

Hannu Lumijärvi

SOLIDIERISTEMASSAN TOIMIVUUS RAKENTAMISESSA

SOLIDIERISTEMASSAN TOIMIVUUS RAKENTAMISESSA

Hannu Lumijärvi
Opinnäytetyö
Kevät 2022
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennusarkkitehdin tutkinto-ohjelma

Tekijä(t): Hannu Lumijärvi
Opinnäytetyön nimi: Solidieristemassan toimivuus rakentamisessa
Opinnäytetyön englanninkielinen nimi: Functionality of Solid Insulation Compound in Construction
Työn ohjaaja(t): Kimmo Illikainen
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2022
Sivumäärä: 59 + 12 liitettä

Nykyaikaisen rakentamisen yleisimmät ongelmat koostuvat yleisesti sisäilmaongelmista ja laho-
vaurioista. Opinnäytetyössä perehdyttiin aluksi nykyaikaisiin puurunkoisiin rakenteisiin ja niiden on-
gelmiin. Työn tavoitteena oli suunnitella uudenlaiset rakenteet, jotka mahdollisesti poistavat nyky-
aikaisen rakentamisen ongelmia ja parantavat rakennusten sisäilman laatua. Tarkoituksena oli löy-
tää sopivat materiaalit eristekerrokseen sekä löytää ratkaisu rakennuksen kantavan rungon kan-
nalta siten, ettei eristekerrosta tarvitse lävistää tai rikkoa millään toisella materiaalilla vaan eriste-
kerros säilyisi yhtenäisenä massana.

Tarkoitukseen sopivaksi eristemateriaaliksi valikoitui PIR-eriste ominaisuuksiensa vuoksi. Työssä
tarkasteltiin uusien ja vanhojen rakenteiden toimivuutta Comsol-ohjelmistolla ja tehtiin johtopäätök-
set tuloksiin pohjautuen. Tarkastelun jälkeen työssä suunniteltiin mallirakennus uusilla rakenteilla
ja verrattiin rakennusta perinteiseen rakentamiseen ja vaatimuksiin. Myös rakennuksen ympäristö-
vaikutukset ohjasivat suunnittelutyötä, jotta rakennuksia olisi mahdollista myös oikeasti rakentaa ja
toteuttaa tulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä saatiin lupaavia tuloksia tarkasteluista solidieristemassan toimivuudesta. Työssä
suunniteltiin uudenlainen rakennus, joka poistaa useita eri ongelmia uudella tavalla tehdyistä ra-
kennuksista. Erityisesti sisäilman kosteuden tiivistymisvaaraa rakenteisiin ei uudessa rakennuk-
sessa enää ole. Tutkittavaa jäi kuitenkin vielä useasta eri aiheesta, kuten paloturvallisuudesta ja
rakennuksen jäykistämisestä, jotta uusi rakennus saataisiin varmasti kaikin puolin turvalliseksi ja
terveelliseksi. Työtä ei ole vielä hyödynnetty mihinkään, mutta toivon että siitä olisi hyötyä tulevai-
suuden rakennuksien suunnittelussa.

Asiasanat: Solidieriste, nykyaikainen rakentaminen, rakennuksen terveellisyys

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree Programme in Construction Architecture

Author(s): Hannu Lumijärvi
Title of thesis: Functionality of Solid Insulation Compound in Construction
Supervisor(s): Kimmo Illikainen
Term and year when the thesis was submitted: Spring 2022
Number of pages: 59 + 12 appendices

In the thesis, first became acquainted with modern structures and their problems. The aim of the work was to design new types of structures that could potentially eliminate the problems of modern construction and significantly improve the indoor air quality of buildings. To this end, the aim was to find suitable materials for the insulation layer, as well as to find a solution for stiffening and supporting the building without having to pierce or break the insulation layer with any other material.

After finding a suitable insulation material, the functionality of the new and old structures was examined with Comsol software and conclusions were drawn based on the results. After the review, a model building with new structures was designed in the work and the building was compared to traditional construction and requirements. The environmental impact of the building also guided the design work so that the buildings could actually be built and implemented in the future.

In the thesis, promising results were obtained from the examinations, and a new type of building was designed, which eliminates several different problems from buildings made in a new way. However, a number of different topics remained to be explored in order to make the new building safe and healthy in all respects.

Keywords: Solid insulation, modern construction, the health of the building

ALKULAUSE

Haluan kiittää erityisesti Kimmo Illikaista ja Soili Fabritiusta laadukkaasta opetuksesta ja opinnäytetyön ohjaamisesta. Ilman heitä ei opinnäytetyöstä olisi tullut mitään. Lisäksi haluan kiittää kaikkia Oulun ammattikorkeakoulun opettajia monipuolisesta ja osaavasta opetuksesta. Koulussa opituista taidoista oli paljon hyötyä niin opinnäytetyötä tehdessä kuin oman alan työpaikkaan siirtyessä.

Kiitokset kuuluvat myös kaikille henkilöille, jotka ovat tuottaneet lähteissä merkittävää aineistoa. Toivon myös, että tästä opinnäytetyöstä on hyötyä tulevaisuuden rakentamisen kannalta.

Oulussa 25.4.2022

Hannu Lumijärvi

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	NYKYAIKAISEN RAKENTAMISTAVAN YLEISIMMÄT ONGELMAT.....	8
2.1	Vertailu kehityksestä muuhun teknologiaan	8
2.2	Yleinen ulkoseinärakenne ja siihen liittyvät ongelmat.....	9
2.3	Betonin haitallisuus rakentamisessa	13
2.4	Radon ja muut ulkopuoliset tekijät.....	14
2.5	Käyttäjän aiheuttamat ongelmat	14
3	ERILAISET SOLIDI-ERISTEET JA NIIDEN MAHDOLLISUUDET	15
3.1	Mineraalivillat.....	15
3.2	Muovipohjaiset eristeet.....	16
3.2.1	EPS-eriste.....	16
3.2.2	XPS-eriste.....	17
3.2.3	PUR ja PIR-eriste.....	18
3.3	Puukuitueristeet.....	19
3.4	Sahanpuru ja kutterilastu.....	19
3.5	Uudet ja harvemmin käytetyt eristeet	20
4	SOLIDIRAKENNUSMASSAN VALINTA MALLIRAKENNUKSEEN JA TOIMIVUUSTARKASTELU	23
4.1	Solidieristeen valitseminen mallirakennukseen	23
4.2	Rakenteellinen toimivuustarkastelu	24
5	MALLIRAKENNUKSEN SUUNNITTELU, TARKASTELU JA PERIAATTEET	34
5.1	Rakenteet, rakenneliitokset ja niiden toimivuus.....	36
5.2	Lämpöhäviöiden tasauslaskelmat ja energian kulutus.....	47
5.3	Hiilijalanjäljen vertailu	50
5.4	Tulosten tarkastelu	52
6	POHDINTA	54
	LÄHTEET.....	55
	LIITTEET	60

1 JOHDANTO

Nykypäivän rakentamiselle on asetettu tiukat energiavaatimukset, jotka täyttääkseen rakennuksen tulee eristää eri rakenneosille asetettujen vaatimusten mukaisesti. Lisäeristämisen vuoksi on paljon mahdollisia ongelmia, jotka rakennuksen käytön yhteydessä aiheuttavat tulevaisuudessa mahdollisesti sisäilmaongelmia. (1; 2.)

Yksi yleinen homevaurioiden aiheuttaja on myös rakennuksen heikko ilmatiiveys, jonka vuoksi paljon kosteutta sisältävä lämmin sisäilma pääsee kylmiin rakenteisiin ja tiivistyy vedeksi. Nykyaikaisten rakenteiden liitokset ja niiden kylmäsilat ovat myös heikosti suunniteltuja. Rakenteet aiheuttavat myös muita sisäilmaa voimakkaasti heikentäviä tekijöitä, kuten lattialaatasta nouseva betoni-pölyä, radonkaasujen imeminen maaperästä ja erilaisia rakennusmateriaaleista sisäilmaan irtoavia pienhiukkaspäästöjä. Lisäksi rakennukset ovat alttiita lukuisille ulkopuolisille tekijöille, jotka saattavat aiheuttaa rakennuksessa kosteusvaurioita. (3; 4; 5.)

Nykyaikainen rakentaminen on jäänyt pahasti jälkeen muusta kehityksestä. Rakennusala ja sen työtavat eivät ole viimeisen 50 vuoden aikana juurikaan kehittyneet, vaikka maailma ympärillä kehittyi nopeammin kuin koskaan ihmisen aikana aiemmin. (6.)

Opinnäytetyön tavoitteena on ensin perehtyä erilaisiin eristevaihtoehtoihin ja sen jälkeen suunnitella kokonaan uusi toimiva rakenne, joka täyttää nykyaikaiset energiavaatimukset sekä takaa terveen sisäilman koko rakennuksen elinkaaren ajaksi. Uusien rakenneratkaisujen on tarkoitus poistaa mahdollisimman monta nykyaikaista ongelmaa rakennuksista. Uusien rakenneratkaisujen on vastattava myös tulevaisuuden tarpeisiin, kuten rakentamisen sujuvoittamiseen ja vähähiilisyiden mahdollistamiseen. Työn tavoitteena on löytää uusia ratkaisuja rakentamiseen ja sen ongelmiin sekä nykyaikaistaa toimintatapoja ja parantaa rakennuksen sisäilmaa terveellisemmäksi.

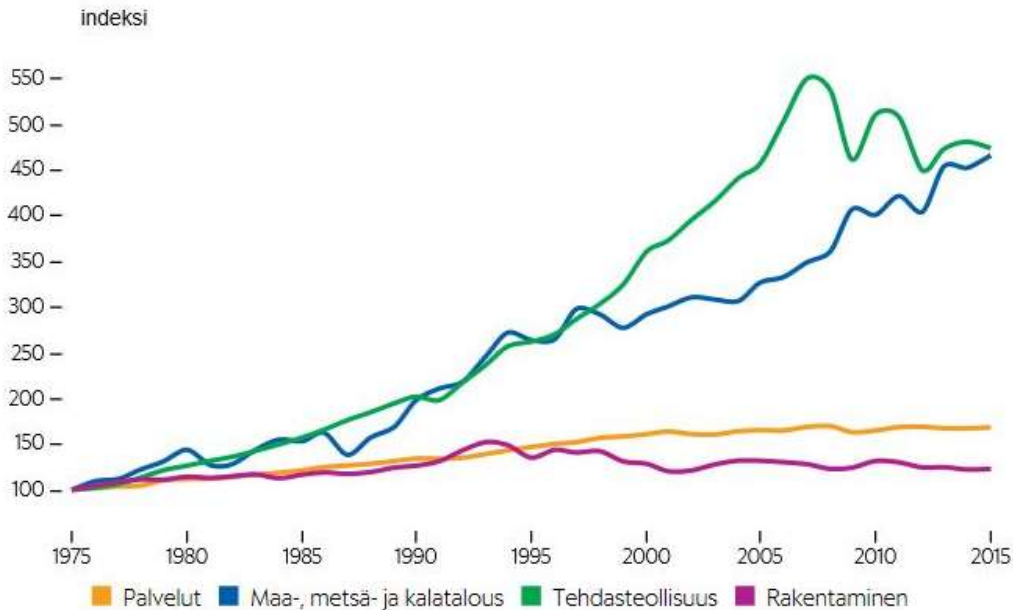
Aluksi perehdytään tarkemmin nykyaikaisten rakennusten ongelmiin erilaisten julkaisujen ja tehtyjen tutkimusten avulla, minkä jälkeen tarkastellaan erilaisia eristemateriaaleja ja niiden mahdollisuuksia. Lopuksi suunnitellaan ja simuloidaan rakennus, joka poistaa mahdollisesti nykyaikaiset ongelmat ja mahdollistaa paremmin rakennusten teollisen tuotannon.

2 NYKYAIKAISEN RAKENTAMISTAVAN YLEISIMMÄT ONGELMAT

Luvussa kaksi käsitellään yleisimpiä nykyaikaiseen rakentamiseen liittyviä ongelmia ja alan kehitystä yleisesti. Aluksi perehdytään rakennusalan kehitykseen, minkä jälkeen käydään läpi yleisimpiä ongelmia nykyaikaisissa rakenteissa.

2.1 Vertailu kehityksestä muuhun teknologiaan

Rakennusala alana on jäänyt todella paljon jälkeen muusta kehityksestä. Uusinta kehitystä ei ole osattu hyödyntää, vaan turvaudutaan edelleen perinteiseen rakentamiseen ja rakentamistapoihin. Syytä tähän on useita. Yksi suurimmista syistä on, ettei rakennusalan ole varsinaisesti tarvinnut kehittyä, koska alalla on ollut pysyvästi kysyntää ja asiakas on ollut valmis maksamaan pyydetyn hinnan perinteiseen tapaan tuotetusta tuotteesta. Tilannetta kuvaa hyvin kuva 1, jossa on piirretty arvonlisäyksen perustuva työn tuottavuus toimialoittain. (6.)



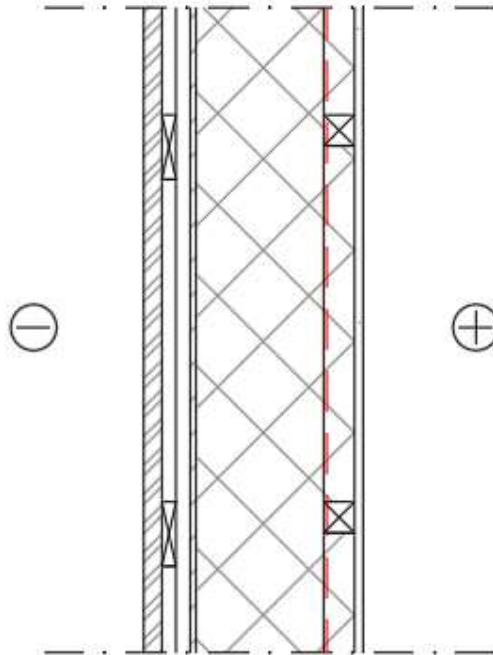
KUVA 1. Arvonlisäyksen perustuva työn tuottavuus toimialoittain (6)

Tilannetta ei myöskään helpota alan pirstaleisuus. Yksittäisellä hankkeella on yleensä useita eri yrityksiä tekemässä suunnitelmia ja töiden toteutuksessa on käytössä laajasti useita eri aliurakoitsijoita. Tilannetta verrattaessa esimerkiksi tehdasteollisuuteen ero tulee selvästi esille, sillä tehdasteollisuudessa pyritään valmistamaan ja suunnittelemaan kaikki saman yrityksen sisällä. Tämä antaa paljon paremmat mahdollisuudet tuotteiden kehitykselle ja työn tuottavuuden parantamiselle. Rakennusalalla ei myöskään ole osattu hyödyntää ulkomaan vientiä oikeastaan millään tavalla, vaan rakennusliikkeet keskittyvät perinteiseen rakentamiseen. (6.)

Rakennusalan kehityksen jälkeen jäämistä Suomessa myös hyvin kuvaa vertailu ruotsalaisen rakennusalan toimijan kanssa, joka on keskittynyt tuotannossa ajattelemaan asioita enemmän auto-teollisuuden tavalla. Rakennusajat ovat keskimäärin puolet lyhyempiä ja rakennukset ovat ilmasto-neutraaleja, josta perinnerakentamisessa ollaan vielä todella kaukana. (7.)

2.2 Yleinen ulkoseinärakenne ja siihen liittyvät ongelmat

Nykyaikaisen rakentamisen yleisin seinärakenne pientaloissa on puurunkoinen rakenneratkaisu. Pientaloissa on noin 70 %:ssa seinätyyppinä kuvan 2 mukainen tai samantapainen rakenne. Suurimmat ongelmat yleisesti kyseisessä rakenteessa ovat sisänurkkien höyrynsulkuun tiivistyvä kosteus, huono ilmatiiveys, puurungon aiheuttamat kylmäsilat, puun alttius homehtumiselle ja rakennusvirheet. Tilannetta heikentää entisestään käynnissä oleva ilmastonmuutos, joka lisää kosteuskuormaa rakenteissa höyrynsulun molemmilla puolilla. (8; 9; 10.)



RAKENNEKERROKSET ULKOAPÄIN LUKIEN

28 ULKOVERHOUSLAUTA 28X120

44 TUULETUSVÄLI, RISTIKOOLAUS 2KPL 22X100 HIENO SAHATTU LAUTA

9 TUULENSUOJA, KIPSILEVY

198 PUURUNKO, 48X198 MITALLISTETTU HAVUPUU + MINERAALIVILLA

0,2 HÖYRYNSULKU, PE-LD MUOVI, SAUMAT LIMITETÄÄN 150MM, TEIPATAAN

JÄ ASENNETAAN PURISTUKSIIN KAHDEN PINNAN VÄLIIN

48 APURUNKO, 48X48 MITALLISTETTU HAVUPUU + MINERAALIVILLA

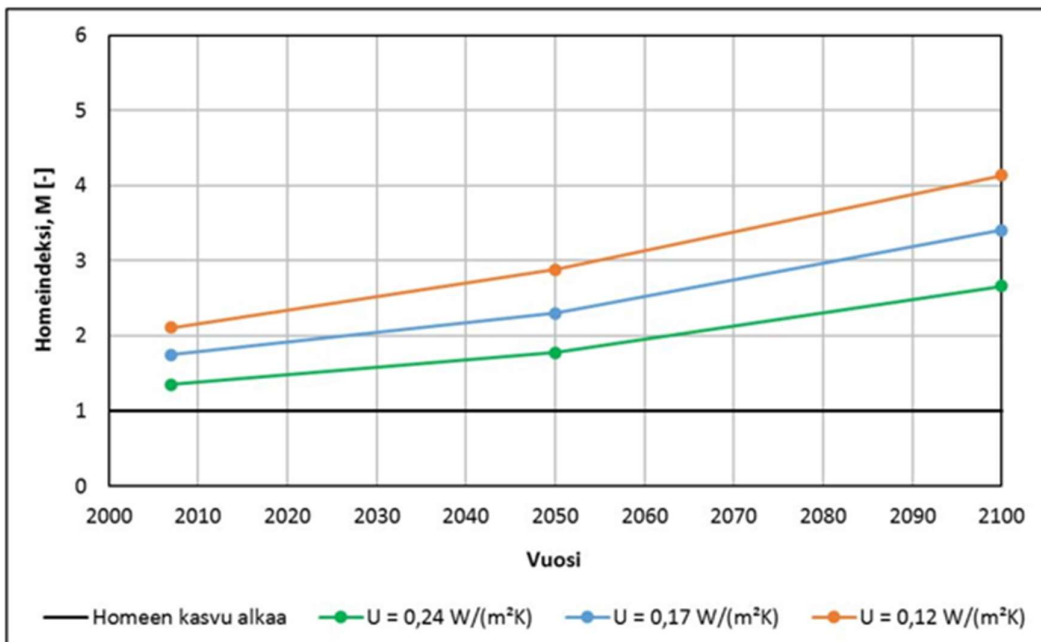
13 KARTONKIPINTAINEN KIPSILEVY

340 YHTEENSÄ

KUVA 2. Yleinen puurunkoinen seinätyyppi nykyaikaisissa rakennuksissa

Yksi isoimmista ongelmista koskee rakennuksen ulkoseinien sisänurkkia, jotka pitkällä pakkasjaksoilla keräävät kosteutta sisäpuolen lisäkoolauseristeen ja höyrynsulkumuovin väliin. Lämpötila sisänurkissa höyrynsulkumuovin pinnalla laskee pahimmillaan alle kondensaatiopisteen, joka aiheuttaa kosteuden tiivistymistä nurkkiin. Olosuhteet nurkissa homeen kasvulle täytyvät jo aiemmin. Tilannetta pahentaa entisestään lämpöä talteen ottavien ilmanvaihdon koneiden jäätyminen koviin pakkasilla ja rakennuksessa asuvan ihmisen tietämättömyys ilmanvaihdon tarpeesta. Ilmanvaihdon puutteellisuus vaikeuttaa tilannetta entisestään, koska se nostaa sisäilman sisältämää kosteutta ja tällöin kosteuden tiivistyminen tapahtuu jo lämpimämissä olosuhteissa. (2; 11; 12, s.172.)

Ulkoseinien toinen tiedetty heikko kohta sijaitsee ulomman eristekerroksen ulkopinnan ja tuulensuojan välissä. Tampereen teknillisen yliopiston tuottamassa tarkastelussa (kuva 3) nähdään selvästi, miten kyseisessä kohdassa homeindeksin raja-arvot ylittyvät sitä reilummin, mitä tehokkaampi seinän eristys on ollut. Kuvassa on myös nähtävissä käynnissä olevan ilmastonmuutoksen vaikutukset, jotka selvästi vaikeuttavat tilannetta. Tilannetta hankaloittaa entisestään myös kiristyvät energiavaatimukset, jotka pakottavat tekemään eristekerroksista entistä paksumpia. Tarkastelu on tehty suomalaisella homemallilla käyttäen homeutumisherkkyyssuokkaa 2, joka vastaa puukuitutuulensuojalevyjä. (2; 12, s.172-173.)



KUVA 3. Homehtumisriski matalassa puurunkoisessa ulkoseinässä uloimman eristekerroksen ulkopinnan ja tuulensuojan välissä (2)

Kuvan 4 mukaiset suomalaisen homemallin luokittelutasot ovat esitetty taulukossa 1. Kaikki arvot 1 ylittävät lukemat ovat homehtumisvaarallisella alueella. (13.)

TAULUKKO 1. Suomalaisen homemallin luokittelutasot (13)

Home-indeksi M	Havaittu homeenkasvu	Huomautuksia
0	Ei kasvua	Pinta puhdas
1	Mikroskoopilla havaittava kasvu	Paikoin alkavaa kasvua, muutama rihma
2	Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Homerihmasto peittää 10 % tutkittavasta alasta (mikroskoopilla). Useita rihmastopesäkkeitä muodostunut.
3	Silmin havaittava kasvu Selvä mikroskoopilla havaittava kasvu	Alle 10 % peitto alasta (silmillä) Alle 50 % peitto alasta (mikroskoopilla) Uusia itiöitä alkaa muodostua
4	Selvä silmin havaittava kasvu Runsas mikroskoopilla havaittava kasvu	Yli 10 % peitto alasta (silmällä) Yli 50 % peitto alasta (mikroskoopilla)
5	Runsas silmin havaittava kasvu	Yli 50 % peitto alasta (silmillä)
6	Erittäin runsas kasvu	Lähes 100 % peitto, tiivis kasvusto

Todellisuus voi olla kuvaajaa vielä paljon huonompikin, koska tarkastelussa ei ole otettu huomioon mahdollisia rakennusvirheitä, vaipan ilmapuotoja, taivaalle lähtevää pitkäaaltoista lämpösäteilyä, rakennusaikaista kosteutta ja rakennuksen epäsymmetrisyyttä. Lisäksi tarkastelussa käytetyt sääolosuhteet eivät vastaa haastavampia vuosia, joita sääoloissa aina välillä on. (2.)

Ilmatiiveys puolestaan on varsin vaihtelevaa rakentajasta ja rakennustavasta riippuen. Ilmanvuotoluku mitatuissa pientaloissa on ollut keskimäärin 1,1 luokkaa vuosina 2016–2020. Rakennuksissa, joissa ei mitausta suoriteta, oletetaan ilmanvuotoluvun olevan suurempi. Tämä johtuu siitä, että ilmatiiveyteen ei panosteta samalla tavalla kuin mitattavissa kohteissa. Rakenteen huono ilmatiiveys johtaa sisäilman kosteuden siirtymisen höyrinsulkumuovin väärälle puolelle ja tiivistymisen kylmempiin rakennosiin. Jos rakenteet eivät pääse kuivumaan, voi tämä johtaa laajoihin homeaurioihin rakenteissa. Lisäksi huono ilmatiiveys aiheuttaa lämmityksen lisäkuluja lämmön karatessa vuotokohdista. Energian kulutus vuositasolla heikon ja erinomaisen ilmatiiveyden välillä voi olla jopa yli 2 000 kWh. (3.)

