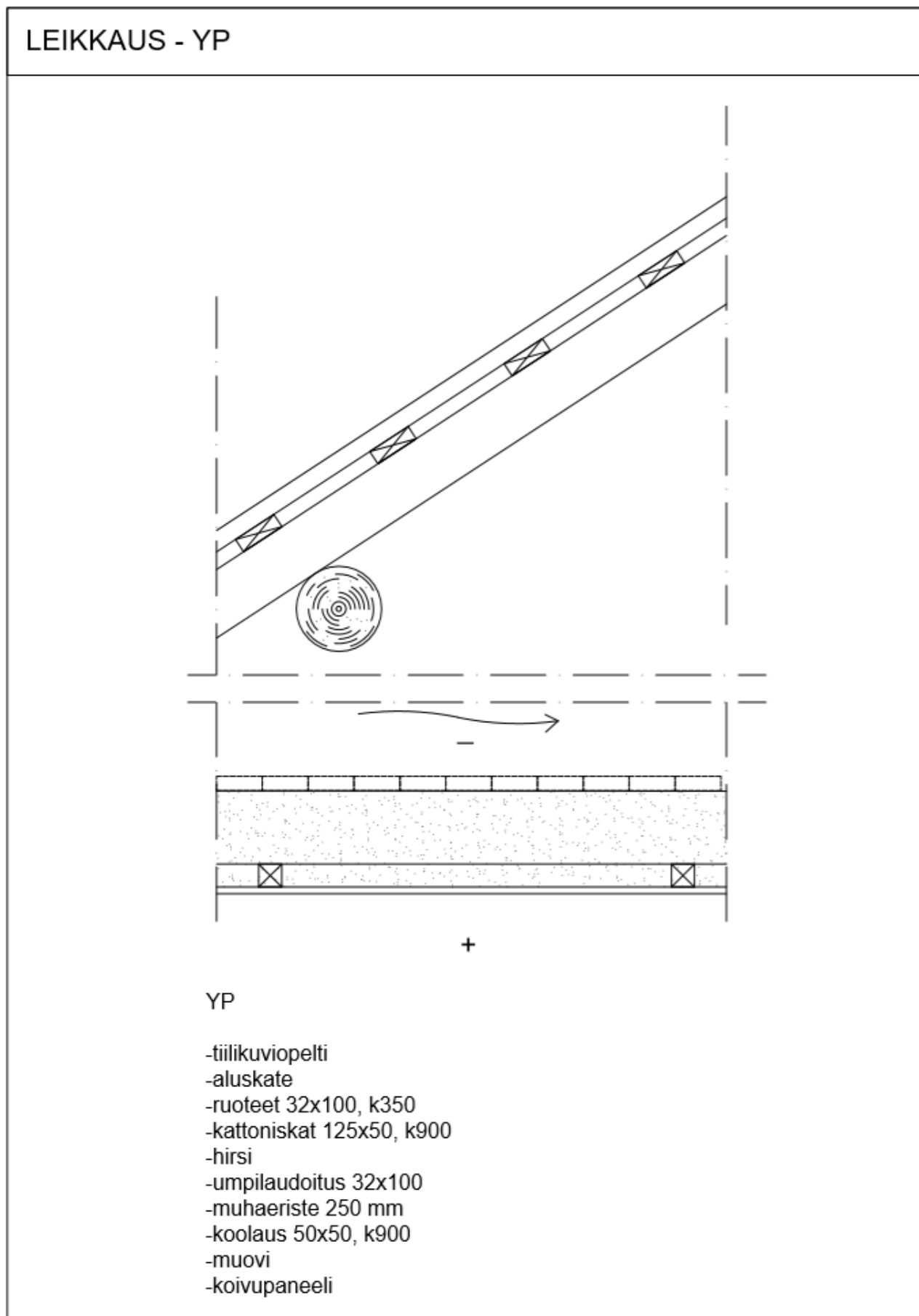


LEIKKAUS - US

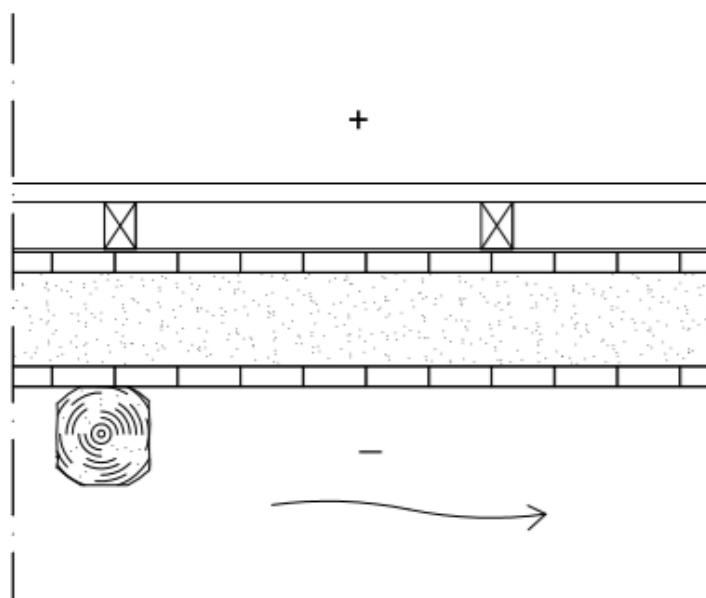


US

- ulkoverhouspaneeli 23x120 UTK
- pystykoolaus 32x100 k600
- hirsi ~200x250 mm, hirsien välissä sammal (rive)
- Halteks-levy 15 mm
- pystykoolaus 25x100 k600
- lastulevy 12 mm



LEIKKAUS - AP



AP

- muovimatto
- pontattu lattialastulevy 30 mm
- koolaus 75x50, k600
- lattiamatto
- kovalevy 5 mm
- tervapaperi
- ponttilauta 32x100
- koolaus 150x50, k900
- muhaeriste 150 mm
- ponttilauta 32x100
- lattiahirsi ~k1000
- tuuletusväli