Puurunkoisessa rakennuksessa puun aiheuttamat kylmäsillat huonontavat myös rakenteellista toimivuutta. Puulla on huonompi lämmöneristysarvo kuin eristykseen käytettävällä villalla. Tämä joh-

taa heikompaan lämmöneristykseen ja mahdollisesti kosteusongelmiin, kun lämpö vaihtelee rakenteiden sisällä. Tämä saattaa jälleen mahdollistaa kosteuden tiivistymisen ja rakenteiden pilaantumisen. (14, s.58-72; 15, s.11.)

Puun alttius homeelle, lahottajasienille ja muille tuholaisille on syy, mikä tekee puusta riskirakenteen nykyaikaisessa rakentamisessa. Puu on hygroskooppinen materiaali ja sen kosteuspitoisuus vaihtelee ympäröivien olosuhteiden mukaan. Jos puun ympäröivän ilman suhteellinen kosteus on parikin kuukautta yhtäjaksoisesti 80–90 %, alkaa puu jo tuossa ajassa homehtua. Lahovaurioita syntyy, jos lukema on yli 90 %. Höylätty mänty sekä karkea sahattu ja mitallistettu mänty ja kuusi kuuluvatkin hyvin herkkään homehtumisherkkyyssluokkaan. (16; 12, s.58.)

2.3 Betonin haitallisuus rakentamisessa

Betonirakenteiden tiedetään aiheuttavan suuren osan rakennuksen hiilidioksidipäästöistä sekä lisäksi betoni aiheuttaa rakennuksissa sisäilmaongelmia. Betonin sisäilmaongelmat ovat yleensä joko yleisten rakennusvirheiden tai betonin pölisvän ominaisuuden aiheuttamia. Yleisimpiä sisäilmaa huonontavia rakennusvirheitä betonin osalta on sen pitkät kuivumisajat ja niiden väärä arviointi. Virheelliset mittaustavat ja väärä rakentamisjärjestys aiheuttavat betonin sisältämän valtavan kosteuskuorman siirtymisen rakenteisiin, jotka eivät sitä kestä. (4; 17; 18.)

Betonin pöliseminen puolestaan huonontaa sisäilmaa tilanteissa, joissa esimerkiksi betonilaatan päälle on asennettu perinteinen laminaattilattia. Laminaatin päällä kävellessä aiheutuu ilman kiertämistä laminaatin ja betonin välissä, joka puolestaan nostaa betonista irtoavan betonipölyn sisäilmaan huonontaan sen laatua. Lisäksi asiaa pahentaa betonin sisältämät lisäaineet, joita ei ole kovinkaan tarkasti säädely tai tutkittu. Vain harvojen lisäaineiden osalta on tarkempia tutkimuksia niiden vaikutuksesta terveyteen. Betonia myös kutsutaan pilaantumattomaksi rakennusmateriaaliksi, mutta todellisuudessa se antaa erinomaisen kasvualustan homeelle. (4.)

Täysin betoniton rakennus aiheuttaa huomattavasti pienemmän ilmastokuorman sekä parantaa rakennuksen sisäilmaa joissain tapauksissa jopa merkittävästi. Nykyaikana tulisikin keskittyä varsinkin betonin osalta sen ympäristöhaitallisuuksien vähentämiseen ja pohtia tarvitaanko betonia joka

paikassa, missä sitä nykyään käytetään. Betonin aiheuttamaan ilmastokuormaan on kehitteillä kuitenkin uusia ratkaisuita, jotka mahdollisesti helpottavat tätä ongelmaa tulevaisuudessa. (17; 18.)

2.4 Radon ja muut ulkopuoliset tekijät

Nykyaikaiset rakenteet ovat alttiita useille eri ulkopuolisille tekijöille, kuten sateet, tulvat, UV-säteily, lämpötilavaihtelut ja maasta nousevat radonkaasut. Tulevaisuudessa tutkimusten mukaan ilmastomuutoksesta johtuen sään ääri-ilmiöt yleistyvät ja tulevat myös kuormittamaan rakennuksia huomattavasti enemmän. Maapallon keskilämpötila ja kosteusmäärä ilmassa on myös tulevaisuudessa nousussa. Nykyaikaiset rakenteet ovat varsin heikkoja esimerkiksi tulvavedelle, joka kastelee puurungon alajuoksun. Yleensä tällaisessa tapauksessa tarvitaan mittavia remonteja. Myös lisääntyvä kosteuskuorma ulkoilmassa voi aiheuttaa isojakin ongelmia rakenteissa ja niiden kuivumisessa. (19; 20, s.4-5.)

Maaperästä nousevaa radonkaasua puolestaan pääsee nykyaikaisissa rakenteissa sisäilmaan huonon alapohjan ilmatiiveyden vuoksi. Haitallisen kaasun sisäilmaan pääsemistä auttaa myös sisäilman alipaine, joka usein johtuu ilmanvaihdosta ja ilmanvaihtokoneista. (5.)

2.5 Käyttäjän aiheuttamat ongelmat

Rakennusten käyttäjät aiheuttavat myös rakennuksille lukuisia eri ongelmia. Yleisimmät ongelmat pientaloissa koostuvat käyttäjien tietämättömyydestä ja osaamattomuudesta. Rakennusten tekniikka on vuosi vuodelta monimutkaisempaa ja rakenteiden toimivuus olisi käyttäjien hyvä tiedostaa vääränlaisen käytön ehkäisemiseksi. Hyvä esimerkki ovat pientalojen ilmanvaihtokoneet. Käyttäjät usein ajattelevat säästävänsä säättämällä ilmanvaihtoa lämmityskaudella pienemmälle, kun taas todellisuudessa rakenteiden toimivuuden kannalta olisi ensiarvoisen tärkeää huolehtia riittävästä ja toimivasta ilmanvaihdosta tuolla ajanjaksolla. Laitteiden ja rakennuksen huollot ja korjaukset jäävät usein myös suorittamatta, jos ne ovat asukkaan itse huolehdittavia. (11; 21.)

3 ERILAISET SOLIDI-ERISTEET JA NIIDEN MAHDOLLISUUDET

Solide-eristeellä tarkoitetaan yksimateriaalista eristekerrosta. Erilaisia tähän tarkoitukseen soveltuvia eristeitä on jo maailmalla useita ja koko ajan kehitetään lisää. Luvussa kolme onkin tarkoitus perehtyä erilaisiin yleisimpiin vaihtoehtoihin ja niiden antamiin mahdollisuuksiin. Yleisesti huomioitavia ja vertailtavia ominaisuuksia eristeillä ovat lämmönjohtavuus, tiheys, puristuslujuus, palo-ominaisuudet, kosteuskestävyys, kosteuden läpäisevyys, ympäristövaikutukset ja mahdolliset myrkylliset päästöt. Eristeiden toiminta yleensä perustuu jonkin kaasun paikallaan pitämiseen, joten periaatetasolla mikään tämän tapainen eriste ei ole yksiaineinen. (22, s.465; 23; 24, s.87.)

3.1 Mineraalivillat

Yleisimpiä mineraalivillaeristeitä ovat kivivilla ja lasivilla. Näitä tuotteita on saatavilla laajasti, niin levyinä kuin puhallettavina tuotteina. Mineraalivilla on yleisin lämmöneriste nykyaikaisissa rakennuksissa niin seinässä kuin katossakin. Mineraalivilla on hyvin kosteutta ja ilmaa läpäisevä eriste ja siksi se tarvitseekin yleensä useita eri rakennekerroksia toimiakseen oikein. Yleisesti on käytetty eristekerroksen ulkopinnalla tuulta suojaavaa kerrosta ja sisäpuolella höyrynsulkumuovia. Mineraalivilla tarvitsee erikseen kantavan rungon ja se ei toimi jäykisteenä. Kantava runko yleensä heikentää eristekerroksen eristävyttä. (22, s.500-504; 24, s.100-101.)

Mineraalivilla menettää herkästi eristysominaisuudet kastuessaan ja onkin täten huolehdittava kuivana pysymisestä. Mineraalivilla vaatii yleensä monia eri rakennekerroksia ja onkin haasteellinen saada toimimaan nykypäivän energiatehokkaissa rakennuksissa, varsinkin ulkoseinien osalta. Mineraalivillassa ei kuitenkaan ole orgaanisia osia, joten se ei varsinaisesti lahoa mutta tarjoaa hyvän kasvualustan homeelle. Mineraalivillapöly sisäilmassa aiheuttaa osalle ihmisistä vahvoja reaktioita ja se tulisikin aina varmistaa, ettei pölyä pääse sisäilmaan. Tarkemmat mineraalivillojen tekniset ominaisuudet on esitetty liitteessä 1. (22, s.500-504; 24, s.100-101.)

Kivivilla valmistetaan pääasiassa emäksisistä kivilajeista niitä sulattamalla ja kuiduttamalla. Kivivilalla on yleisesti hyvät ominaisuudet palon suhteen ja se luokitellaankin usein palamattomaksi materiaaliksi. (22, s.500–504; 23; 25.)

Lasivilla valmistetaan silikaattia sisältävistä kivistä ja sulasta lasista. Palo-ominaisuudet eivät ole yhtä hyvät kuin kivivillalla ja lisäksi lasivilla kuivuu kastuessaan huomattavasti hitaammin. Lasivilla on edullinen ratkaisu ja sen takia usein käytetty mineraalivilla. (22, s.500–504; 23.)

3.2 Muovipohjaiset eristeet

Muovipohjaiset eristeet yleisesti ovat lähes lahoamattomia ja soveltuvatkin tämän ominaisuuden vuoksi monipuolisesti haastaviinkin olosuhteisiin. Erityisen hyviä ominaisuuksia ovat lisäksi hyvä puristuslujuus, erinomainen eristävyys ja materiaalin keveys. Heikkouksia muovipohjaisilla eristeillä on yleisesti palo-ominaisuuksissa. (22, s.537-538.)

3.2.1 EPS-eriste

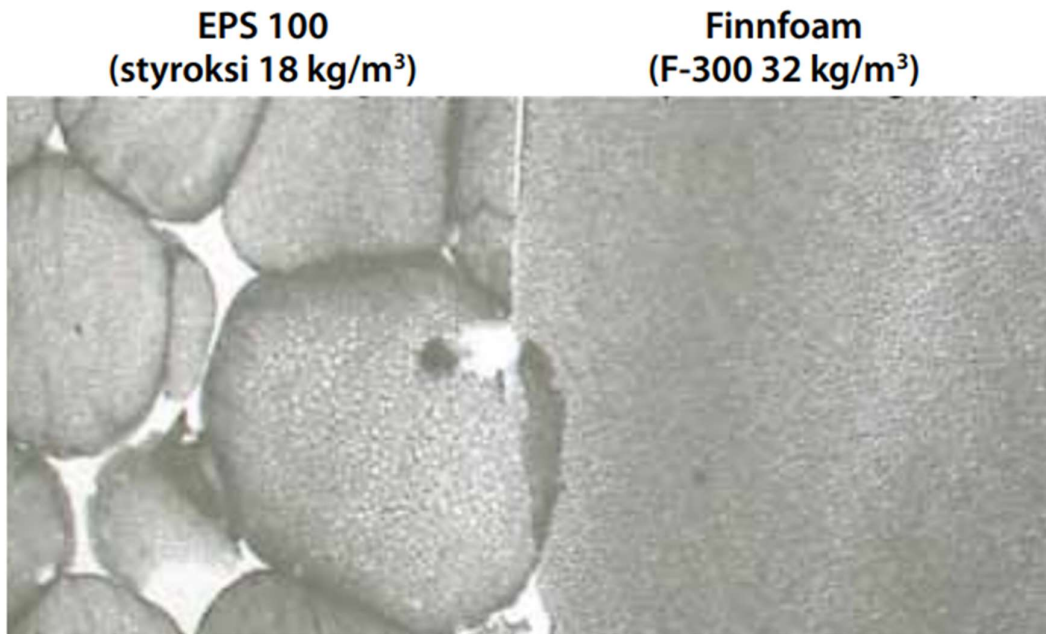
EPS-lyhenne tulee sanoista expanded polystyren ja se on öljypohjainen muovieriste. EPS-eristeen solurakenne saadaan aikaan käyttämällä ponnekaasuna pentaania, minkä ansiosta muovirakeet paisuvat noin 3 – 6 mm:n kokoisiksi. EPS-eristeen valmistuksessa muovipallot paisutetaan lopulliseen kokoonsa vesihöyryllä. Ponnekaasu vapautuu ja korvautuu prosessissa ilmalla. Valmistuksessa käytetään vapaata muottimenetelmää, jossa muovipallot laajenevat ja liimautuvat toisiinsa. Lopputuotteessa on ilmaa vähintään 95 % tuotteen tilavuudesta. Paikallaan pysyvä ilma muodostaa hyvän eristeen. (26.)

EPS-eristeen yleisimpiä käyttökohteita ovat teiden ja rakennusten routasuojaus ja rakenteiden eristäminen. Eriste soveltuu erinomaisesti ominaisuuksiltaan maanpinnan alle. Materiaalin käyttöä rajoittavat sen heikot palo-ominaisuudet, minkä vuoksi käyttö vaatii erillistä suunnittelua. Oikein käytettynä tuote on turvallinen eikä edistä paloa. EPS-eriste alkaa kutistua ja sulaa jo 100 °C:n lämpötilassa. Korkeammassa lämpötiloissa eriste alkaa tuottamaan palavia kaasuja, jotka palaessaan muodostavat paljon savua. Palo-ominaisuuksia joissakin eristeissä on parannettu lisäaineilla, mutta ominaisuudet ovat silti heikot. (26.)

EPS-eristeen lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo on noin 0,031 – 0,039 W/Km ja se on eristeeksi huippu luokkaa. Puristuslujuutta säädellään käyttötarkoituksen mukaan. Tarkemmat tekniset ominaisuudet on esitetty liitteessä 1. (23; 26.)

3.2.2 XPS-eriste

XPS-lyhenne tulee sanoista extruded polystyrene ja se on öljypohjainen muovieriste. XPS-eriste on rakenneaineiltaan varsin samanlainen tuote kuin EPS, jonka isoin ero tulee sen valmistuksessa syntyvästä yhtenäisestä ja suljetusta solurakenteesta. (Ks. kuva 4.) Suljettu solurakenne saadaan aikaan valmistusmenetelmällä, jossa sulaan polystyreeniin liuotetaan hiilidioksidia korkeassa paineessa. Suuttimesta ulos tullessaan hiilidioksidi kaasuuntuu ja laajentaa solurakenteen halutun kaltaiseksi. Valmistuksen yhteydessä levyn pinnalle muodostuu ns. pintanahka, joka hylkii tehokkaasti vettä. (27; 28.)



KUVA 4. EPS ja XPS-eristeiden solurakenne suurennettuna (28)

Ominaisuuksiltaan XPS on eristyskyvyn kannalta lähes täysin riippumaton ympäristöstä. Sen eristyskyky ei huonone korkeassakaan kosteuskuormassa. Suljetun rakenteen vuoksi XPS-levy toimii myös höyrynsulkuna, mutta saumakohtien tiiveys tulee varmistaa teippaamalla tai liimaamalla. XPS on lähes täysin lahoamaton materiaali, koska sen suljetun solurakenteen sisällä ei ole ilmaraikoja tai huokosia. (27; 29, s.50.)

XPS-levyillä on erittäin hyvät puristuslujuudet, sillä parhaimmat XPS-levyt kestävät jopa yli 70 000 kg/m² lyhytaikaista puristusta. Palo-ominaisuuksiltaan XPS luokitellaan palavaksi materiaaliksi, mutta tiiviin solurakenteen ansiosta palon tarvitseman hapen saanti on heikkoa. (27.)

Yleisimpiä käyttökohteita XPS-eristeellä on kaikki kovaa kosteusrasitusta vaativat paikat sekä erinomaisen puristuslujuuden ansiosta myös tiet, kadut ja piha-alueet. XPS-eristeen lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo on noin 0,031 – 0,037 W/Km ja se on eristeeksi huippu luokkaa. Tarkemmat tekniset ominaisuudet on esitetty liitteessä 1. (27.)

3.2.3 PUR ja PIR-eriste

PUR-lyhenne tulee sanoista polyuretan ja PIR-lyhenne tulee sanoista poly-isosyanuraani. Eristeiden valmistuksessa saadaan aikaan reaktio kahden nestemäisessä muodossa olevan peruskomponentin ja alhaisen kiehumispisteen omaavan ponneaineen välillä. Pääraaka-aineet näissä eristeissä ovat isosyanaatti, polyoli ja ponneaine. Ponneaineena käytetään yleensä pentaania. Polyisocyanuraani eroaa polyuretanista siten, että se sisältää noin kaksinkertaisen määrän isosyanaattia. (30, s.101-102.)

PUR ja PIR-eristeillä on erinomainen eristyskyky. Niiden erinomainen eristyskyky perustuu ponneaineeseen, joka valmistuksessa jää eristeen sisään ja johtaa lämpöä huomattavasti hitaammin kuin ilma. PUR ja PIR-eristeiden lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo on noin 0,022 – 0,023 W/Km. Tarkemmat tekniset ominaisuudet on esitetty liitteessä 1. (23.)

PUR ja PIR-eristelevyt toimivat myös höyrynsulkuna erinomaisen vesihöyrynvastuksensa ansiosta. Eristeet eivät myöskään vety, eikä niiden lämmönjohtavuus heikkene iän myötä. Palo-ominaisuuksiltaan eristeet ovat huomattavasti parempia kuin esimerkiksi EPS ja XPS. Lisäksi niitä voidaan käyttää oikein suunniteltuna jopa P1-paloluokan rakenteissa. Eristelevyt ovat itsestään sammuvia ja eristepinnan hiiltyminen hidastaa uudelleen syttymistä. Eristelevyjien erinomaisuuksiin kuuluu myös se, että ne eivät tuota sisäilmaan päästöjä ja heikennä sisäilmanlaatua. Osa levyistä onkin saanut M1-päästöluokituksen. Eristelevyjä voidaankin käyttää esimerkiksi rakennuksissa sisäpuolen lisälämmöneristeinä, jos rakenteiden tekniset ominaisuudet sen kestävät. (30, s.101-102; 31.)

3.3 Puukuitueristeet

Puukuitueristeet ovat vaihtoehto mineraalivillalle. Puukuitueristeitä käytetään yleisesti kuivissa olosuhteissa rakennusten ulkoseinissä ja yläpohjissa. Puukuitueriste pystyy sitomaan kosteutta huomattavasti enemmän kuin mineraalivillat ja sen sisältämien booriyhdisteiden ansiosta se myös kestää homehtumatta paremmin. Puukuitueristeitä on saatavilla puhallettavina, ruiskutettavina ja levyinä. Puukuitueristeet tarvitsevat toimiakseen useamman eri materiaalikerroksen ja kantavan rungon, kuten mineraalivillat. Tämän ominaisuuden vuoksi niitä ei oikein voi käyttää solidieristemasana. (22, s.504–508; 32.)

Puukuitueristeitä valmistetaan selluloosasta, puuhiokkeesta ja sanomalehtikeräyspaperista. Puukuitueristeitä on saatavilla jopa kokonaan hiilineutraaleina. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo puukuitueristelevyillä on noin 0,033 W/Km ja puhallettavilla eristeillä noin 0,041 – 0,050 W/Km. (32.)

3.4 Sahanpuru ja kutterilastu

Sahanpuru on varsin vanha eriste. Yleisesti oletetaan, että sahanpurua on käytetty rakennuksissa eristeenä niin kauan kuin on ollut sahojakini. Suomessa purueristeitä onkin käytetty jo 1700-luvulla. Sahanpuru eristeenä kuitenkin yleistyi vasta rankarunkoisten talojen yleistyttyä. Pientaloissa sahanpurueristeen valtakausi sijoittunee 1930 – 1940 aikavälille. Sahanpurun ja kutterinlastun käyttö miltei loppui mineraalivillojen tulon myötä 1960-luvun aikana. (22, s.509–512.)

Purueristeet vaativat myös kantavan rungon ja eri materiaalikerroksia toimiakseen. Purueriste on hygroskooppinen kosteutta läpäisevä materiaali ja se sitoo ja luovuttaa kosteutta ympäristönsä mukaan. Purueriste on kuitenkin homeelle ja laholle altis materiaali altistuessaan pitkään kosteudelle. Purueristeen heikkouksia on myös sen palo-ominaisuudet, koska sahanpuru on palava materiaali. Sahanpuru- ja kutterinlastueristeet ovat varsin ekologisia vaihtoehtoja, koska ne valmistuvat teollisuuden sivutuotteena ja puu materiaalina sitoo itseensä hiiltä. (22, s.509–512.)

Suomalaisen Rakennusinsinööriyhdistyksen vuonna 1949 julkaisemassa taulukossa lämmönjohtoluvuiksi sullomistavan mukaan sahanpurulle annettiin arvo 0,072 - 0,110 W/Km ja kutterinlastulle

0,070 – 0,130 W/Km. Nykypäivän täyspurueristeillä kuitenkin saavutetaan jopa 0,0429 W/km lukemia, mikä alkaakin olemaan jo erinomainen luku eristävyydelle. (22, s.509–512.)

3.5 Uudet ja harvemmin käytetyt eristeet

Maailmalla kehitetään koko ajan uusia korvaavia vaihtoehtoja nykyisille eristeille. Yksi hieno esimerkki on saksalaisten tutkijoiden kehittämä popcorn-vahto, joka omaa samankaltaiset eristysominaisuudet kuin EPS, mutta on kuitenkin huomattavasti öljypohjaisia eristeitä ekologisempi vaihtoehto. Lisäksi popcornista valmistettu vahto on arvioiden mukaan kaksi kertaa styroxia lujempaa ja se on myös tulen kestävä. (33.)



KUVA 5. Popcornista valmistettu vahto toimii eristeenä (33)

Yksi mielenkiintoinen meillä vähemmän käytetty eriste on solulasi. Solulasieriste koostuu miljoonista suljetuista lasisoluista. Solulasieriste valmistetaan pääosittansa kierrätyslasista, raakalasista ja hiilijauheesta. Solulasin valmistuksessa luodaan lasimassa, joka kuumennetaan 1 100-asteiseksi. Kuumennettaessa hiili palaa massasta ja luo miljoonia pienikokoisia suljettuja soluja. (34, s.5.)

Solulasin erityisiin etuihin kuuluvat sen palamattomuus, kosteustiiveys ja puristuskestävyys. Eristeellä on lisäksi todella laaja käyttölämpötila $-269 - +482$ °C, mikä mahdollistaa eristeen käytön myös monessa teollisuuden kohteessa. Lämmönjohtavuuden suunnittelu-arvo solulasilla vaihtelee tuotteen mukaan välillä $0,038 - 0,058$ W/(Km) ja on hyvä eriste. (34, s.6-7.)



KUVA 6. Solulasirakenne koostuu miljoonista pienistä lasisoluista (34)

Yksi mahdollisesti tulevaisuuden parhaista eristeistä on piioksidiaerogeeli. Aerogeeli itsessään tarkoittaa geeliä, jossa kiinteän aineen sisällä on nesteen sijasta kaasua. Aerogeelit, jotka ovat valmistettu piioksidista, painavat keskimäärin vain kaksi kertaa ilmaa enemmän. Piioksidiaerogeeli koostuu käytännössä nanoluokan ketjuuntuneista silikaattipartikkeleista. Piioksidiaerogeeli on täysin ylivertainen toisiin eristeisiin verrattuna tarkasteltaessa lämmöneristävyttä. Lisäksi se omaa parhaan äänieristeen, paloeristeen ja iskun vaimennuksen ominaisuudet. Tuotteen puristus- ja vetolujuutta saadaan parannettua entisestään lisäämällä tuotteeseen sopiva määrä polymeerejä. Näin tuotettua x-aerogeeliä voidaankin käyttää jopa korkeiden kerrostalojen kantavina rakenteina. (35.)

X-aerogeeli sopisi erinomaisesti myös solidieristeeksi sen ominaisuuksien vuoksi, eikä muita rakennekerroksia välttämättä tarvita lainkaan. Eristyskyvystä kertoo hyvin paksuuden vertaus lasivillaan. Vain 1 cm hyvänlaatuista piioksidiaerogeeliä vastaa noin 12 cm:ä lasivillaa. Tuotteen käytön suhteen ongelmaksi nousee vielä toistaiseksi sen korkea hinta. Lähitulevaisuudessa tuotteen valmistuksen kustannukset saattavat romahtaa tuotteen valmistusta tutkittaessa ja tämä voisi muuttaa

koko maailman tavan rakentaa. Samalla ilmastonmuutosta vauhdittavat hiilidioksidipäästöt saataisiin rakentamisen osalta kuriin, kun betonia ei enää tarvittaisi. (35; 36, s.30.)

Tämänhetkisten asennusvalmiitten eristyslevyjen parhaasta eristyksestä puolestaan vastaavat tyhjiöeristeet. Lämmönjohtavuuden suunnitteluarvo voi saavuttaa jopa huikean 0,007 W/Km:n arvon. Erityisen erinomainen eristävyys pohjautuu mikrohuokoiseen ytimeen, joka on koteloitu kaasutiiviseen ulkokuoreen. Tyhjiö on huomattavasti parempi eriste kuin mikään kaasua. (37.)

4 SOLIDIRAKENNUSMASSAN VALINTA MALLIRAKENNUKSEEN JA TOIMIVUUSTARKASTELU

Opinnäytetyössä tarkasteltiin ja simuloitiin solidirakennusmassan mahdollisia eri hyötyjä verrattuna perinteiseen rakenteeseen. Massaksi valittiin ensin käyttöön soveltuva materiaali, jonka tuli täyttää tarvittavat tekniset vaatimukset ja soveltua tarkoituksen mukaiseen käyttöön.

4.1 Solidieristeen valitseminen mallirakennukseen

Tarkasteltavaksi solidieristeeksi valittiin teknisten ominaisuuksien vuoksi PIR-eristemassa. Eristemassan erinomaisuuksia on sen käytettävyys kaikissa rakenneosissa, erityisen alhainen lämmönjohtavuus ja materiaalin ilmatiiveys. Materiaali on lisäksi pilaantumaton ja kestää rajujakin olosuhteita. Kyseinen materiaali on myös erinomaisesti muokattavissa ja mahdollistaa suoraan yhteiseksi elementiksi valmistamisen, joten se soveltuukin kaikkiin ulkovaipan osiin. Materiaalin heikkouksia on kantavuus- ja jäykistysominaisuuksien puuttuminen, joten massa tarvitsee jonkin rungon ympärilleen. Materiaali kuitenkin mahdollistaa rungon lisäämisen kokonaan ulkopuolelle, eli massa kantaa itse itsensä eikä tarvitse toimiakseen toisia rakennekerroksia. (30, s.101-102; 31.)

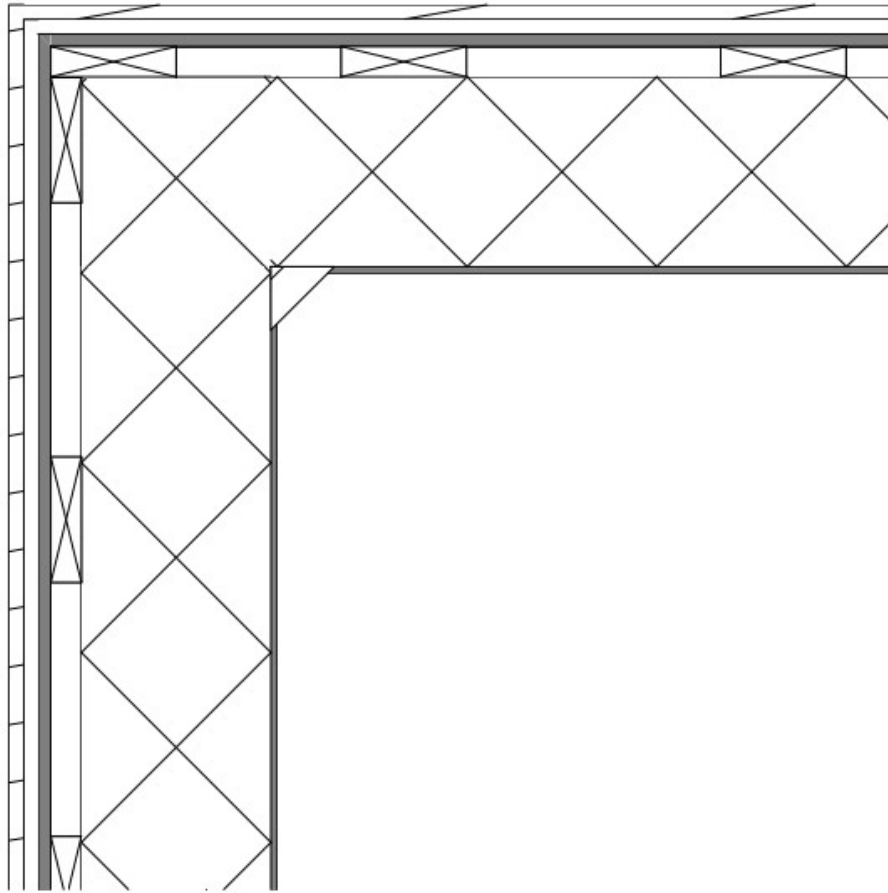
Tutkittavassa mallirakenteessa ulkovaippa on kauttaaltaan toteutettu 300 mm paksulla eristekerroksella ja PIR-eristeellä toteutettuna rakenteen U-arvoksi tulee liitteen 2 mukaan $0,072 \text{ W}/(\text{Km}^2)$ (38). Tämä lukema alittaa kaikki ulkovaipalle määritetyt taulukon 2 mukaiset vaatimukset kirkaasti, kuitenkin aiheuttamatta rakenteiden liiallista paksuuntumista.

TAULUKKO 2. Rakenteiden U-arvojen määräykset ulkovaipalle 2010 (1)

Rakenne	Vaatus
Seinä	0,17 W/m ² K
Hirsiseinä (hirsirakenteen keskimääräinen paksuus vähintään 180 mm)	0,40 W/m ² K
Yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09 W/m ² K
Ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17 W/m ² K
Maatavasten oleva rakennusosa	0,16 W/m ² K
Ikkunat ja ovet	1,0 W/m ² K

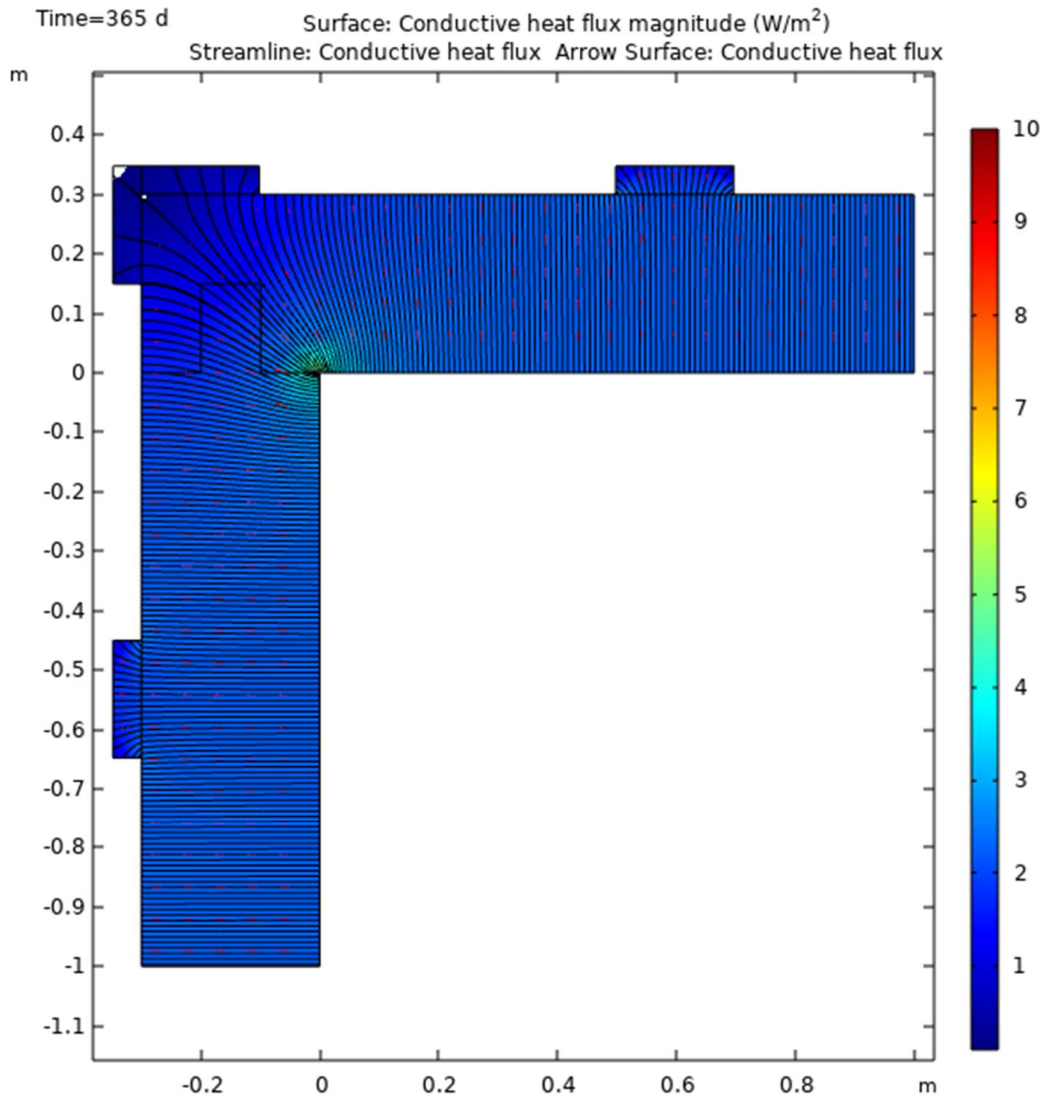
4.2 Rakenteellinen toimivuustarkastelu

Rakenteellista toimivuutta tarkasteltaessa todettiin valitun rakenteen toimivan huomattavasti paremmin kuin nykyaikaisten rakennusten vastaavat. Tarkasteltavassa rakenteessa lisättiin kantava puurunko solidieristekerroksen ulkopuolelle (kuva 7).



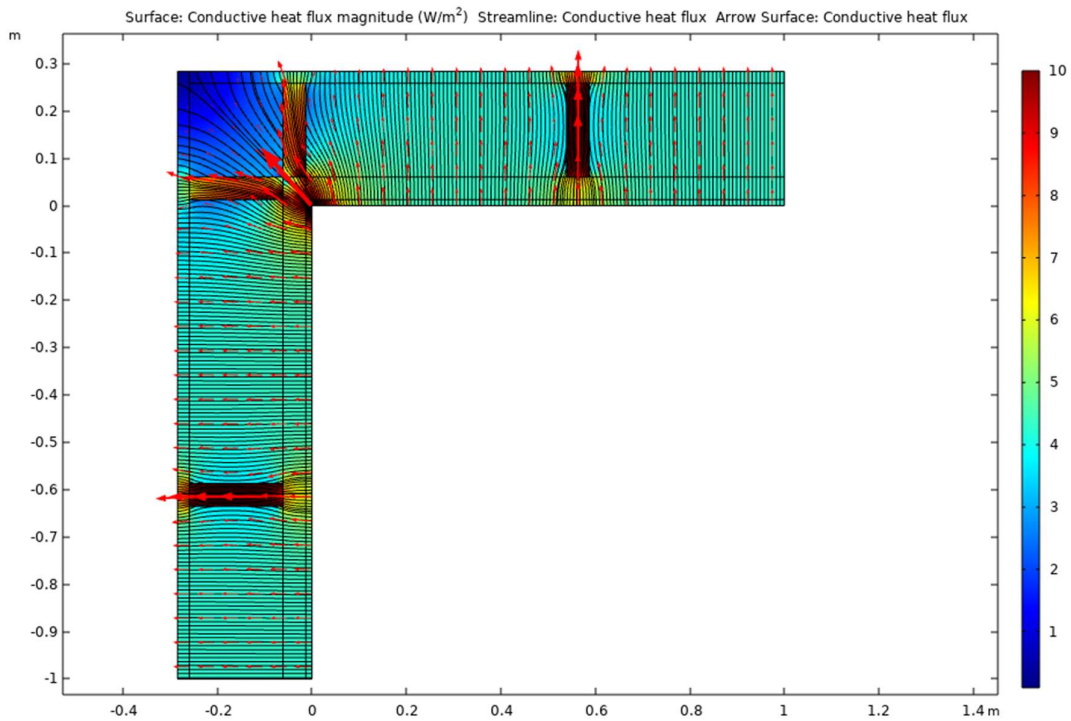
KUVA 7. Kantava runko solidieristekerroksen ulkopuolella

Rungon ulkopintaan voidaan lisätä jäykistävä levykerros ja haluttu ulkovuorausmateriaali, eivätkä ne juurikaan vaikuta eristekerroksen toimivuuteen hyvin tuulettuvan ilma-avaruuden ansiosta. Rakenteessa ei itsessään ole juuri minkäänlaisia kylmäsiltoja, mikä näkyy hyvin kuvassa 8.



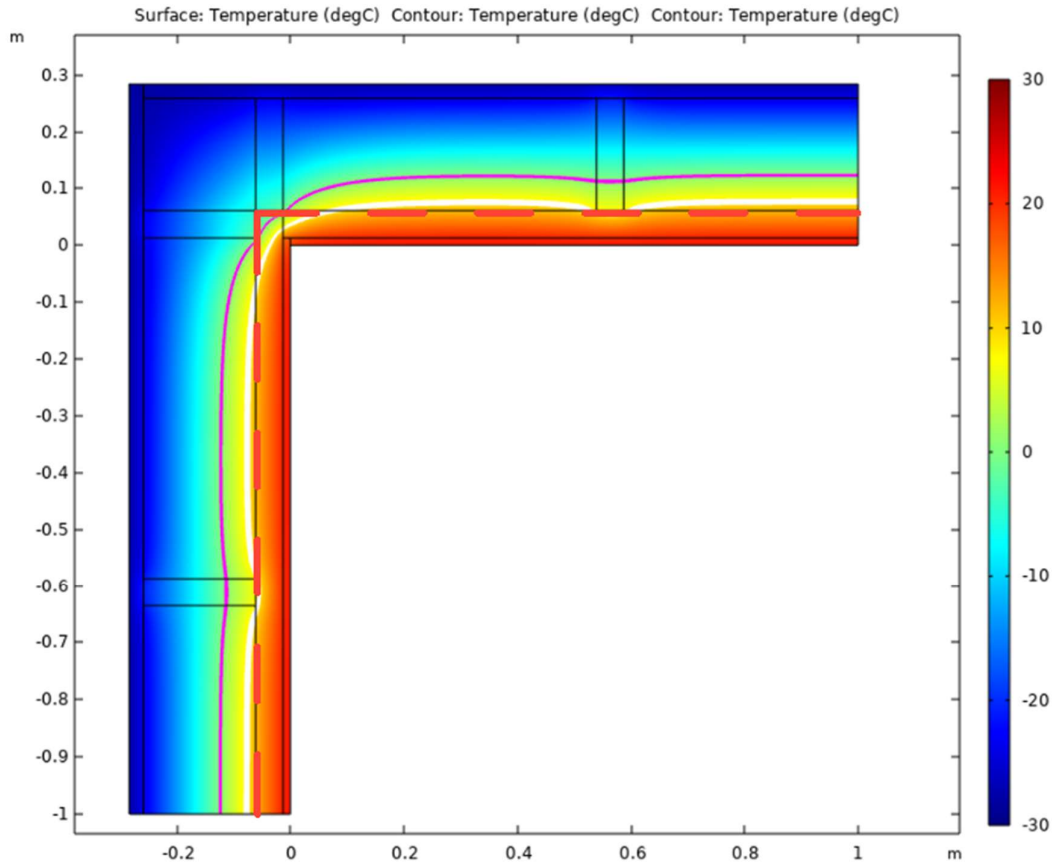
KUVA 8. Valitun solidieristemassan kylmäsiltojen nurkkaliitoksessa

Ero kylmäsiltojen osalta korostui, kun kuvaa 8 verrattiin kuvan 9 kanssa, jossa on tutkittu vastaavanlaisen seinäliitoksen puurunkoisen vaihtoehdon toimivuutta. Rakenteellisen toimivuuden kannalta valittu solidieristemassa oli huomattavasti parempi vaihtoehto.



KUVA 9. Perinteisen ulkoseinän puurungon aiheuttamat kylmäsillat rakenteissa

Kuvassa 10 tarkasteltiin lämpötiloja perinteisessä puurunkorakenteisessa seinässä ulkona ollessa $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Kuvassa 10 esitetyt viivat ovat violetti nollan asteen raja ja valkoinen kymmenen asteen raja. Kymmenen asteen rajaa pidetään yleisesti homevaarallisena rajana höyrynsulkumuovin sisäpuolella. Höyrynsulkukerros on esitetty punaisella katkoviivalla. Rakenteessa todettiin piilevän erityinen vaara kosteuden tiivistymiselle höyrynsulkukerroksen sisäpinnalle varsinkin sisänurkkien osalta, jossa lämpötila laskee pahimmillaan jopa pakkasen puolelle.

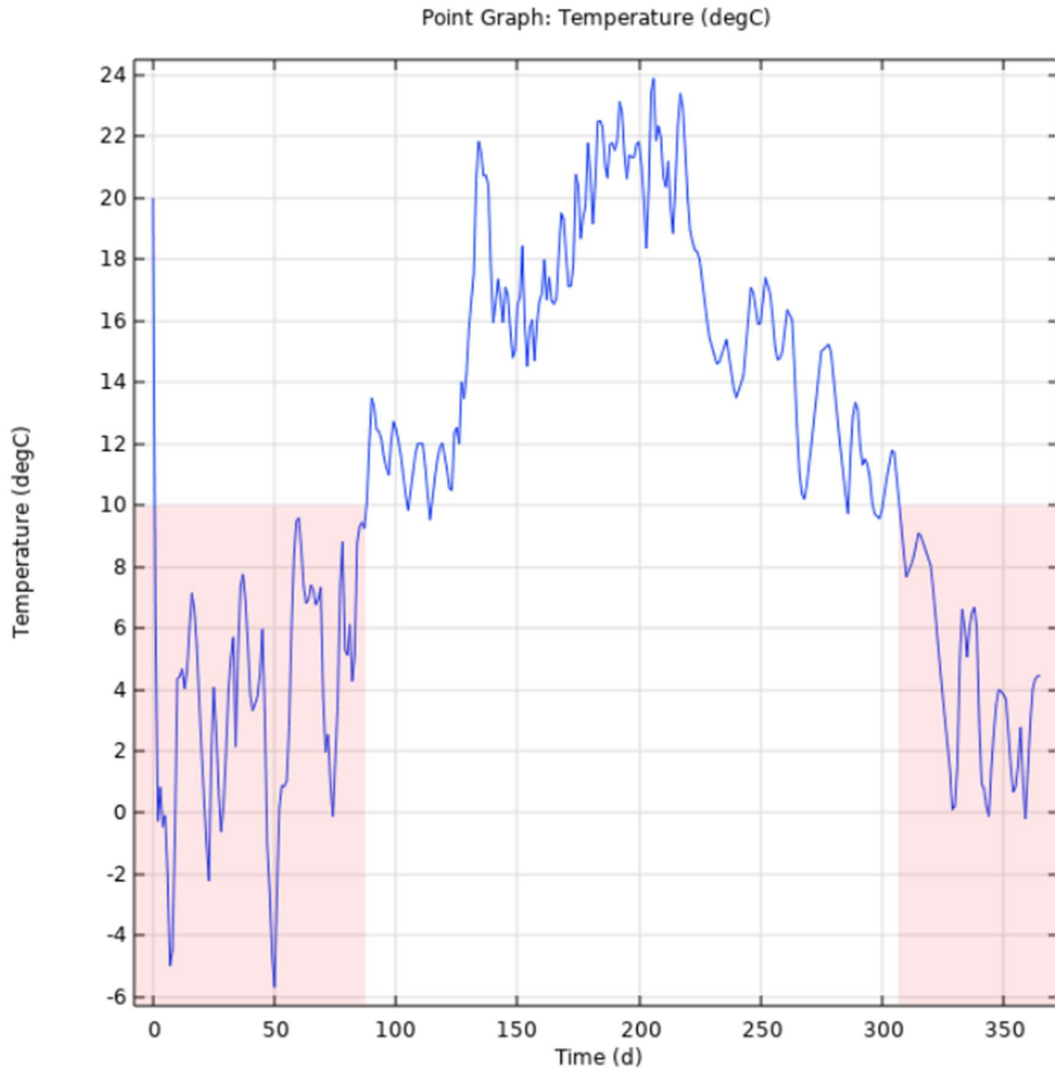


KUVA 10. Perinteisen rakenteen lämpötilat ulkoilman ollessa -25 °C

Hengitysliiton mukaan talvella terveellinen sisäilman suhteellisen kosteuden tulisi olla välillä 20 – 40 % (39). Sisäilman ollessa +22 °C tämä tarkoittaisi liitteen 3 mukaan laskettuna absoluuttisen kosteuden määräksi 3,88 – 7,76 g/m³. Tällöin sisäilman kosteuden tiivistymispiste olisi välillä -4 – +7 °C. Tuolla lämpötila-alueella on siis odotettavissa jopa ihan näkyvää pinnalle tiivistynyttä kosteutta. Puun homehtumiseen tarvittava suhteellinen kosteus 80 % tulee liitteen 3 mukaan laskettuna täyteen jo +5 – +10 °C:n lämpötilassa.

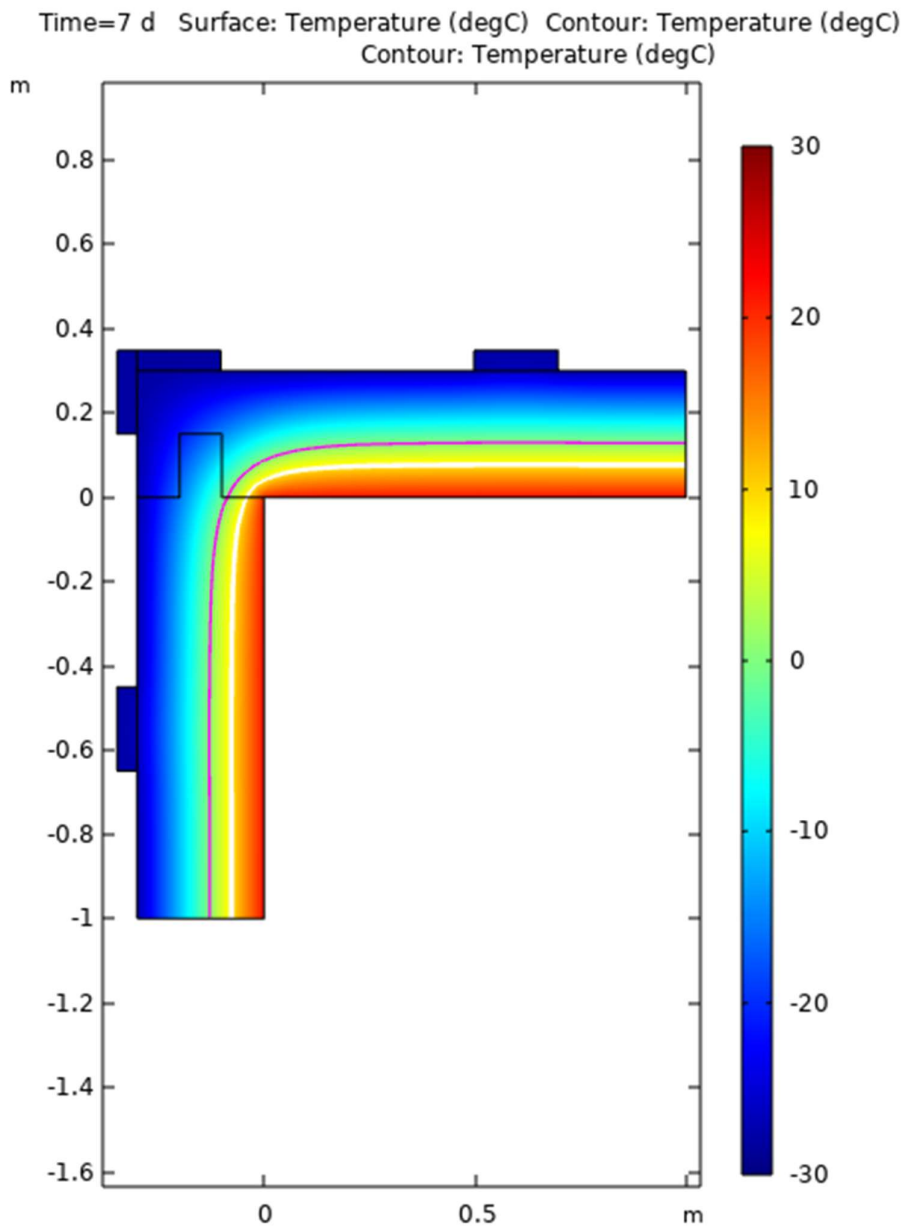
Kun tarkasteltiin rungon ja lisäkoolauksen rajapinnan lämpötilaa sisänurkassa höyrynsulun sisäpinnalla tarkasteluvuoden ajalta todettiin, että tarkastelukohta oli yhtäjaksoisesti alle kymmenen astetta noin 150 vuorokauden ajan (kuva 11). Tarkasteluvuonna käytettiin Oulun alueen säädataa vuodelta 2010. Lämpötila kyseisessä rakenteen kohdassa oli huomattavan pitkiä aikoja alle 10 °C, joten perinteisessä puurunkorakenteessa voidaan pitää jopa todennäköisenä kyseisessä kohdassa

ilmeneviä homevaurioita pitkällä aikavälillä viitaten aiempiin laskelmiin lämpötiloista, joissa suhteellinen kosteus ylittää 80 %. Tilannetta kuitenkin hieman helpottaa homeen kasvun taantuma, kun lämpötila menee pakkasen puolelle.



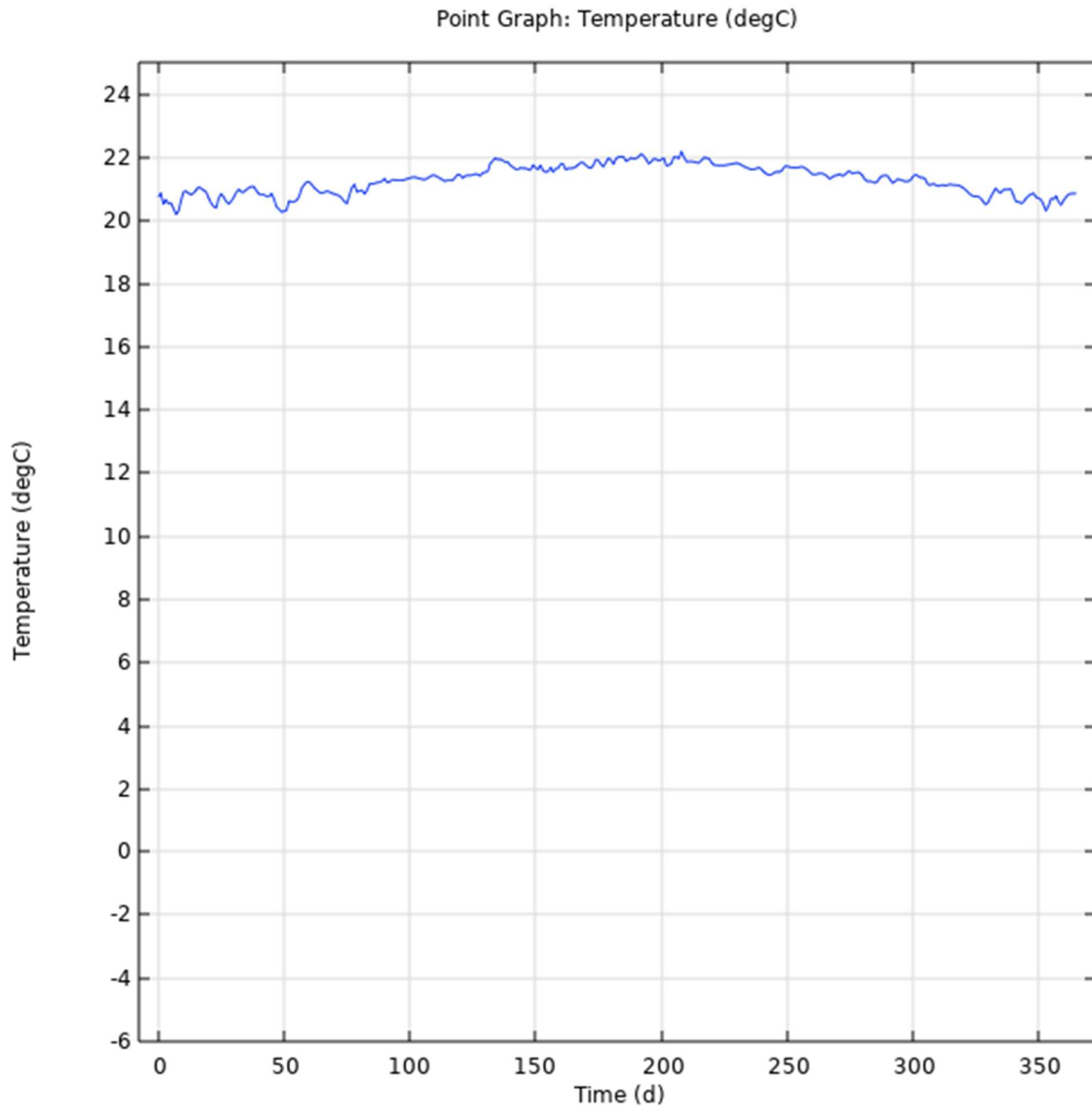
KUVA 11. Rungon ja lisäkoolauksen rajapinnan lämpötila tarkasteluvuonna 2010 perinteisessä rakenteessa

Uutta valittua solidieristeellä toteutettua rakennetta simuloitiin myös lämpötilojen osalta. Tuloksista todettiin solidirakenteen toimivan myös huomattavasti paremmin kuin perinteisen rakenteen tarkasteltaessa lämpötiloja (kuva 12). Tilanne vain paranee, kun rakennusmassa on kokonaan ilma- ja höyrytiivis. Paljon kosteutta sisältävä sisäilma ei pääse lämmintä sisäpintaa pidemmälle ja ei täten pääse tiivistymään ja aiheuttamaan mahdollisia home- ja kosteusvaurioita rakenteissa. Eli käytännössä kuvassa 10 (sivulla 29) näkyvä punainen katkoviivoilla esitetty höyrynsulku kulkee tässä rakenteessa ihan rakenteen sisäpinnassa ja kaukana molemmista lämpörajoista, eikä suhteellinen kosteus pääse nousemaan sisäilmaa korkeammaksi höyryä sulkevassa sisäpinnassa.



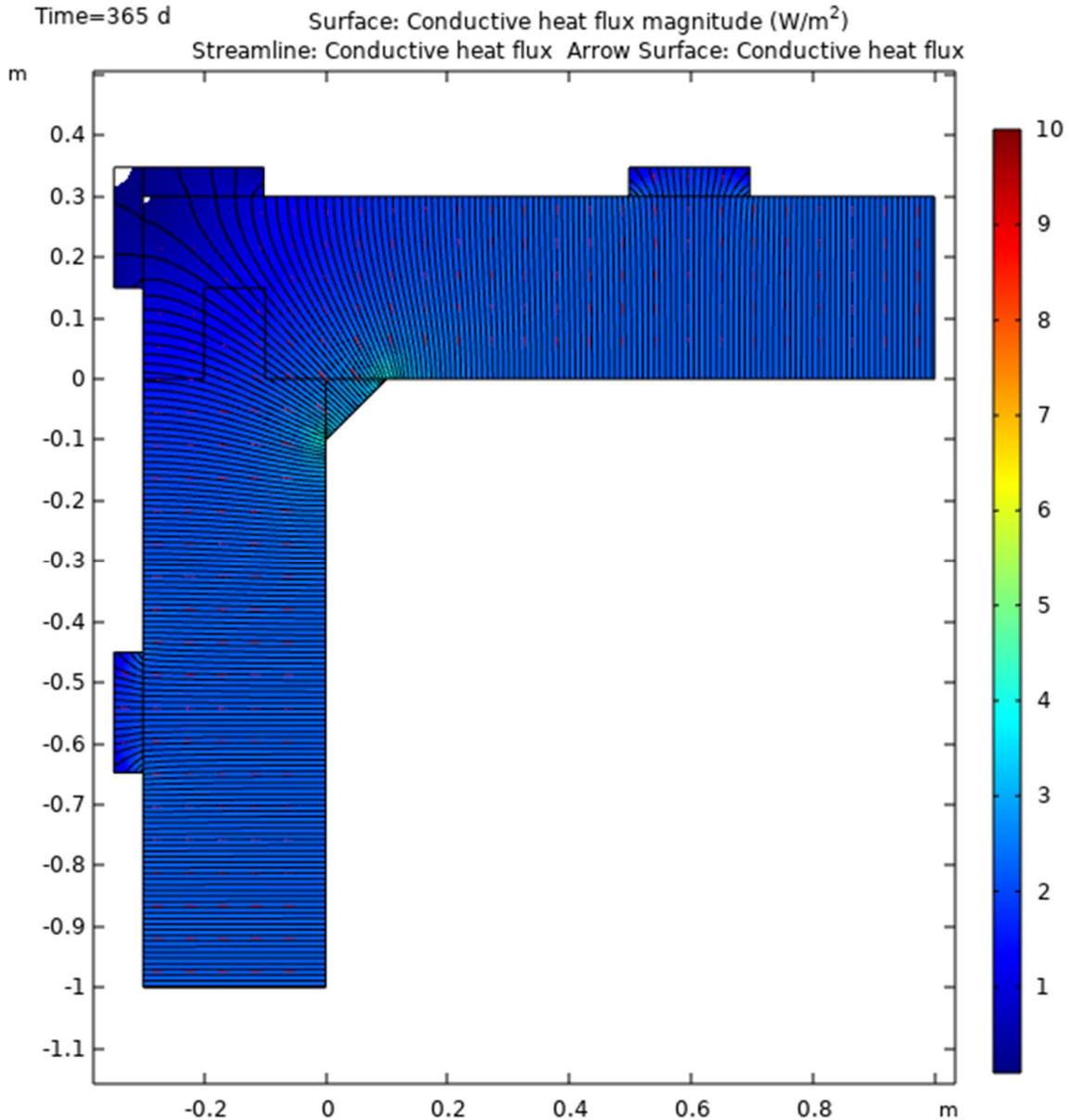
KUVA 12. Valitun solidieristemassan lämpötilat ulkona ollessa -25 °C

Kuva 13 on verrattavissa kuvan 11 kanssa suoraan. Kun tarkasteltiin kuvaa 13, todettiin tutkittavan uuden rakenteen olevan todella ylivertainen vanhaan perinteiseen rakenteeseen verrattuna. Lämpötila kylmimmässä mahdollisessa kohdassa höyryä sulkevaa pintaa rakennuksen ulkonurkassa ei pääse lähellekään 10 asteen rajaa koko tutkittavan vuoden aikana.



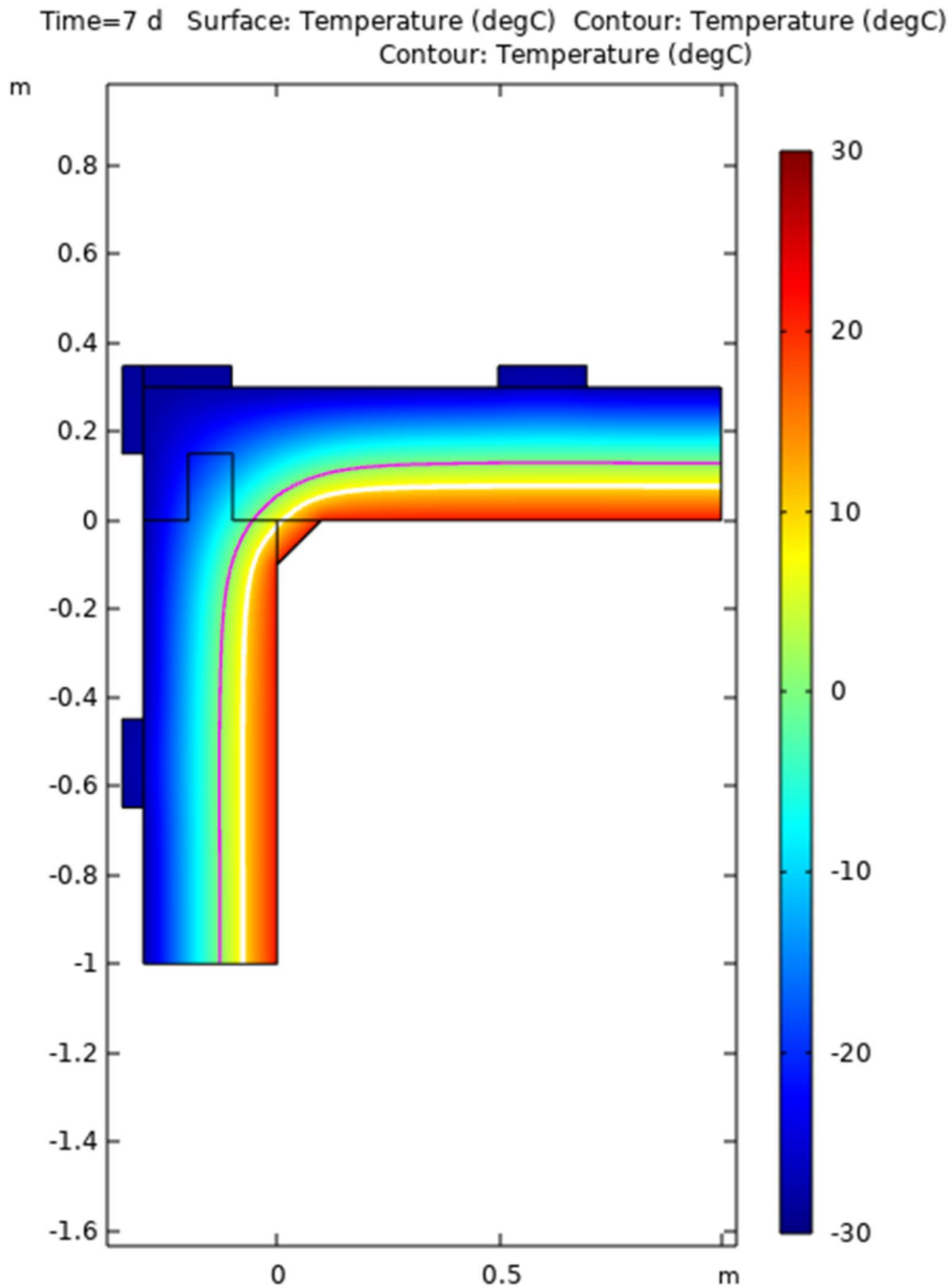
KUVA 13. Sisänurkan lämpötila höyryä sulkevan kerroksen pinnalta uudessa rakenteessa tarkasteluvuonna

Seuraavaksi tutkittiin, voitaisiinko jo valmiiksi erinomaista tilannetta parantaa vielä entisestään. Tutkimuksessa todettiin, että liitosta voidaan parantaa vieläkin paremmaksi asentamalla kuvan 14 mukainen liitoksen tiivistyskolmio, joka on samaa materiaalia kuin eristekerros. Tiivistyskolmiolla saatiin parannettua kuvaajaa entisestään sekä varmistettua nurkkaliitosten tiiveys. Tiivistyskolmion todettiin myös todennäköisesti tukevan elementin liitoskohtaa, vaikka elementteihin kohdistuisikin pientä liikettä tai värinää.



KUVA 14. Nurkassa oleva lisäpala parantaa liitoskohdan toimivuutta entisestään

Myös lämpötilat todettiin paranevan rakenteessa entisestään hieman tiivistyspalan myötä, mikä on nähtävissä kuvassa 15. Valkoinen 10 asteen raja on entistäkin kauempana höyryä sulkevasta pinnasta.



KUVA 15. Nurkassa oleva lisäpala parantaa liitoskohdan lämpökäyriä

5 MALLIRAKENNUKSEN SUUNNITTELU, TARKASTELU JA PERIAATTEET

Opinnäytetyössä toisessa vaiheessa suunniteltiin mallirakennus, joka käyttäisi luvussa neljä tutkittuja solidieristeitä. Mallirakennusta laadittaessa pääperiaatteet olivat selvät. Mallirakennuksen tulisi poistaa mahdollisimman monta nykyaikaisen rakentamisen ongelmista. Pääpaino suunnittelussa oli puhtaalla ja terveellä sisäilmalla, jonka saavuttamiseksi rakenteiden tulee olla päästöttömiä ja homeettomia. Mallirakennuksen suunnittelua myös ohjasi mahdollisuus rakennuksen valmistamiseen kokonaisista elementeistä. Ympäristön kuormitus ja ilmastonmuutoksen aiheuttamat haasteet on myös otettu huomioon suunnitelmissa. Mallirakennus on myös täysin betoniton. Mallirakennus on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 16.

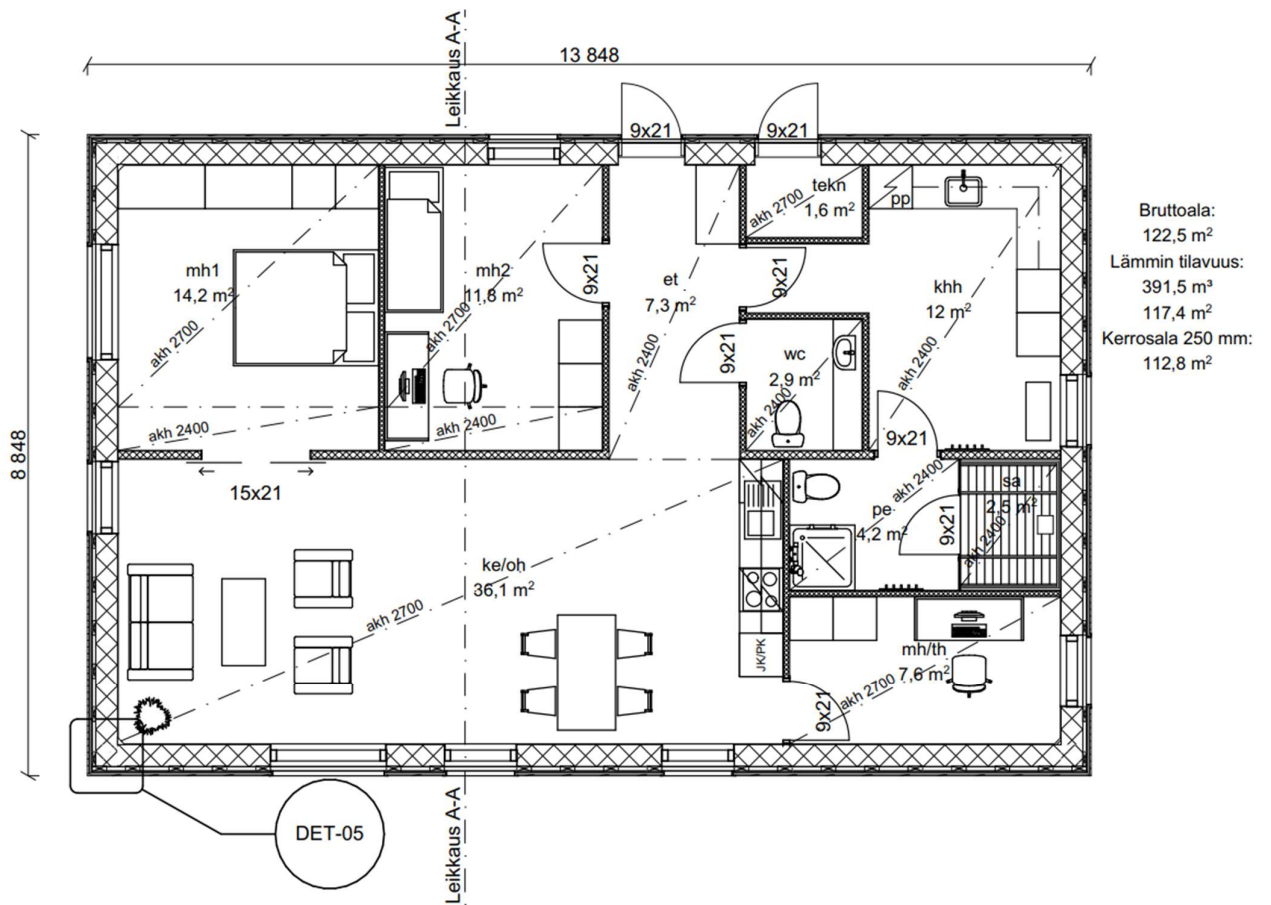


KUVA 16. Mallirakennus kokonaisuudessaan

Mallirakennuksen vertailua ajatellen pyrittiin mallirakennus pitämään mahdollisimman yksinkertaisena muodoiltaan. Kaikki ulkovaipan osat tehtiin samalla solidieristemassalla ja kantava runko tuli

kaikissa rakenneosissa solidieristekerroksen ulkopuolelle. Kantavana runkona tässä mallirakennuksessa käytettiin puuta, mutta siihen tehtävään on paljon muitakin soveltuvia materiaaleja. Puu valikoitui ekologisuutensa vuoksi.

Mallirakennuksen muoto suunniteltiin varsin yksinkertaiseksi (kuva 17). Rakennus suunniteltiin täyttämään pienen perheen tarpeet tilamitoitukseltaan. Mallirakennus toteutettiin solidieristemasalla ja ulkopuolisella kantavalla rungolla. Ulkoseinissä, yläpohjassa ja alapohjassa on sama solidieriste ja eristevahvuus. Pohjapiirustus on myös nähtävillä isompana kuvana liitteessä (liite 4).



KUVA 17. Mallirakennuksen pohjapiirustus ja pinta-alat

5.1 Rakenteet, rakenneliitokset ja niiden toimivuus

Rakenteet suunniteltiin siten, että solidieristemassaa ei tarvitse puhkaista tai rikkoa rakennuksen kantavan rungon vuoksi. Eristekerroksen sisään ei haluttu mitään materiaalia, joka voisi lahota tai kerätä kosteutta. Runko suunniteltiin siis solidieristeestä valmistettujen elementtien ulkopuolelle ja rakennuksen jäykistys hoidettiin rungon ulkopuolelle tulevilla rakennuslevyillä. Jäykistävien levyjen materiaalin todettiin vaihtelevan julkisivumateriaalin mukaan, kuitenkin niin, että sen on kestävä ulkoilman kosteusrasitus. Jäykistävällä levyllä ei juurikaan ole lämmön siirtymisen kannalta merkitystä hyvin tuulettuvien ilmarakojen vuoksi.

Kantava runko suunniteltiin puusta sen ekologisuuden vuoksi, mutta se on myös mahdollista toteuttaa muistakin ulkoilmaa kestävästä kuormia kantavista materiaaleista. Rungon suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa todettiin, että alapohja tarvitsee paljon tukea, jotta elementtien liitoskohtiin ei tule liikaa räsitusta. Alapohja päätettiin nostaa ilmaan maasta maaperän tuottaman kosteuskuorman vuoksi. Lisäksi hyvin tuulettuva tila maan ja alapohjan välissä poistaa kokonaan radonin aiheuttamat ongelmat. Myös ilmastoa rasittavilta betoniperustoilta vältyttiin. Kuvassa 18 on esitetty suunniteltu alapohjaa kantava runko.



KUVA 18. Alapohjan kantava runko

Seuraavaksi työssä perehdyttiin suunnittelemaan kantava runko seiniin, joka myös sekä jäykistää rakennuksen että tuo lumikuormat katolta maahan vieville pilareille asti. Koska solidieristekerros haluttiin pitää yhtenäisenä solidimassana, tuli kantava runko sijoittaa eristekerroksen ulkopuolelle. Kantavassa rungossa käytetty puun määrä mitoitettiin mallirakennuksessa perinteistä rakentamista vastaavaksi, mutta tarvitsee erillistä mitoitusta jos, rakennus rakennettaisiin oikeasti.

Runkopuuna seinissä käytettiin 48 x 248 mm:n mitallistettua havupuuta 600 mm:n jaolla. Runkopuut päätettiin sijoittaa lappeelleen rakennuksen eristekerrosta vasten tilan säästämisen vuoksi. Kuvassa 19 on nähtävissä seinien runkopuut lisätynä alapohjan runkoon. Ikkunat ja ovet suunniteltiin kiinnitettäväksi ensisijaisesti solidieristemassaan, joten niiden kohdalta on runkopuu jätetty pois.



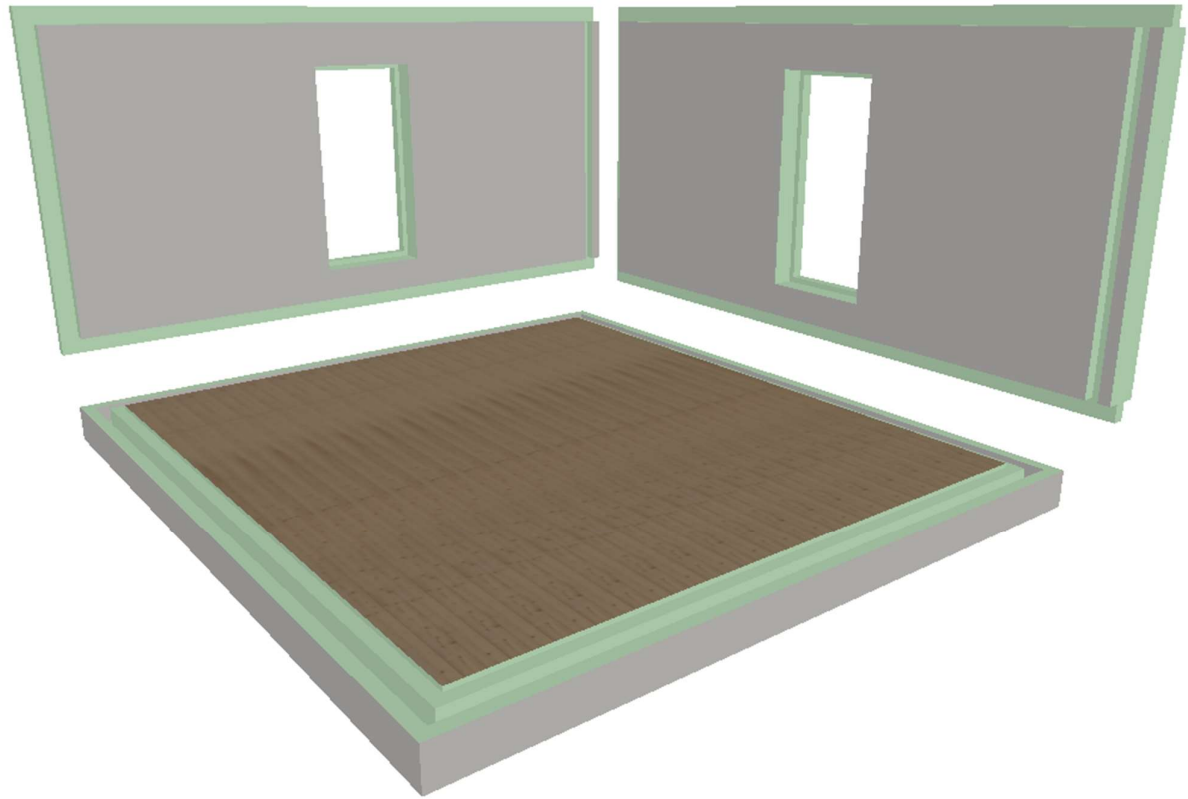
KUVA 19. Alapohjan kantavaan runkoon lisätty seinien ulkopuolinen runko

Katon osalta todettiin, että nykyiset perinteiset vesikattorakenteet ja kattoristikot sopivat rakentamiseen erinomaisesti. Erotuksena tässä on se, että yläpohjan eristekerros tulee kattoristikoiden ja rakenteiden alapuolelle eikä rakenteiden sisään, kuten perinteisessä rakentamisessa. Kuvassa 20 on nähtävissä koko ulkoinen puurunko kokonaisuudessaan.



KUVA 20. Ulkoinen runko kokonaisuudessaan

Solidieristemassa puolestaan todettiin olevan järkevää toteuttaa tehtaalla valmistetuista elementeistä. Elementteihin saataisiin tuotettua hyvät ja pitävät liitoskohdat muokkaamalla elementin profiilia siihen tarkoitukseen sopivaksi kuvan 21 mukaisesti. Kaikki elementit toteutettiin samalla eristevahvuudella, joka jo aiemmin todettiin varsin toimivaksi. Elementteihin voi myös laittaa tehtaalla jo valmiiksi pinnoitukset, joilla voi parantaa esimerkiksi elementin palo-ominaisuuksia ja tarvittaessa myös lopullisen sisäpuolen pinnan. Tämän todettiin myös säästävän todella paljon aikaa rakennustyömaalla, kun sisäpinnat ovat lähes valmiit jo toimitusvaiheessa. Ikkuna- ja oviaukot ovat myös tehty jo valmiiksi elementteihin.



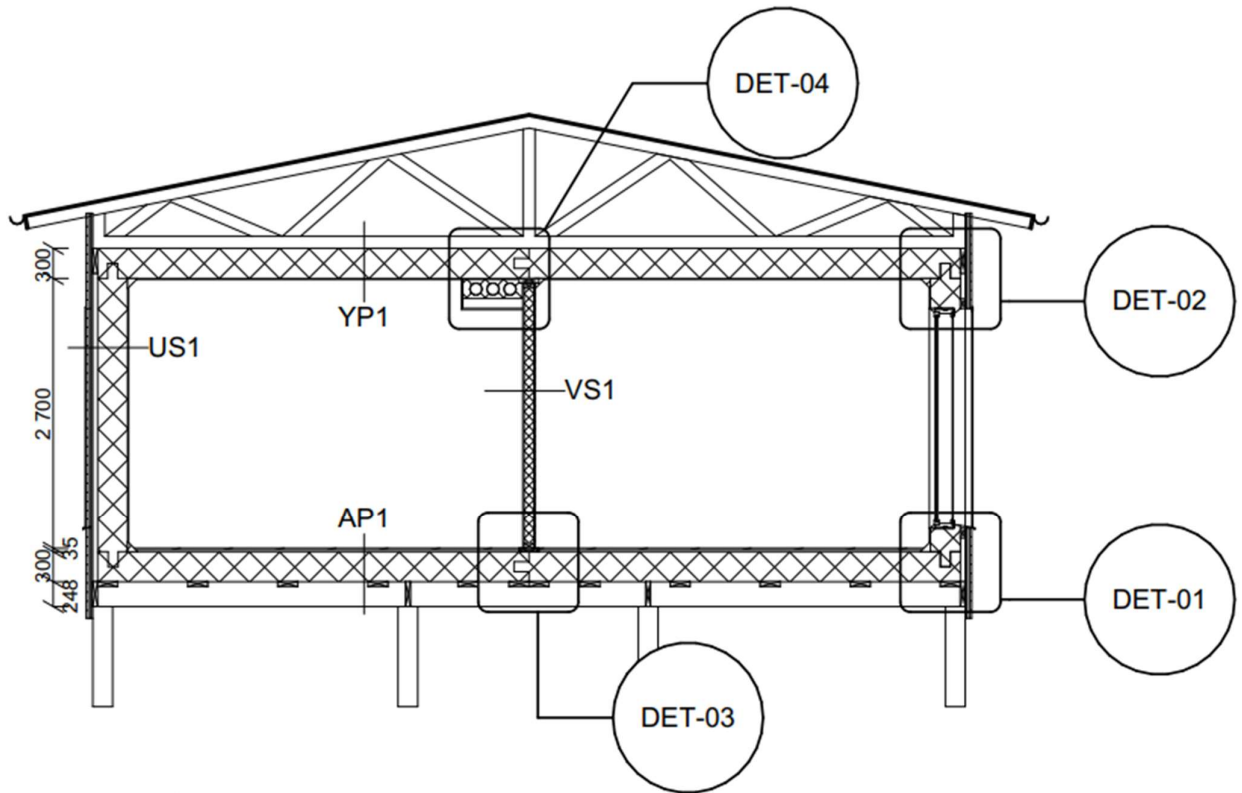
KUVA 21. Solidieristemassasta valmistetut elementit

Asennusjärjestyksen todettiin menevän järkevimmin niin, että ensin pystytetään kantava runko alapohjalle ja seinille, minkä jälkeen asennetaan rungon sisään solidieriste-elementit. Elementtien asennuksen jälkeen nostetaan kattoristikot ja mahdollisesti myös muut kattotarvikkeet samalla kertaa kantavan rungon päälle ja kiinnitetään kantavaan runkoon. Rungosta muodostuu elementtejä tukeva kehä elementtien ympärille. Elementit lukittuvat tukevasti omille paikoilleen saumavaahdon ja kehän ansioista. Kuvassa 22 on nähtävillä solidieriste-elementit ulkoisen kantavan rungon sisällä.



KUVA 22. Solidieristeestä valmistetut elementit ulkopuolisen rungon sisällä

Rakenteita tarkemmin tarkasteltaessa todettiin, että alapohja- ja yläpohjaelementti saattavat tarvita liitoskohdan ja kantavan seinän väliin suuren kokonsa vuoksi. Kuvassa 23 on esitetty periaateleikkaus mallirakennuksesta, jossa myös kyseinen elementtien jatkosauma on esitetty. Leikkauksessa näkyvät käytetyt rakenteet lueteltuina piirustuksen alapuolella. Leikkauksessa näkyy myös tarkempien detaljipiirustusten 01 – 04 kohdat. Detaljipiirustuksissa on esitetty rakennuksen kannalta kriittiset kohdat ja niiden periaatteet.



US1

Rakenteet ulkoa sisällepäin:

23 mm	Ulkoverhouslauta
22 mm	Tuuletusrako, rimoitus
	kantavan rungon mukaan
20 mm	Jäykistävä rakennuslevy
48 mm	Kantava runko, 48 x 198 k600,
	mitallistettu havupuu
300 mm	PIR-elementti
5 - 20 mm	Sisäpuolen käsittely ja
	mahdollinen palosuoja

AP1

Rakenteet sisältä ulospäin:

15 mm	Lattiapäällyste esim. laminaatti,
	tarvittaessa askeläänieriste
20 mm	Pontattava kuormiajakava
	rakennuslevy esim. havuvaneri
300 mm	PIR-elementti
248 mm	Kantava runko, 248 x 48,
	mitallistettu havupuu

YP1

Rakenteet ulkoa sisällepäin:

	Vesikattorakenteet
300 mm	PIR-elementti
5 - 20 mm	Sisäpuolen käsittely ja
	mahdollinen palosuoja

VS1

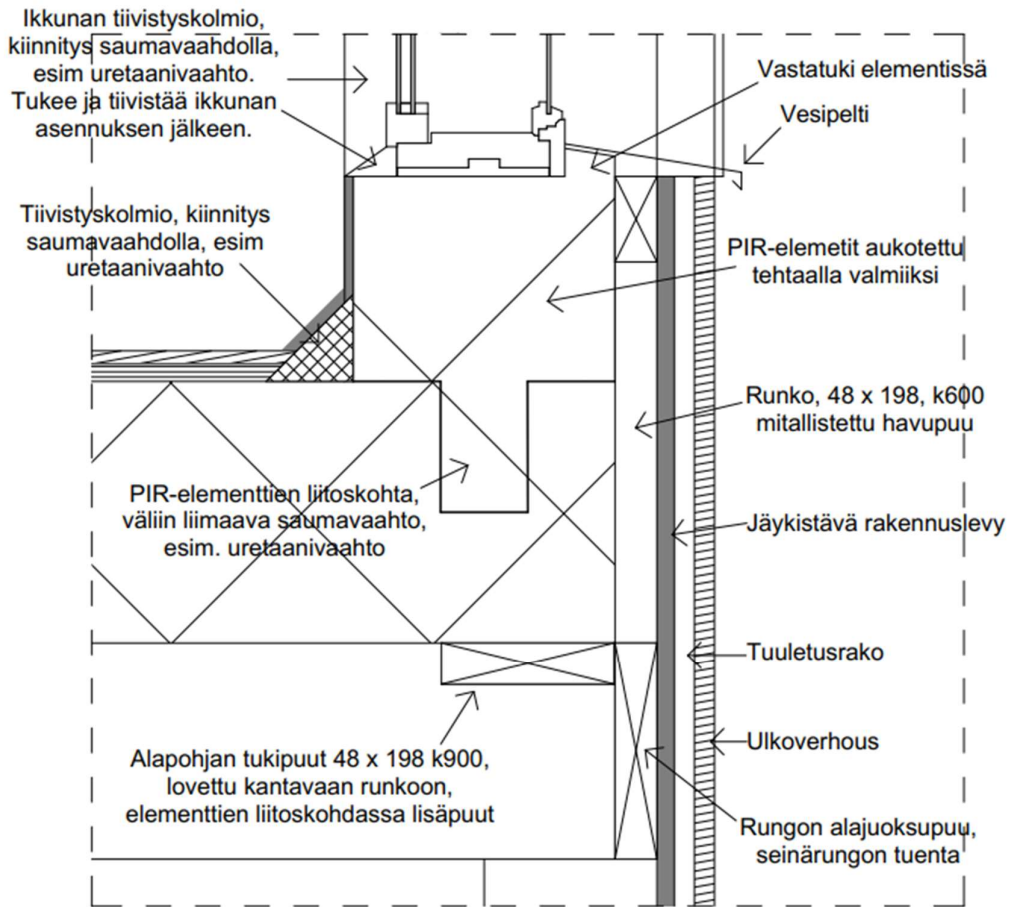
Rakenteet vasemmalta oikealle:

13 mm	Rakennuslevy esim. kipsilevy
98 mm	Kantava runko, 48 x 98,
	rungon väleihin äänieriste
	esim. PIR-levy
13 mm	Rakennuslevy esim. kipsilevy
	Pintakäsittelyt huoneselosteen
	mukaan

KUVA 23. Rakenneleikkaus A-A

Detaljipiirustus 01 esittää alapohjan ja ulkoseinän liitiskohtaa (kuva 24). Solidieristemassasta toteutettujen PIR-elementtien liitiskohta tulee tiivistää liimaavalla saumavaahdolla rakenteen oikean toiminnan varmistamiseksi. Tiivistyskolmio on esitetty asennettavaksi elementtien liitiskohtaan

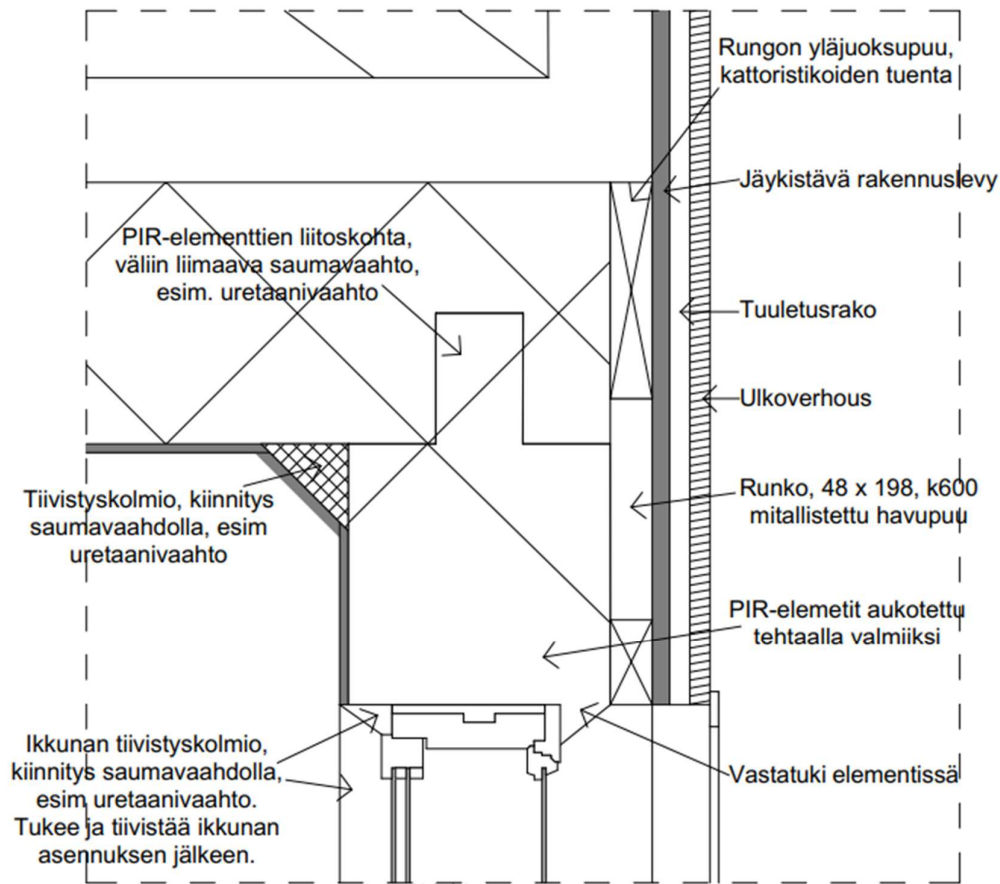
tiiveyden ja liitoskohdan kestävyuden parantamiseksi. Alapohjan kantavat runkokuut ja niihin love-
 tut tukipuut kannattelevat alapohjaa ja siirtävät siihen kohdistuvat kuormat kantaville pilareille. Sei-
 nän kantava runko tuo kuormat suoraan alajuoksupuulle, joka puolestaan siirtää kuormat kantaville
 pilareille. Ikkunan liitos puolestaan ajateltiin toteutettavaksi elementtiin valmiiksi tehtyyn aukkoon
 jälkikäteen. Elementissä on valmiiksi ulkopuolinen vastatuki valmiina, jota vasten ikkuna asetetaan.
 Ikkunan tiiveys ja pysyvyys varmistetaan saumavaahdolla kiinnitettävillä tiivistyskolmioilla. Ele-
 menttien sisäpuolelle lisätään haluttu pinnoite. Pinnoitteen alle tulevan tasoitteen tarttuvuus var-
 mistetaan karhentamalla elementin pintaa esimerkiksi hiomapaperilla, joka parantaa tasoitteen tart-
 tuvuutta. Tasoitteeseen voi myös käyttää tukiverkkoa, joka estää halkeilua ja mahdollistaa esinei-
 den seinään kiinnittämisen paremmin.



DET-01

KUVA 24. Detaljiirustus 01 esittää alapohjan ja ulkoseinän liitosta

Detaljipiirustus 02 esittää ulkoseinän ja yläpohjan liitosta (kuva 25). Elementtien liitos tapahtuu samalla periaatteella kuin alapohjan ja ulkoseinän liitos. Jälkeenpäin paikalleen nostetut kattoristikot tuetaan ja kiinnitetään rungon yläjuoksupuuhun. Yläjuoksupuuhun siirtää katolta tulevat kuormat seinän kantavalle rungolle. Kattoristikot lukitsevat yläpohja- ja seinäelementit paikoilleen. Runkotolppien mahdollinen nurjahdus vaatii erillistä tarkastelua ja tarpeen tullen tulee tehdä toimenpiteitä sen mukaisesti, joko lisäämällä nurjahdustukia tai asettamalla runkopuut perinteisellä tavalla, mutta kuitenkin eristekerroksen ulkopuolelle.

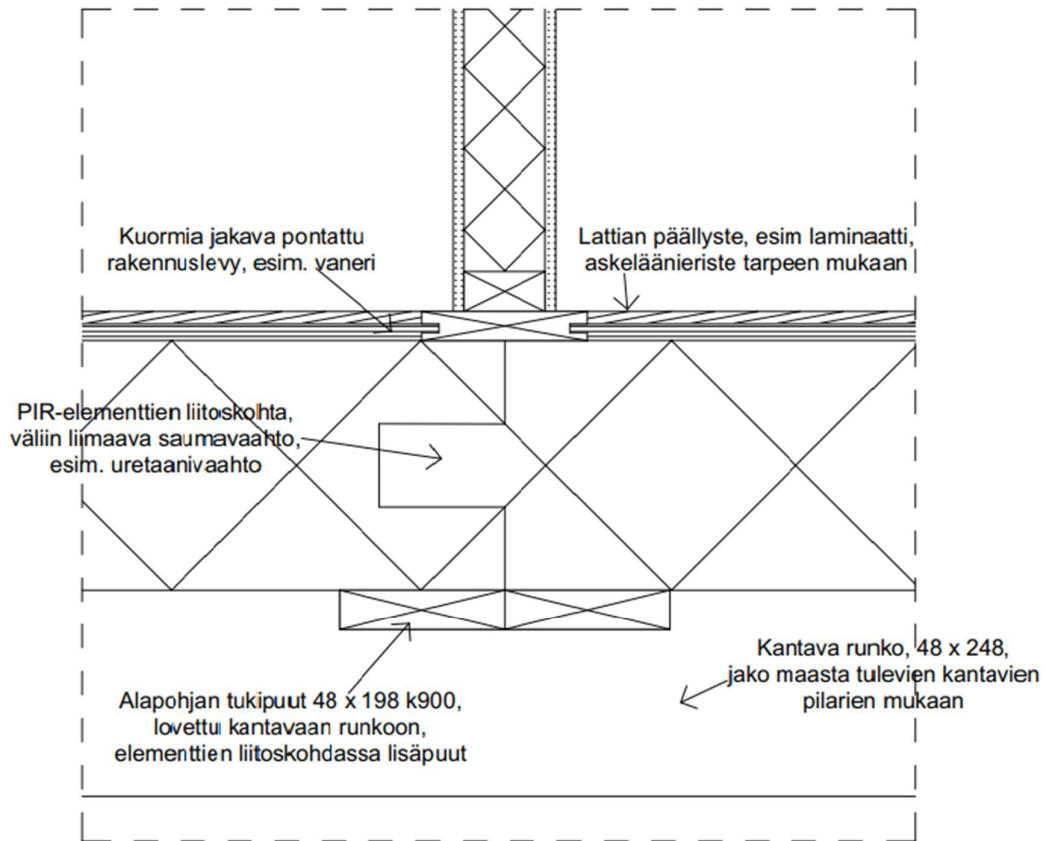


DET-02

KUVA 25. Detaljipiirustus 02 esittää yläpohjan ja ulkoseinän liitosta

Detaljipiirustus 03 esittää alapohjan jatkoliitosta (kuva 26). Suunnitelmia tehtäessä todettiin, että elementtien mahdolliset mitat tarvitsevat vielä jatkotutkimusta. Detaljipiirustuksessa on kuitenkin

periaatepiirustus, jos jatkoliitosta tarvitaan. Elementtien jatkoliitos toteutettiin samalla liitosperiaatella kuin toisetkin liitokset. Tiivistys vaatii tarkkaa saumavaahdon asettamista. Liitoskohtaan on lisätty kaksi alapohjan tukipuuta, ettei liitos pääse notkahtamaan. Yläpohjassa on liitoskohta samassa kohtaa ja kuvassa onkin esitetty kevyitä kuormia kantava väliseinä, joka liimataan ja kevyesti puristetaan seinän jokaisesta reunasta paikalleen.



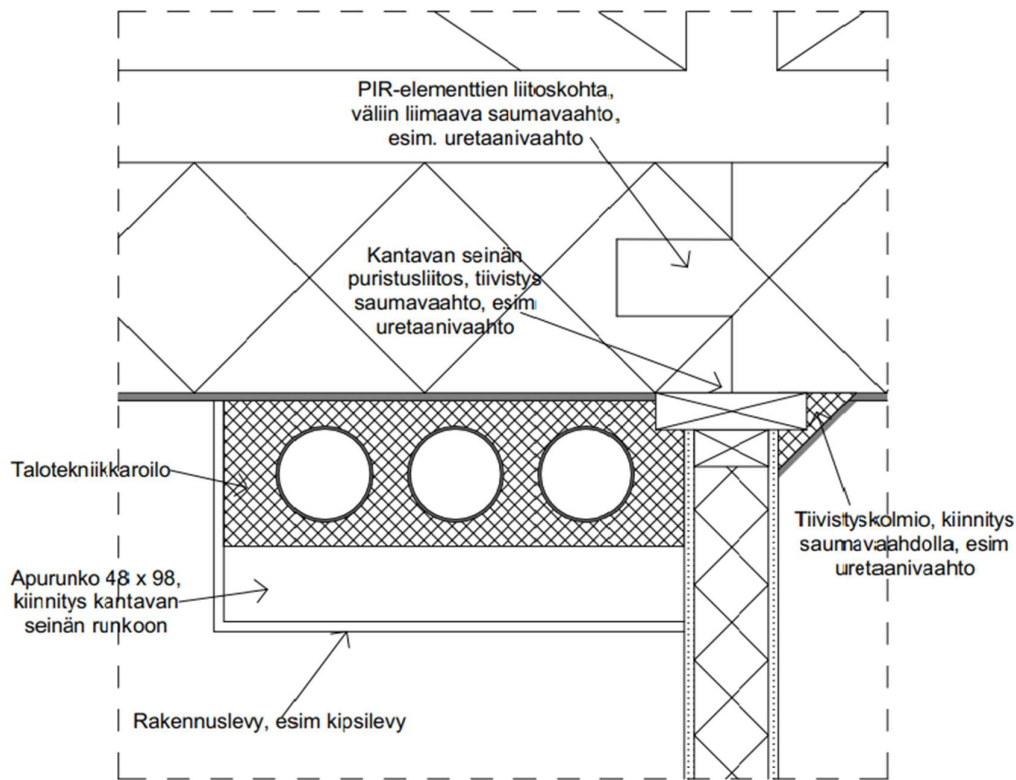
DET-03

KUVA 26. Detaljipiirustus 03 esittää alapohjan jatkoliitosta

Seinän tarkoitus on sekä tiivistää alapohjan liitosta että tukea yläpohjan liitosta. Suuria kuormia ei siis ole tarvetta kantaa. Alapohja suunniteltiin kokonaan betonittomaksi betonin huonojen puolien vuoksi. Alapohjajaelementin sisäpintaan on asennettu kuormia jakava pontattu rakennuslevy, jonka

tarkoitus on jakaa lattiaan kohdistuvia kuormia suuremmalle alueelle. Rakennuslevyn päälle asennetaan haluttu lattia ja tarvittavat lisäkerrokset. Lisätutkimuksia vaatii varsinkin betoniton ratkaisu ja se, kuinka suuria pontattujen levyjen tulee olla, jotta ne kantavat kuormat tasaisesti painumatta.

Detaljipiirustus 04 esittää yläpohjan mahdollista liitoskohtaa (kuva 27). Liitoskohtaa tukee kevyitä kuormia kantava seinä ja yläpuolelta tuki tulee kattoristikosta. Liitoskohta jää niin sanotusti pieneen puristukseen väliin, mikä parantaa liitoskohdan tiiveyttä ja kestävyyttä. Tekniikkaroilot suunniteltiin kulkemaan kantavan seinän vierellä. Talotekniikka eristetään ja liimataan mahdollisuuksien mukaan yläpohjaan. Lisätukea voidaan ottaa kantavasta seinästä detaljipiirustuksen mukaisesti.

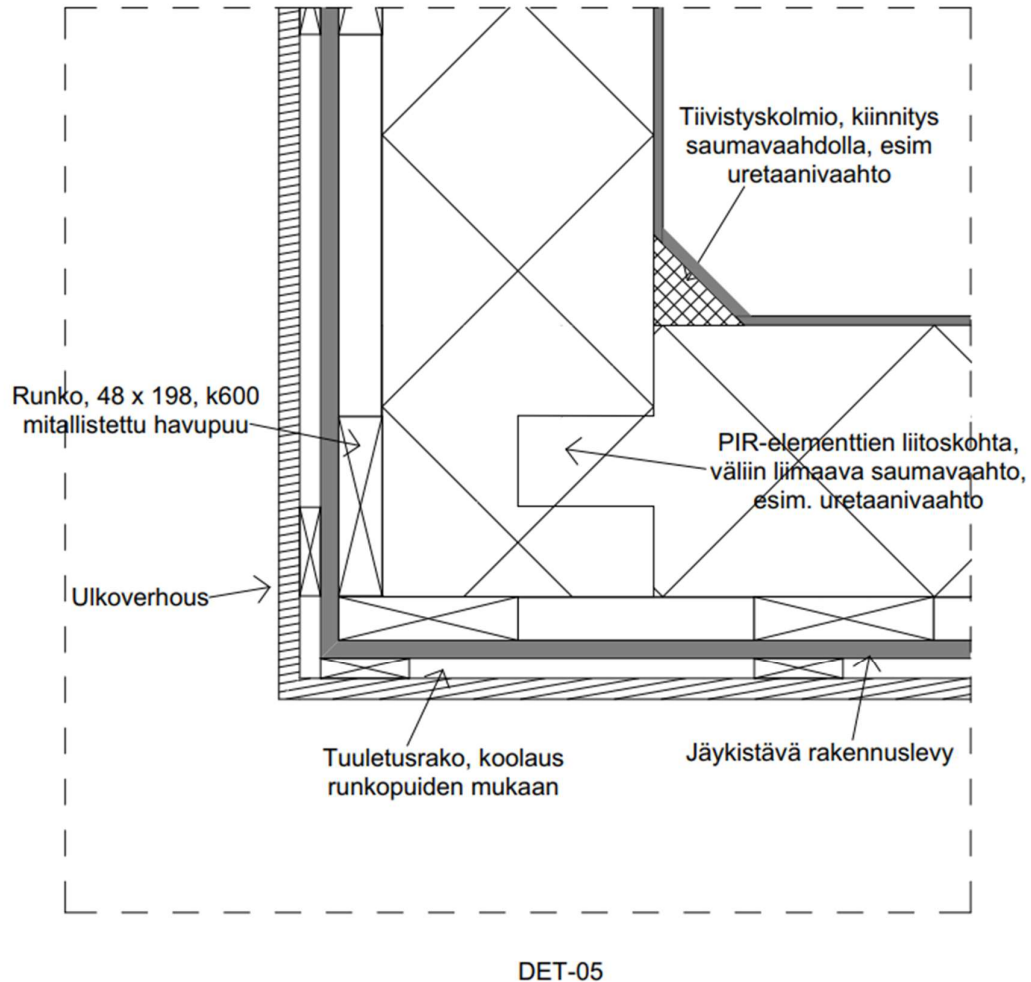


DET-04

KUVA 27. Detaljipiirustus 04 esittää yläpohjan jatkoliitosta

Sähköjohdot suunniteltiin myös kulkemaan osittain tekniikkaroilossa ja osittain väliseinien sisällä. Katkaisijoiden sijoitus on luontevinta väliseiniin, jotta solidieristemassaa ei tarvitsisi kovertaa. Valaisimien kiinnitystapa ja asennus vaativat lisätutkimuksia. Osittain huoneiden valaistus voidaan toteuttaa myös liimattavilla valonauhoilla. Lisätutkimuksia vaatii myös se, onko mahdollista käyttää tiivistyskolmioita liitoksessa. Puun olosuhteet voivat muuttua heikoksi, jos se jää eristeiden väliin. Tiivistyskolmio ei ole tässä kohtaa välttämätön, mutta se mahdollisesti parantaa liitoksen tiiveyttä.

Detaljipiirustus 05 esittää ulkoseinäelementtien liitoskohtaa (kuva 28). Detaljipiirustuksen kohta näkyy pohjapiirustuksessa. Liitoskohta noudattaa myös seinien liitosten osalta samaa periaatetta kuin toisissakin liitoksissa. Detaljipiirustuksessa näkyy hyvin seinien kantavan rungon sijainti. Ulkoverhous voidaan toteuttaa myös toisella tavalla. Esimerkkiratkaisuun suunniteltiin puinen ulkoverhous ja sille on suositeltavaa jättää taakse oma tuulettuva ilmarako. Tutkittavaa jäi vielä PIR-elementtien osalta, että olisiko tarvetta lisätä myös ulkopuolelle jonkinlainen paloa suojaava pinnoite.



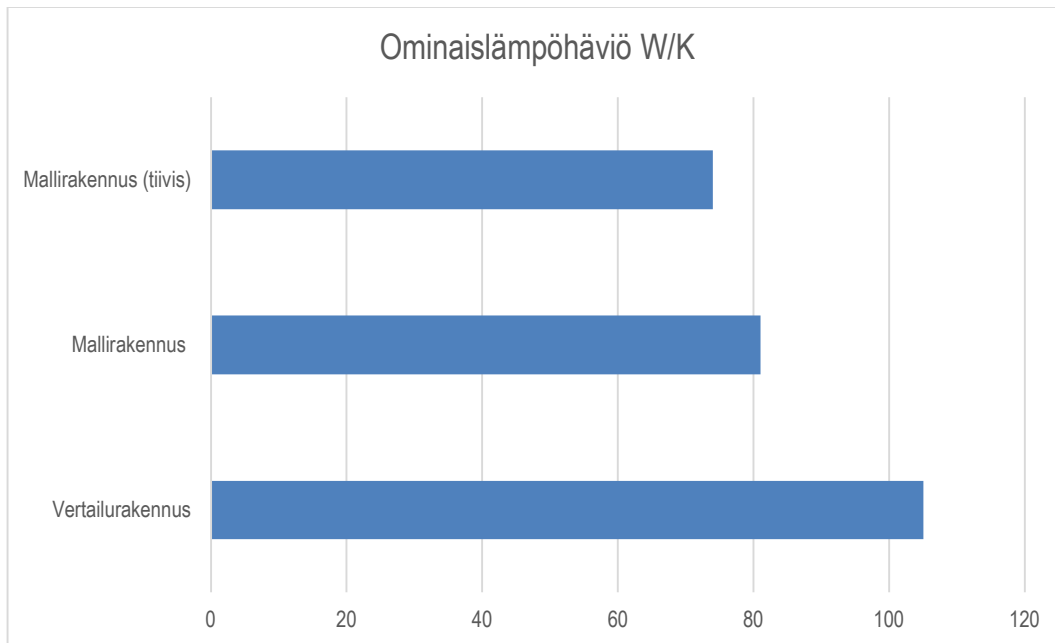
KUVA 28. Detaljipiirustus 05 esittää ulkoseinien liitosta

5.2 Lämpöhäviöiden taseuslaskelmat ja energian kulutus

Mallirakennuksessa PIR-elementeissä on käytetty samaa eristevahvuutta kaikissa osissa, joten sen U-arvo on kaikissa elementeissä vähintään liitteessä 2 laskettu arvo $0,072 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rakennuksen lämpöhäviöiden taseuslaskelmassa liitteessä 5 vertailtiin mallirakennuksen rakenteita U-arvojen vaatimuksen mukaisiin rakenteisiin. Vertailussa käytettiin alapohjan osalta maanvastaisen alapohjan raja-arvoa sen yleisyyden vuoksi. Tiiveyslukuksi molempiin laitettiin 2,0, vaikka malliraken-

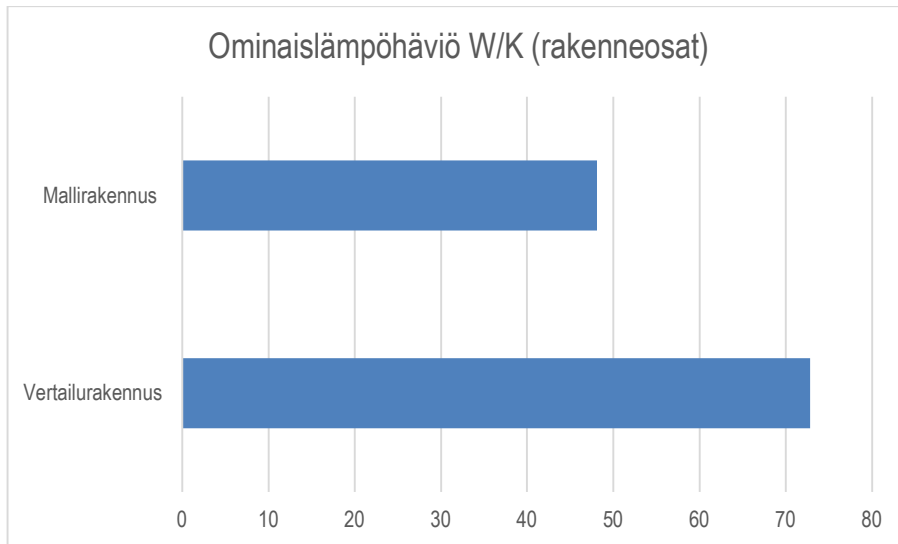
nuksessa todennäköisesti päästään huomattavasti parempiin tiiveyslukuihin yksinkertaisten ja tiivistettyjen rakenteiden vuoksi. Lämpöhäviöiden tasauslaskelmassa laskettiin siis pelkästään eristeeroksen tuomaa parannusta.

Lämpöhäviöiden tasauslaskelmasta tehdystä kuvaajasta (kuva 29) voidaan todeta mallirakennuksen olevan paljon parempi lämpimien tilojen ominaislämpöhäviöltään. Mallirakennuksen ominaislämpöhäviö on vain noin 77 % vaatimustasosta. Jos tiiveys paranee merkittävästi, voi mallirakennuksen ominaislämpöhäviö olla jopa 70 % vaatimustasosta (liite 6).



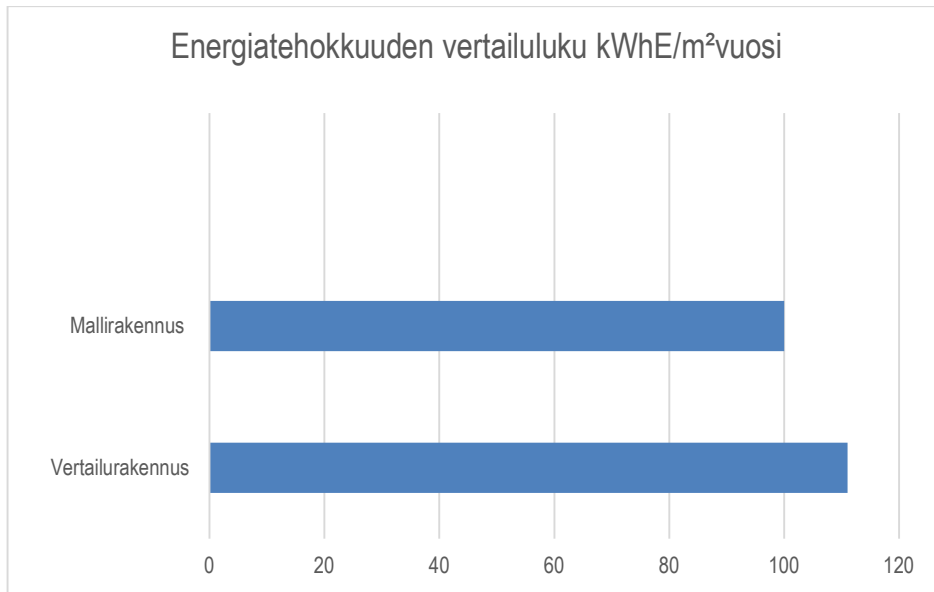
KUVA 29. Ominaislämpöhäviöt palkkeina

Pelkkiä rakennusosia verratessa lukema on vielä parempi. Rakennusosien lämpöhäviö on huikat 66 % vaatimustasosta (kuva 30). Lukemat ovat suuria, koska ne vaikuttavat koko rakennuksen elinkaaren ajan ja ovat suoraan vaikutuksissa rakennuksen lämmitystarpeen tuottamaan hiilidioksidin määrään, lämmön lähteestä riippuen. Tämän vuoksi ne myös vaikuttavat suoraan ylläpidosta aiheutuviin kustannuksiin.



KUVA 30. Ominaislämpöväiöt pelkillä rakenneosilla

Mallirakennukselle ja vertailurakennukselle laaditut energiatodistukset (liitteet 7 - 8) laadittiin samoilla oletusarvoilla. Lämmitysjärjestelmäksi kummassakin lisättiin kaukolämmitys. Ikkunoiden ja ovien U-arvoksi määritettiin vaatimusten mukainen $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ainoat eroavaisuudet vertailussa ovat rakenteiden U-arvot ja ilmatiiveysluku. Ilmansuunnista pohjoiseksi määritettiin luontevasti pohjapiirustuksen mukainen pohjoinen kumpaankin laskentaan. Energiatehokkuuden vertailuluvuksi saatiin mallirakennuksella $100 \text{ kWhE/m}^2\text{vuosi}$, kun taas vertailurakennuksella se nousi jopa lukemaan $111 \text{ kWhE/m}^2\text{vuosi}$ (kuva 31).



KUVA 31. Energiatehokkuuden vertailuluku palkkeina

5.3 Hiilijalanjäljen vertailu

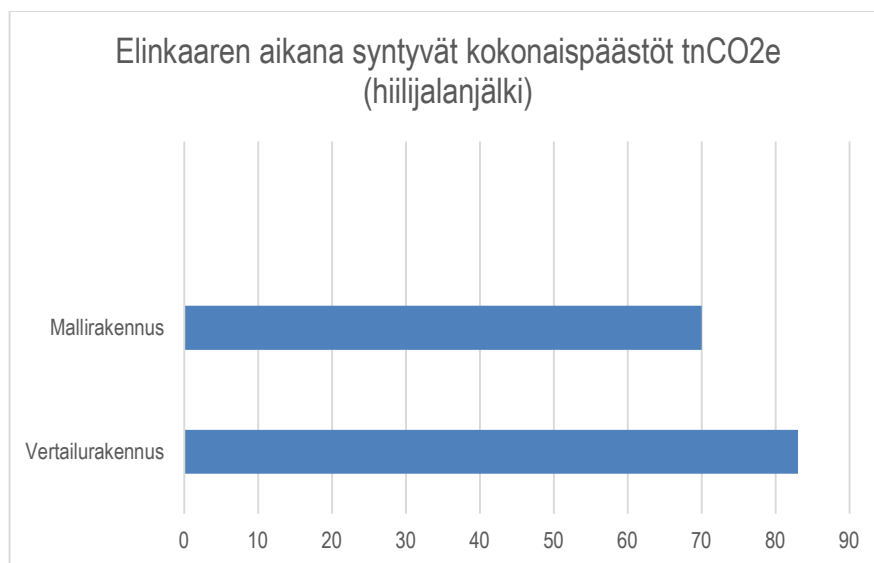
Rakennusten hiilijalanjäljen vertailu suoritettiin käyttäen apuna rakennusten hiilijalanjäljen vertailutyökalua, jota varten rakennuksista laskettiin energian kulutus ja materiaalien määrät. Vertailutyökalu huomioi elinkaaren aikana syntyviin kokonaispäästöihin kaiken, mistä syntyy hiilidioksidipäästöjä rakennuksen rakentamisesta aina purkamiseen saakka. Vertailutyökalussa käytettiin samoja oletusarvoja rakennuksen purkamisen ja talotekniikan päästöjen osalta. (Liitteet 9 – 12.)

Hiilijalanjälkeen vaikuttaa myös oleellisesti lämmitysmuoto. Taulukossa 3 on esitetty RT-tietokortin mukaisia arvioita lämmitysmuotojen hiilipäästöistä. Pääasiallisena lämmitysmuotona vertailussa käytettiin kaukolämpöä energiatodistuksen mukaisesti.

TALULUKKO 3. Energiamuodon päästöt keskimäärin (20, s.13)

Energiamuoto	Päästöt keskimäärin
Sähköenergian tuotannon keskipäästöt	164 g CO ₂ e/kWh
Kaukolämmön keskipäästöt	183 g CO ₂ e/kWh
Maalämpö	80 g CO ₂ e/kWh
Puu/pelletti	30...100 g CO ₂ e/kWh
Aurinkolämpö	20 g CO ₂ e/kWh
Aurinkosähkö	40 g CO ₂ e/kWh
Tuuli	30 g CO ₂ e/kWh

Rakennusten hiilijalanjälkeä arvioitaessa todettiin mallirakennuksen olevan parempi vaihtoehto myös tällä osa-alueella (kuva 32). Hiilijalanjälkeä mallirakennuksessa laskevat vertailurakennukseen verrattuna energiatodistuksesta löytyvä parempi vakioidulla käytöllä saatu ostoenergian arvo ja betonittomat rakenteet. Toisaalta hiilijalanjälkeä mallirakennuksessa kasvattaa PIR-elementtien materiaali.



KUVA 32. Elinkaaren aikana syntyvät kokonaispäästöt palkkeina

5.4 Tulosten tarkastelu

Mallirakennuksen suunnittelun yksi päätarkoituksista oli suunnitella toimiva rakennus, joka poistaa mahdollisimman monta nykyaikaisen rakentamisen ongelmaa. Lopputuloksia tarkasteltaessa voidaan todeta monen asian parantuneet huomattavasti.

Mallirakennuksen rakenteet ovat huomattavasti vikasietoisempia kuin perinteisen rakentamisen. Kosteus ei pääse tiivistymään höyryä sulkeviin pintoihin tarkasteluvuoden missään ajankohdassa, vaikka ilmanvaihtokone olisikin ajoittain jäässä. Kylmäsiltojen osalta mallirakennus on aivan ylivertainen perinteiseen verrattuna. Mallirakennuksessa ei käytännössä ole kylmäsiltoja eristekerroksen läpi solidieristemassan vuoksi. Mallirakennuksen tiiveys on myös varmistettu useaan kertaan. Elementtien liitokset liimataan tiiviisti ja tiivistyskolmiolla varmistetaan lopullinen tiiveys. Rakenteet eivät ole myöskään niin vikaherkkiä asentaa, kuin esimerkiksi perinteinen höyrynsulkumuovi on.

Täysin betoniittomat rakenneratkaisut myös parantavat sisäilman laatua ja poistavat rakennuksen rakentamisen aikaista kosteuskuormaa huomattavasti. Tämä myös mahdollistaa rakennuksen huomattavasti nopeamman rakentamisen, koska betonin kuivumisia ei tarvitse odotella.

Radonin osalta voidaan todeta mallirakennuksen poistavan kyseisen ongelman, sillä hyvin tuuletettu ja tiivis alapohjarakenne pitää huolen, ettei radon pääse rakenteen sisälle. Lisäksi mallirakennuksen alapohjan ratkaisu poistaa esimerkiksi tulvasta aiheutuvat ongelmat. Solidieristekerros on myös ulospäin huomattavasti vikasietoisempi kuin perinteiset rakenteet, joten tulevan ilmastonmuutoksen vaikutukset eivät pääse vaikuttamaan kuin ulkopuolelle jäävään runkoon. Ulkopuoliselle rungolle voi myös tarvittaessa miettiä vaihtoehdoksi jotakin toista materiaalia. Alimmat puiset pilarit voi korvata esimerkiksi kevytsoraharkoilla.

Rakennuksen ulkoseinien vaakasuuntaisten kuormien hallinta saattaa vaatia vielä toimenpiteitä jäykkyyden parantamiseksi. Lappeellaan olevat runkotolpat eivät ole kovin jäykkä ratkaisu. Rakennuksen rungon ja jäykistämisen osalta on myös toisia mahdollisuuksia, jotka vaatisivat lisätutkimuksia. Koko runkojärjestelmän voi myös mahdollisesti korvata jollakin solidieristeen päälle tulella jäykistävällä ja kantavalla pinnoitteella, kuten esimerkiksi lasikuidulla tai jollakin komposiittira-

kenteellä. Myös tulevaisuudessa koko solidieristeen ja rungon voisi korvata esimerkiksi x-aerogee-
lillä, joka hoitaisi solidieristeenä myös jäykistämisen ja kuormien kantamisen. Ensin tuotetta pitäisi
kuitenkin saada testattua enemmän ja tuotantoon löytää hintaa laskevia ratkaisuja.

Hiilijalanjälkeä tarkasteltaessa mallirakennus pärjäsi myös hyvin. Rakenteesta saisi yliveraisen pe-
rinteiseen verrattuna, jos solidieristeeksi saataisiin vähemmän hiilijalanjälkeä tuottava materiaali.
Rakenteiden energiatehokkuus myös laskee hiilijalanjälkeä merkittävästi betonittomuuden lisäksi.

Mallirakennuksen tarkastelu antoi varsin lupaavia tuloksia. Lisää tutkittavia asioita riittää vielä kui-
tenkin paljon, ennen kuin rakennusta kannattaisi alkaa rakentamaan. Simulointeja tulisi tehdä use-
ammalla eri solidieristeellä, jotta varmistuttaisiin parhaasta vaihtoehdosta. Lisäksi puurunkoa ja sen
olosuhteita tulisi tarkastella myös tarkemmin. Kriittisiä kohtia ovat kaikki puupinnat, jotka ovat soli-
dieristemassaa vasten. Palo-ominaisuuksia tulee myös tarkastella ja myös suunnitella tarvittavat
pinnoitteet solidieristemassalle, jotta rakennuksesta saataisiin turvallinen. Rakennuksesta olisi
myös hyvä tehdä pienoismalli, josta voitaisiin mitailla oikeita lämpötiloja, kosteuksia ja pienhiuk-
kaspäästöjä sisätiloissa. Kantavuus- ja jäykistyslaskelmia ei myöskään ole suoritettu malliraken-
nukselle.

6 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä oli päätarkoituksena perehtyä nykyaikaisen rakentamisen ongelmiin sekä suunnitella uudenlainen rakennus, joka poistaisi nämä ongelmat. Työn vaiheisiin kuului ensin teoriaa nykyaikaisten rakennusten ja rakenteiden ongelmista, minkä jälkeen työssä perehdyttiin erilaisiin eristeisiin ja niiden mahdollisuuksiin. Seuraavaksi työssä suunniteltiin solidieristekerrosta hyväksikäyttäen uudenlainen rakenne ja simuloitiin rakenteen ja sen liitosten toimivuus. Lisäksi työssä perehdyttiin rakenteiden ympäristövaikutuksiin ja mahdollisuuksiin rakentaa rakennus kyseisillä ratkaisulla.

Työn tulokset ovat mielestäni varsin onnistuneita. Monta nykyaikaisen rakentamisen ongelmaa saatiin joko kokonaan ratkaistua tai ainakin parannettua. Simulointien tulokset olivat jopa paremmat mallirakenteilla, kuin ehkä uskalsin edes odottaakaan. Tulokset olivat varsin rohkaisevia tutkimaan asiaa lisää. Lisätutkimuksia vaativia asioita on kuitenkin vielä pitkä lista, jotta rakennuksen terveellisyydestä ja turvallisuudesta voitaisiin varmistua.

Työn merkittävyyttä on hankala arvioida. Toivon kuitenkin, että se mahdollistaisi asioiden ajattelemisen myös eri tavalla kuin perinteisesti on totuttu. Rakennusalan kehittymiselle on valtavasti tarvetta tässä nykyisessä maailmassa, jossa elämme. Olemme ihmiskunnan kaikkien aikojen suurimpien haasteiden edessä vielä ilmastonmuutoksen suhteen ja uskon vahvasti, että solidieristemasoilla voitaisiin tulevaisuudessa vielä saavuttaa paljon niin ilmastonmuutoksen kuin terveellisen asumisen osalta.

Tässä työssä onnistuin mielestäni varsin hyvin. Vaikeinta työssä oli rajata aiheen alue sopivan kokoiseksi, jotta työmäärä ei paisuisi ihan mahdottomaksi kuitenkin niin, etteivät työn lopputulokset jäisi liian vajaiksi. Työssä halusin kuitenkin suunnitella mallirakennuksen ja tarkastella sitä kokonaisuutena myös yksittäisten rakenneliitosten lisäksi.

LÄHTEET

1. Suomen rakennusmääräyskokoelma C3 2008. Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010. Ympäristöministeriö.
2. Mölsä, Seppo 2016. TTY:n rakennefysiikan professori kertoo, miksi eriste määrien lisäys nollaenergiatasolle saattaa olla kosteusriski. Rakennuslehti. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/2016/12/ttyn-rakennusfysiikan-professori-kertoo-miksi-eristemaa-rin-lisays-nollaenergiatasolle-saattaa-olla-kosteusriski/>.
3. Jussila, Heikki 2021. Ilmatiiveys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa. Vertia. Hakupäivä 19.3.2022. <https://vertia.fi/wp-content/uploads/2018/06/Ilmatiiveys-ja-vuotokohdat-uusissa-rakennuksissa-2018-1.pdf>.
4. Pulkkinen, Katja 2013. Betonin pimeä puoli. Kemia-Kemi 13 nro (7), 12-16. Hakupäivä 23.1.2022. https://www.kemia-lehti.fi/wp-content/uploads/2013/11/Betonin_pimea_puoli_Kemia-lehti_11_11_2013.pdf.
5. Stuk 2020. Radon Suomessa. Hakupäivä 23.1.2022. <https://www.stuk.fi/aiheet/radon/radon-suomessa>.
6. Lohilahti, Oona 2017. Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa. Rakennuslehti. Hakupäivä 23.1.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>.
7. Lindbäcks. Ny rapport visar att Lindbäcks kan bygga klimatneutralt redan idag. Hakupäivä 23.1.2022. <https://lindbacks.se/pressmeddelande/ny-rapport/>.
8. Ursinus, Jorma 2015. Runko- ja väliseinäratkaisut. Rakenna oikein. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.rakenna oikein.fi/runko-ja-valiseinaratkaisut-91319/uutiset.html>.
9. Mölsä, Seppo 2016. Näin Suomi homehtui. Rakennuslehti. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.rakennuslehti.fi/2016/06/nain-suomi-homehtui-hyva-rakentamistapa-sai-aikaan-pahaa-jalkea/>.

10. Suomi rakentaa 2019. Runkovaihtoehtoja on useita. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.suomirakentaa.fi/omakotirakentaja/ulkoseinaet-ja-julkisivut/runkoratkaisun-valinta>.
11. Nikulainen, Pasi 2019. Kodin ilmanvaihto. Tekeville. Hakupäivä 23.1.2022. <http://www.tekeville.fi/kodin-ilmanvaihto>.
12. Vinha, Juha, Laukkarinen, Anssi, Mäkitalo, Mikael, Nurmi, Sakari, Huttunen, Petteri, Pakkanen, Tomi, Kero, Paavo, Manelius, Elina, Lahdensivu, Jukka, Köliö, Arto, Lähdesmäki, Kimmo, Piironen, Jarkko, Kuhno, Vesa, Pirinen, Matti, Aaltonen, Anu, Suonketo, Jommi, Jokisalo, Juha, Teriö, Olli, Koskenvesa, Antti & Palolahti, Tuomas 2013. Ilmastonmuutoksen ja lämmöneristykseen lisäyksen vaikutukset vaipparakenteiden kosteusteknisessä toiminnassa ja rakennusten energian kulutuksessa. Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos. Hakupäivä 19.3.2022. https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/116675/vinha_ilmastonmuutoksen_ja_lammoneristykseen_lisayksen_vaiikutukset.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
13. Tampereen yliopisto. Suomalainen homemalli. Hakupäivä 19.3.2022. <https://research.tuni.fi/rakennusfysiikka/suomalainen-homemalli/>.
14. Lylynkangas, Kimmo, Andersson, Albert, Kiuru, Jari, Nieminen, Jyri & Pääatalo, Juha 2015. Rakenteellinen energiatehokkuus. Rakennusteollisuus. Hakupäivä 23.1.2022. https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/oppaat-ohjeet/ret_opas_20150917.pdf.
15. Heikkinen, Jorma, Rantala, Jukka, Leivo, Virpi, Kouhia, Ilpo & Hemmilä, Kari 2012. Viivamaisten lisäkonduktanssien laskentaopas. Ympäristöministeriö. Hakupäivä 23.1.2022 https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2_7EE5_4DA5_AEF2_2801630E2300-30996.pdf/895973ff-752c-fb4c-8496-4f13b954d6c9/Viivamaisten-lisakonduktanssien-laskentaopas-0708E7A2_7EE5_4DA5_AEF2_2801630E2300-30996.pdf?t=1603260205020.
16. Puuinfo 2020. Puun ominaisuudet, kosteustekniset ominaisuudet. Hakupäivä 23.1.2022. <https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/puun-kosteustekniset-ominaisuudet/>.

17. Toivonen, Janne 2017. Sementti on isompi ilmastopahis kuin lentokoneet, ja nyt se pitäisi korvata – mutta miten?. Yle. Hakupäivä 23.1.2022. <https://yle.fi/uutiset/3-9901767>.
18. Betonitieto 2022. Hiilijalanjälki. Hakupäivä 23.1.2022. <https://www.betonitieto.fi/betoniteollisuus/valmisbetoni/ymparisto/ymparistovaikutukset/hiilijalanjalki.html>.
19. Ilmasto-opas 2017. Ennustettu ilmastonmuutos Suomessa. Ilmatieteenlaitos. Hakupäivä 23.1.2022. <https://ilmasto-opas.fi/fi/ilmastonmuutos/suomen-muuttuva-ilmasto/-/artikkeli/74b167fc-384b-44ae-84aa-c585ec218b41/ennustettu-ilmastonmuutos-suomessa.html>.
20. RT 103170. Ilmastonmuutos 2020. Hillintä ja sopeutuminen rakennetussa ympäristössä. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.rakennustietokauppa.fi/sivu/tuote/rt-103170-ilmastonmuutos-hillinta-ja-sopeutuminen-rakennetussa-ymparistossa/2742611>.
21. Raksystems 2021. Suomalaiset talot vuosina 1990-2021. Hakupäivä 23.1.2022. <https://raksystems.fi/kotiapp/suomalaiset-talot-vuosina-1990-2021/>.
22. Kaila, Panu 1997. Talotohtori. Rakentajan pikkujättiläinen. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö.
23. Wikipedia 2021. Lämmöneriste. Hakupäivä 19.3.2022. <https://fi.wikipedia.org/wiki/L%C3%A4mm%C3%B6neriste>.
24. Rinne, Hannu 2018. Perinnemestarin materiaalioppi. Helsinki: Werner Söderström osakeyhtiö.
25. Maksim 2018. Kivivillan ominaisuudet. BTI. Hakupäivä 19.3.2022. <https://btisolatsioon.ee/fi/kivivillan-ominaisuudet/>.
26. RT 36-11113 infra 067-710114 2013. EPS-eristeet. Rakennustieto OY. Hakupäivä 19.3.2022. <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/1487#page=1>.

27. RT 36-11102 2012. XPS-eristeet. Rakennustieto Oy. Hakupäivä 19.3.2022. <https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/10181#page=1>.
28. RT 37871 2011. Finnfoam-lämmöneristeet. Finnfoam Oy. Hakupäivä 19.3.2022. https://www.taloon.com/media/attachments/finnfoam_rt_kortti.pdf.
29. Vinha, Juha & Aaltonen, Anu 2013. Rakennusfysiikka 2013. Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut. Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto. Rakennustekniikan laitos.
30. Zhu, Ying, Lonka, Harriet, Tähtinen, Katja, Anttonen, Markku, Isokääntä, Päivi, Knuutila, Anssi, Lahdensivu, Jukka, Mahiout, Selma, Mäntylä, Anne-Marie, Raimovaara, Markku, Rantio, Tiina, Santonen, Tiina & Teittinen, Tuuli 2022. Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisyden näkökulmasta. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia.
31. Finnfoam. Tekniset tiedot. Finnfoam Oy. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.finnfoam.fi/tuotteet/ff-pir/tekniset-tiedot>.
32. Ekovilla 2020. Ekovilla levyeriste sopii kaikkeen rakentamiseen. Ekovilla Oy. Hakupäivä 19.3.2022. <https://ekovilla.com/tuotteet/ekovillalevy/?gclid=EAlaQobChMlvLe5yOSz9gl-VECIYCh2S7QF EAAYASAAEgK5F D BwE>.
33. Coxworth, Ben 2021. Popcorn used to create an eco-friendly alternative to polystyrene foam. New atlas. Hakupäivä 29.1.2022. https://newatlas.com/environment/popcorn-expanded-polystyrene-foam/?utm_source=DesignTAXI&utm_medium=DesignTAXI&utm_term=DesignTAXI&utm_content=DesignTAXI&utm_campaign=DesignTAXI.
34. Foamglas 2013. Solulasieristys rakennuksissa. Foamglas Nordic Ab. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.foamglas.com/-/media/project/foamglas/public/corporate/foamglascom/files/brochures/building-envelope/cellglas-fi.pdf?la=fi-fi>.
35. Välimäki, Matti 2021. Pala jäätynyttä sinistä taivasta. Helsingin insinöörit HI RY. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.helins.fi/news/pala-jaatynyttä-sinistä-taivasta/>.

36. Ala-myllymäki, Esko 2020. Tulevaisuuden energiatehokas tehdas. Oy Merinova AB. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.merinova.fi/wp-content/uploads/2019/04/Tulevaisuuden-energiatehokas-tehdas.pdf>.
37. Kingspan. Optim-R tyhjiöeriste. Kingspan insulation Suomi. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.kingspan.com/fi/fi-fi/tuotteet/eristeet/optim-r/optim-r>.
38. SFS -EN ISO 6946 2017. Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation methods. 2. painos. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS ry.
39. Hengitysliitto. Huoneilman kosteus. Hakupäivä 19.3.2022. <https://www.hengitysliitto.fi/kodin-sisailma-ja-kunnossapito/sisailman-laatu/sisailman-olosuhteet/huoneilman-kosteus/>.

LIITTEET

Liite 1 Materiaalien ominaisuuksia

Liite 2 U-arvolaskenta

Liite 3 RH-taulukko

Liite 4 Pohjapiirustus

Liite 5 Rakennuksen lämpöhäviön taseaselkelma 1

Liite 6 Rakennuksen lämpöhäviön taseaselkelma 2

Liite 7 Mallirakennuksen energiatodistus

Liite 8 Vertailurakennuksen energiatodistus

Liite 9 Materiaalimäärät vähähiilisyyden arvioimiseen mallirakennus

Liite 10 Materiaalimäärät vähähiilisyyden arvioimiseen vertailurakennus

Liite 11 Mallirakennuksen hiilijalanjäljen arviointi

Liite 12 Vertailurakennuksen hiilijalanjäljen arviointi

MATERIAALIEN OMINAISUUKSIA

LIITE 1

Eriste	Lämmönjohtavuus	Tiheys	Puristuslujuus 10%	Paloluokka	Päästöluokka	Vesihöyrynläpäisevyys	Hiihijalanjälki
	W/mK	kg/m ³	Kpa			10 ⁻¹² kg/msPa	kgCO ₂ e/kg
Kivivilla	0,032-0,041	15-35	20	A1	M1	60-200	1,026
Lasivilla	0,031-0,041	15-40		A1	M1	60-200	1,53
EPS	0,031 – 0,039	15-40	100	D-F	M1	3,0-6,0	3,407
XPS	0,031 – 0,037	25-50	200-600	E-F	M1	1,0-1,8	2,64
PIR	0,022 – 0,023	30-40	>100	B-s1, d0 - F	M1	0,1-1,2	4,354
Selluvilla	0,033	20-40		D-E	M1		0,126
Sahanpuru	0,072 - 0,110	120-200		F			-1,55
Kutterinlastu	0,070 – 0,130	120-190		F			-1,55
Solulasi	0,038 – 0,058	120-200					

Seinän Uc-arvo

Rakenne

300 mm lämmöneriste, PIR $\lambda_d = 0,022 \text{ W/mK}$

Laskettu ulkopuolen tuuletusraosta sisäpintaan asti.

$$d_1 := 0.300 \text{ m} \qquad \lambda_1 := 0.022 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$R_{se} := 0.04 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}} \qquad R_{si} := 0.13 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

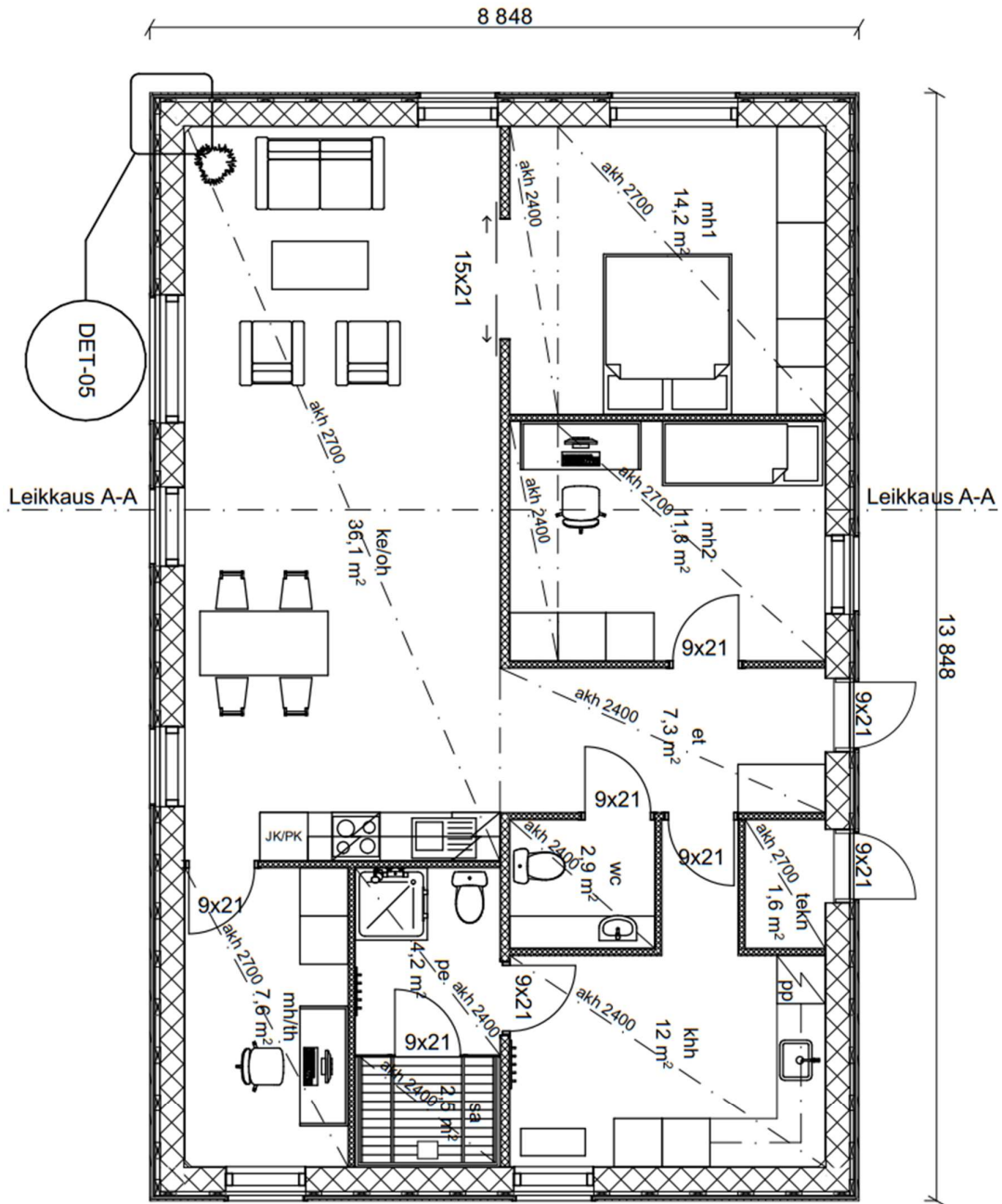
Lämmönvastukset:

$$R_{tot} := R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + R_{se} = 13.896 \frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$$

Lämmönläpäisykerroin U

$$U := \frac{1}{R_{tot}} = 0.072 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

t (°C)	v _k (g/m ³)	p _{vk} (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _{vk} (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _{vk} (Pa)	t (°C)	v _k (g/m ³)	p _{vk} (Pa)
-32	0,38	42	-3	3,93	490	26	24,35	3361	55	103,95	15739
-31	0,41	46	-2	4,22	528	27	25,74	3565	56	108,70	16508
-30	0,45	51	-1	4,52	568	28	27,20	3779	57	113,63	17310
-29	0,50	56	0	4,85	611	29	28,73	4005	58	118,75	18144
-28	0,54	61	1	5,19	657	30	30,33	4243	59	124,06	19012
-27	0,59	67	2	5,56	706	31	32,01	4492	60	129,56	19916
-26	0,65	74	3	5,95	758	32	33,77	4755	61	135,27	20856
-25	0,70	81	4	6,36	813	33	35,61	5030	62	141,19	21834
-24	0,77	88	5	6,79	872	34	37,53	5319	63	147,32	22850
-23	0,83	96	6	7,26	935	35	39,55	5623	64	153,67	23906
-22	0,91	105	7	7,75	1001	36	41,65	5941	65	160,25	25003
-21	0,99	115	8	8,27	1072	37	43,85	6275	66	167,06	26143
-20	1,07	125	9	8,81	1148	38	46,15	6625	67	174,11	27326
-19	1,16	137	10	9,39	1227	39	48,54	6992	68	181,41	28555
-18	1,26	149	11	10,01	1312	40	51,05	7376	69	188,96	29830
-17	1,37	162	12	10,66	1402	41	53,66	7778	70	196,76	31153
-16	1,48	176	13	11,34	1497	42	56,39	8199	71	204,83	32525
-15	1,60	191	14	12,06	1598	43	59,23	8640	72	213,17	33949
-14	1,73	207	15	12,82	1705	44	62,19	9100	73	221,80	35424
-13	1,87	225	16	13,62	1818	45	65,28	9582	74	230,70	36953
-12	2,02	244	17	14,47	1937	46	68,49	10086	75	239,90	38537
-11	2,19	264	18	15,36	2063	47	71,84	10612	76	249,41	40179
-10	2,36	286	19	16,30	2197	48	75,32	11162	77	259,22	41879
-9	2,54	310	20	17,28	2337	49	78,95	11735	78	269,34	43639
-8	2,74	335	21	18,32	2486	50	82,72	12334	79	279,79	45460
-7	2,95	362	22	19,41	2643	51	86,65	12959	80	290,57	47346
-6	3,17	391	23	20,55	2809	52	90,73	13611	81	301,68	49296
-5	3,41	421	24	21,76	2983	53	94,97	14291	82	313,15	51314
-4	3,66	454	25	23,02	3167	54	99,37	15000	83	324,96	53400



Bruttoala:
122,5 m²
Lämmintilavuus:
391,5 m³
117,4 m³
Kerrosala 250 mm:
112,8 m²

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	Mallirakennus
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Pientalo
Päsuunnittelija	Hannu Lumijärvi
Tasauslaskelman tekijä	Hannu Lumijärvi
Päiväys	13.3.2022
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot

Rakennuslilavuus	392 rak-m ²
Maanpäälliset kerrostasosalat yhteensä	123 m ²
Lämmitelly nettoala, lämpimät tilat	117 m ²
Lämmitelly nettoala, puoliämpimät tilat	m ²
Rakennusluokka (1 - 9)	1
Rakennuksen kerrosmäärä	1 kerrosta

Laskentatuloksia

Julkisivupinta-ala on 147 m²
 Ikkunapinta-ala on 15 % maanpäällisestä kerrostasosalasta
 Ikkunapinta-ala on 13 % julkisivun pinta-atasta
 Lämpöhäviö on 77 % vertailutasosta (lämpimät tilat)

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä	125	125	0,17	0,07	21,3	9,0
Massiivipuseinä ¹⁾			0,40		-	-
Yläpohja	117	117	0,09	0,07	10,5	8,4
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilään rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)	117		0,16	0,07	18,7	8,4
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	18,5	18,5	1,00	1,00	18,5	18,5
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	3,8		1,00	1,00	3,8	3,8
Kattoikkunat			1,00		-	-
Kattovalokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	381	381			72,8	48,1
Puoliämpimät tilat tai määräaikaistet rakennukset						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkoilmaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilään rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Ulko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Kattovalokuvut			1,40		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä	-	-			-	-
VAIPAN ILMAVUODOT						
	Ilmanvuotoluku, m ³ /(h m ²)		Vuotoilmavirta, m ³ /s		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q ₅₀]		[q _{v, 50} = q ₅₀ / 35 · A/3600]		[H _{vuotoilma} = 1200 · q _{v, 50}]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	2,0	0,0061	0,0061	7,3	7,3
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
	Poistoilmavirta, m ³ /s		Ilmanvaihdon LTO:n vuosihyötysuhde, % [η _v]		Ominaislämpöhäviö, W/K	
	[q _{v, p}]				[H _v = 1200 · q _{v, p} · (1-η _v)]	
	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- arvo	Suunnittelu- arvo	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,047		55	55	25,3	25,3
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puoliämpimät tilat			55		-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
					Ominaislämpöhäviö, W/K	
					[H = H _{lämp} + H _{vuotoilma} + H _v]	
	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu	Vertailu- ratkaisu	Suunnittelu- ratkaisu
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					105	81
Puoliämpimien tilojen					-	-

© Ympäristöministeriö, Tammikuu 2018 (versio 1.1.2018)

¹⁾ Massiivipuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

Rakennuksen lämpöhäviön tasauslaskelma, 2018 (voimassa 1.1.2018 alkaen)

Rakennuskohde	Mallirakennus
Rakennuslupatunnus	
Rakennustyyppi	Pientalo
Pääsuunnittelija	Hannu Lumijärvi
Tasauslaskelman tekijä	Hannu Lumijärvi
Päiväys	13.3.2022
Tulos: Suunnitteluratkaisu	TÄYTTÄÄ VAATIMUKSET

Rakennuksen laajuustiedot		Lasketatuloksia	
Rakennustilavuus	392 rak-m ³	Julkisivupinta-ala on	147 m ²
Maanpäälliset kerrostasot yhteensä	123 m ²	Ikkunapinta-ala on 15 %	maanpäällisestä kerrostasoaikasta
Lämmitetty nettoala, lämpimät tilat	117 m ²	Ikkunapinta-ala on 13 %	julkisivun pinta-alasta
Lämmitetty nettoala, puoliämpimät tilat	m ²	Lämpöhäviö on 70 %	vertailutasosta (lämpimät tilat)
Rakennusluokka (1 - 9)	1		
Rakennuksen kerros määrä	1 kerrosta		

Perustiedot	Pinta-alat, m ²		U-arvot, W/(m ² K)		Lämpöhäviöiden tasaus	
	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-arvo	Suunnittelu-arvo	Vertailu-ratkaisu	Suunnittelu-ratkaisu
RAKENNUSOSAT						
Lämpimät tilat						
Ulkoseinä	125	125	0,17	0,07	21,3	9,0
Massiivipuseinä ¹⁾			0,40		-	-
Yläpohja	117	117	0,09	0,07	10,5	8,4
Alapohja (ulkomaan rajoittuva)			0,09		-	-
Alapohja (ryömintätilan rajoittuva)			0,17		-	-
Alapohja (maanvastainen)	117		0,16	0,07	18,7	8,4
Muu maanvastainen rakennusosa			0,16		-	-
Ikkunat	18,5	18,5	1,00	1,00	18,5	18,5
Uliko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾	3,8		1,00	1,00	3,8	3,8
Kattoikkunat			1,00		-	-
Katvoisokuvut			1,00		-	-
Lämpimät tilat yhteensä	381	381			72,8	48,1
Puoliämpimät tilat tai määräraikaiset rakennukset						
Ulkoseinä			0,26		-	-
Massiivipuseinä ¹⁾			0,60		-	-
Yläpohja			0,14		-	-
Alapohja (ulkomaan rajoittuva)			0,14		-	-
Alapohja (ryömintätilan rajoittuva)			0,26		-	-
Alapohja (maanvastainen)			0,24		-	-
Muu maanvastainen rakennusosa			0,24		-	-
Ikkunat			1,40		-	-
Uliko-ovet ja tuuletusluukut ²⁾			1,40		-	-
Kattoikkunat			1,40		-	-
Katvoisokuvut			1,40		-	-
Puoliämpimät tilat yhteensä						
VAIPAN ILMAVUODOT						
Vuotoilma						
Lämpimät tilat	2,0	0,1	0,0061	0,0003	7,3	0,4
Puoliämpimät tilat	2,0				-	-
ILMANVAIHTO						
Hallittu ilmanvaihto						
Lämpimät tilat	0,047		55	55	25,3	25,3
Lämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Puoliämpimät tilat			55		-	-
Puoliämpimät tilat, ei LTO-vaatimusta			0		-	-
Rakennuksen lämpöhäviöiden tasaus						
Lämpimien tilojen ominaislämpöhäviö					105	74
Puoliämpimien tilojen						

¹⁾ Massiivipuseinä, jonka keskimääräinen paksuus on vähintään 180 mm.

ENERGIATODISTUS 2018

LUONNOSVERSIO - virallinen todistus ARA:n valvontajärjestelmästä

Rakennuksen nimi ja osoite:	Mallirakennus Mallitie 1 90100
Pysyvä rakennustunnus:	?
Rakennuksen valmistumisvuosi:	2023
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:	Pientalo
Todistustunnus:	?

Energiatodistus on laadittu:
Uudelle rakennukselle rakennustupaa haattaessa

	Energiatohokkuusluokka
A	
B	B 2018
C	
D	
E	
F	
G	

Rakennuksen laskennallinen energiatohokkuuden vertailuluku eli E-luku	kWh _E /m ² vuosi
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus	100
(Huom! Ylläoleva on 2018 säädöksen vaatimustaso mahdolliset helpotukset huomioiden)	130

Todistuksen laatija:	Yritys:
Hannu Lumijärvi	Opinnäytetyö
Sähköinen allekirjoitus:	?
	90100

Todistuksen laatimispäivä:	Viimeinen voimassaolopäivä:
13.03.2022	15.10.2031

Huom! Todistuksessa esitetyt lukuja/laskentatuloksia ei tule käyttää Lämpöpumppujen/lämmitysjärjestelmän valintaan.

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAEHDOKKUUDESTA

Laskennallinen osastoenergiakulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

Lämmitetty nettoala, m ²	117
Lämmitysjärjestelmän kuvaus	Kaukolämpö / Kaukolämpö
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus	IV-kone, jonka vuosihyötysuhde on 65%

Käytettävä energiamuoto	Vakioidulla käytöllä laskeutu osastoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)		
Sähkö	5011	43	1.20	51.4
Kaukolämpö	7452	64	0.50	31.8
Puu	3750	32	0.50	16.0
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	2459	21.0		
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				100

Rakennuksen energiatehokkuusluokka

Käytetty E-luvun luokittelustaiteikko	Erilliset pientalot	A: ...86	B: 87 ... 144	C: 145 ... 181
Luokkien rajat asteikolla		D: 182 ... 261	E: 262 ... 391	F: 392 ... 461
		G: 462 ...		
Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka		B		

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskeutu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohden, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovelu yksittäisen rakennuksen toteutuneen ja laskennallisen kulutuksen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiankulutus. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten autolämmityspistokkeet, sulaapoltolämmitykset ja ulkoveikot eivät sisälly E-lukuun.

TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI

Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)

Suositukset on esitelty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Pientalo (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2023	Lämmitetty nettoala	117	m ²
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q50	0.1	m ³ /(h m ²)		
	A m ²	U W/(m ² K)	UxA W/K	Osuus lämpöhäviöstä %
Ulkoseinät	125.00	0.07	9.00	15.14
Yläpohja	117.00	0.07	8.42	14.18
Alapohja	117.00	0.07	8.42	14.18
Ikkunat	20.40	1.00	20.40	34.33
Ulko-ovet	3.80	1.00	3.80	6.39
Kylmäsiilat	-	-	9.38	15.78
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A m ²	U W/(m ² K)	g kohtisuora- arvo	
Pohjoinen	2.20	1.00	0.78	
Itä	4.40	1.00	0.78	
Etelä	4.40	1.00	0.78	
Länsi	2.20	1.00	0.78	
Pohjoinen	-	-	-	
Itä	-	-	-	
Etelä	3.60	1.00	0.78	
Länsi	3.60	1.00	0.78	
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	IV-kone, jonka vuosihyötysuhde on 65%			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto
Pääilmanvaihtokoneet	0.047 / 0.047	1.5	-	C
Erillispoistot	-	-	-	-9.00
Ilmanvaihtojärjestelmä	0.047 / 0.047	1.5	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:		65 %		
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Kaukolämpö / Kaukolämpö			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuk- sen hyötysuhde	Lämpö- kerroin (1)	Apulaitteiden sähkönkäyttö (2) kWh/(m ² vuosi)
Tilojen ja iv:n lämmitys	0.94	80 %		3.10
LKV:n valmistus	0.94	96 %		3.74
<small>(1) vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle (2) lämpöpumppujärjestelmää voi sisällyä lämpöpumpun vuoden keskimääräiseen lämpökertoimeen</small>				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	1	3000.00		
Ilmalämpöpumppu				
Jäähdytysjärjestelmä				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä				
Lämmin käyttövesi				
	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
Lämmin käyttövesi	600.00	35		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
Henkilöt ja kuluttajalaitteet	60 %	2.00	3.00	
Valaistus	10 %			6.00

Luonnosversio, sivu 3/8

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Pientalo (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2023			
Lämmitetty nettoala, m ²	117			
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	100 (< raja=130)			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWhE/vuosi	kWhE/(m ² vuosi)
Sähkö	5011	1.20	6013	51.4
Kaukolämpö	7452	0.50	3726	31.8
Uusiutuva polttoaine (Puu)	3750	0.50	1875	16.0
YHTEENSÄ	16213		11614	99.3
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiakulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys (1)		3.1	5.9	
Tuloilman lämmitys		9.7		
Lämpimän käyttöveden valmistus		3.7	54.0	
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		5.3		
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21.0		
YHTEENSÄ		42.8	59.9	0
<small>(1) Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitys kuluu tilojen lämmitykseen</small>				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)		3098	26	
Ilmanvaihtojärjestelmän lämmitys (3)		1136	10	
Lämpimän käyttöveden valmistus		4095	35	
Jäähdytys		0	0	
<small>(2) sisältää vuotuisen, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa</small>				
<small>(3) laskettu lämmintalteenoton kanssa</small>				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko		6657	56.90	
Ihmiset		1230	10.51	
Kuluttajalaitteet		1845	15.77	
Valaistus		615	5.26	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä		1025	8.76	
Laskentatyökalun nimi ja versio				
Laskentatyökalun nimi ja versio	www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)			

ENERGIATODISTUS 2018

LUONNOSVERSIO - virallinen todistus ARA:n valvontajärjestelmästä

Rakennuksen nimi ja osoite:	Vertailurakennus
	Mallitie 1
	90100
Pysyvä rakennustunnus:	?
Rakennuksen valmistumisvuosi:	2023
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka:	
Pientalo	
Todistustunnus:	?

Energiatodistus on laadittu:
Uudelle rakennukselle rakennuslupaa haattaessa.

	Energiatohokkuusluokka
A	
B	B 2018
C	
D	
E	
F	
G	

Rakennuksen laskennallinen energiatohokkuuden vertailuluku eli E-luku	kWh _E /m ² vuosi
Uuden rakennuksen E-luvun vaatimus	111
(Huom! Ylläoleva on 2018 säädöksen vaatimustaso mahdolliset helpotukset huomioiden)	130

Todistuksen laatija: Hannu Lumijärvi	Yritys: Opinnäytetyö
Sähköinen allekirjoitus:	90100

Todistuksen laatimispäivä: 13.03.2022	Viimeinen voimassaolopäivä: 15.10.2031
---	--

Huom! Todistuksessa esitettyjä lukuja/laskentatuloksia ei tule käyttää Lämpöpumppujen/lämmitysjärjestelmän valintaan.

YHTEENVETO RAKENNUKSEN ENERGIAEHOVKUUDESTA

Laskennallinen ostoenergiankulutus ja energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)

Lämmitetty nettoala, m² 117
Lämmitysjärjestelmän kuvaus Kaukolämpö / Kaukolämpö
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus IV-kone, jonka vuosihyötysuhde on 65%

Käytettävä energiamuoto	Vakioidulla käytöllä laskettu ostoenergia		Energiamuodon kerroin	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus
	kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)		
Sähkö	5011	43	1.20	51.4
Kaukolämpö	10067	86	0.50	43.0
Puu	3750	32	0.50	16.0
Sähkön kulutukseen sisältyvä valaistus- ja kuluttajalaitesähkö	2459	21.0		
Energiatehokkuuden vertailuluku (E-luku)				111

Rakennuksen energiatehokkuusluokka

Käytetty E-luvun luokittelustaiteikko Erilliset pientalot

Luokkien rajat asteikolla

A: ...86	B: 87 ... 144	C: 145 ... 181
D: 182 ... 261	E: 262 ... 391	F: 392 ... 461
G: 462 ...		
B		

Tämän rakennuksen energiatehokkuusluokka

E-luku perustuu rakennuksen laskennallisiin kulutuksiin ja energiamuotojen kertoimiin. Kulutus on laskettu vakioidulla käytöllä lämmitettyä nettoalaa kohti, jolloin eri rakennusten E-luvut ovat keskenään vertailukelpoisia. Vakioidusta käytöstä johtuen E-luku ei sovelle yksittäisen rakennuksen toteutuneeseen ja laskennalliseen kulutukseen vertailuun. E-lukuun sisältyy rakennuksen lämmitys-, ilmanvaihto-, jäähdytysjärjestelmien sekä kuluttajalaitteiden ja valaistuksen energiatulot. Rakennuksen ulkopuoliset kulutukset kuten aulalämmityslaitteet, sulanapolttoilmitykset ja ulkovalot eivät sisälly E-lukuun.

TOIMENPIDE-EHDOTUKSIA E-LUVUN PARANTAMISEKSI

Keskeiset suositukset rakennuksen E-lukua parantaviksi toimenpiteiksi (ei koske uusia rakennuksia)

Suosituksia on esitetty yksityiskohtaisemmin sivuilla 6 ja 7, kohdassa "Toimenpide-ehdotukset E-luvun parantamiseksi".

Luonnosversio, sivu 2/8

E-LUVUN LASKENNAN LÄHTÖTIEDOT				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Pientalo (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistusvuosi	2023	Lämmitetty nettoala	117	m ²
Rakennusvaippa				
Ilmanvuotoluku q50	1.1	m ³ /(h m ²)		
	A m ²	U W/(m ² K)	UxA W/K	Osuus lämpöhäviöstä %
Ulkoseinät	125.00	0.17	21.25	25.27
Yläpohja	117.00	0.09	10.53	12.52
Alapohja	117.00	0.16	18.72	22.26
Ikkunat	20.40	1.00	20.40	24.26
Ulkiovet	3.80	1.00	3.80	4.52
Kylmäsiilat	-	-	9.38	11.16
Ikkunat ilmansuunnittain				
	A m ²	U W/(m ² K)	g kohtisuora-arvo	
Pohjoinen	2.20	1.00	0.78	
Itä	4.40	1.00	0.78	
Etelä	4.40	1.00	0.78	
Länsi	2.20	1.00	0.78	
Pohjoinen	-	-	-	
Itä	-	-	-	
Etelä	3.60	1.00	0.78	
Länsi	3.60	1.00	0.78	
Ilmanvaihtojärjestelmä				
Ilmanvaihtojärjestelmän kuvaus:	IV-kone, jonka vuosihyötysuhde on 65%			
	Ilmavirta tulo/poisto (m ³ /s) / (m ³ /s)	Järjestelmän SFP-luku kW/(m ³ /s)	LTO:n lämpötilasuhde	Jäätymisenesto C
Pääilmavaihtokoneet	0.047 / 0.047	1.5	68	-9.00
Erillispoistot	-	-	-	-
Ilmanvaihtojärjestelmä	0.047 / 0.047	1.5	-	-
Rakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän LTO:n vuosihyötysuhde:		65 %		
Lämmitysjärjestelmä				
Lämmitysjärjestelmän kuvaus:	Kaukolämpö / Kaukolämpö			
	Tuoton hyötysuhde	Jaon ja luovutuk- sen hyötysuhde	Lämpö- kerroin (1)	Apulaitteiden sähkönkäyttö (2) kWh/(m ² vuosi)
Tilojen ja iv:n lämmitys	0.94	80 %		3.10
LKV:n valmistus	0.94	96 %		3.74
(1) vuoden keskimääräinen lämpökerroin lämpöpumpulle				
(2) lämpöpumpputermosteissa voi sisältyä lämpöpumpun vuoden keskimääräinen lämpökerroin				
	Määrä kpl	Tuotto kWh		
Varaava tulisija	1	3000.00		
Ilmalämpöpumppu				
Jäähdytysjärjestelmä				
	Jäähdytyskauden painotettu kylmäkerroin			
Jäähdytysjärjestelmä	-			
Lämmin käyttövesi				
	Ominaiskulutus dm ³ /(m ² vuosi)	Lämmitysenergian nettotarve kWh/(m ² vuosi)		
Lämmin käyttövesi	600.00	35		
Sisäiset lämpökuormat eri käyttöasteilla				
	Käyttöaste	Henkilöt W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Valaistus W/m ²
Henkilöt ja kuluttajalaitteet	60 %	2.00	3.00	
Valaistus	10 %			6.00

E-LUVUN LASKENNAN TULOKSET				
Rakennuskohde				
Rakennuksen käyttötarkoitusluokka	Pientalo (Erilliset pientalot)			
Rakennuksen valmistumisvuosi	2023			
Lämmitetty nettoala, m ²	117			
E-luku, kWhE/(m ² vuosi)	111 (< raja=130)			
E-luvun erittely				
Käytettävät energiamuodot	Vakioidulla käytöllä Laskettu ostoenergia kWh/vuosi	Energiamuodon Kerroin -	Energiamuodon kertoimella painotettu energiankulutus	
			kWhE/vuosi	kWhE/(m ² vuosi)
Sähkö	5011	1.20	6013	51.4
Kaukolämpö	10067	0.50	5033	43.0
Uusiutuva polttoaine (Puu)	3750	0.50	1875	16.0
YHTEENSÄ	18828		12922	110.4
Rakennuksen ympäristössä olevasta energiasta otettu energia, hyödynnetty osuus (kuukausitason erittely lisätiedoissa)				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Rakennuksen teknisten järjestelmien energiakulutus				
		Sähkö kWh/(m ² vuosi)	Lämpö kWh/(m ² vuosi)	Kaukojäähdytys kWh/(m ² vuosi)
Lämmitysjärjestelmä				
Tilojen lämmitys (1)		3.1	26.9	
Tuloilman lämmitys		9.7		
Lämpimän käyttöveden valmistus		3.7	54.0	
Ilmanvaihtojärjestelmän sähköenergiankulutus		5.3		
Jäähdytysjärjestelmä				
Kuluttajalaitteet ja valaistus		21.0		
YHTEENSÄ		42.8	80.9	0
<small>(1) Ilmanvaihdon tuloilman lämpeneminen tilassa ja korvausilman lämmitys kuuluu tilojen lämmitykseen</small>				
Energian nettotarve				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Tilojen lämmitys (2)		5064	43	
Ilmanvaihdon lämmitys (3)		1136	10	
Lämpimän käyttöveden valmistus		4095	35	
Jäähdytys		0	0	
<small>(2) sisältää vuotilman, korvausilman ja tuloilman lämpenemisen tilassa</small>				
<small>(3) laeikettu lämmintalteenoton kanssa</small>				
Lämpökuormat				
		kWh/vuosi	kWh/(m ² vuosi)	
Aurinko		6657	56.90	
Ihmiset		1230	10.51	
Kuluttajalaitteet		1845	15.77	
Valaistus		615	5.26	
Lämpimän käyttöveden kierrosta ja varastoinnin häviöstä		1025	8.76	
Laskentatyökalun nimi ja versio numero				
Laskentatyökalun nimi ja versio numero	www.laskentapalvelut.fi, versio 1.4 (01.12.2019)			

Materiaalimäärät ja pinta-alat rakennuksen vähähiilisyden arvioimiseen

Kohde Tyypimalli pientalo - Hiilityöpajan harjoitustehtävä

Lämmitetty nettoala	117	m ²
Lämmitetty huoneistoala	104,0	m ²
Kerrostasoala	122,0	m ²

Rakenne	Tyyppi	m ²
Yläpohja	YP1	117,0
Vesikatto		141,0
Perustukset	SOK 1	
Väliseinä, kantava	VS1	32,0
Väliseinä, kevyt	VS2	76,0
Ulkoseinä	US1	125,0
Alapohja	AP1	117,0

Huom. Sokkelin laskettu erikseen

Materiaali	Paksuus m	Ala m ²	Kerroin	Tilavuus m ³	Tiheys kg/m ³	Hukka 1+%*100	Massa kg	Mustilpanot
YP1								
Kattokannattajat 98x550 k900	0,55	117,0	0,11	7,01	510	1,05	3756	
Lämmöneriste PIR	0,3	117,0	1,00	35,10	30	1,01	1064	
Vesikatto								
Pelti 0,5mm	0,0005	141,0	1,00	0,07	7850	1,08	598	
Havuvaneri	0,015	141,0	1,00	2,12	480	1,05	1066	
SOK 1 Laskettu erikseen								
Puupilarit		0,0		1,34	510	1,04	711	
VS1								
Kipsilevy	0,013	32,0	2,00	0,83	670	1,05	585	
Puhallusvilla	0,098	32,0	0,92	2,89	30	1,01	87	
Puurunko 48x98 k600	0,098	32,0	0,08	0,25	474	1,10	131	
Kipsilevy	0,013	32,0	0,00	0,00	670	1,05	0	
VS2								
Kipsilevy	0,013	76,0	2,00	1,98	670	1,05	1390	
Puhallusvilla	0,066	76,0	0,92	4,61	30	1,01	140	
Puurunko 48x66 k600	0,066	76,0	0,08	0,40	474	1,10	209	
Kipsilevy	0,013	76,0	0,00	0,00	670	1,05	0	
AP1								
Pontattu vaneri	0,2	117,0	1,00	23,40	480	1,04	11681	
Lämmöneriste PIR	0,3	117,0	1,00	35,10	30	1,01	1064	
Puurunko alapohja	0,048	117,0	0,39	2,19	474	1,10	1142	
US1								
Ulkoverhouslauta	0,028	125,0	1,00	3,50	510	1,05	1874	
Tuuletusväli, pystylaudat 25x100, k600	0,025	125,0	0,17	0,52	510	1,05	279	
Tuulensuojalevy	0,025	125,0	1,00	3,13	745	1,05	2445	
Kantava puurunko 48x198, k600 (vaaka as)	0,048	125,0	0,33	1,98	510	1,05	1060	
Lämmöneriste PIR	0,3	125,0	1,00	37,50	30	1,01	1136	

MATERIAALIMÄÄRÄT VÄHÄHIILISYYDEN ARVIOIMISEEN VERTAILURAKENNUS LIITE 10

Materiaalimäärät ja pinta-alat rakennuksen vähähiilisyyden arvioimiseen

Kohde Tyypimalli pientalo - Hiilittyöpajan harjoitustehtävä

Lämmitetty nettoala	117	m ²
Lämmitetty huoneistoala	104,0	m ²
Kerrostasoala	122,0	m ²

Rakenne	Tyyppi	m ²
Yläpohja	YP1	117,0
Vesikatto		141,0
Perustukset	SOK 1	
Väliseinä, kantava	VS1	32,0
Väliseinä, kevyt	VS2	76,0
Ulkoseinä	US1	125,0
Alapohja	AP1	117,0

Huom. Sokkelin laskettu erikseen

Materiaali	Paksuus m	Ala m ²	Kerroin	Tilavuus m ³	Tiheys kg/m ³	Hukka 1+%-100	Massa kg	Mustiinpanot
YP1								
Tuulensuojalevy	0,05	117,0	1,00	5,85	745	1,05	4576	
Kattokannattajat 98x550 k900	0,55	117,0	0,11	7,01	510	1,05	3756	
Lämmöneriste puhallusvilla	0,5	117,0	0,89	52,12	30	1,01	1579	
Höyrynsulkukalvo	0,0002	117,0	1,00	0,02	925	1,10	24	
Rakennuslevy, vaneri	0,006	117,0	1,00	0,70	480	1,05	354	
Koolaus 44x50 k400	0,044	117,0	0,13	0,64	474	1,05	320	
Kattopaneeli	0,014	117,0	1,00	1,64	474	1,05	815	
Vesikatto								
Pelti 0,5mm	0,0005	141,0	1,00	0,07	7850	1,08	598	
Havuvaneri	0,015	141,0	1,00	2,12	480	1,05	1066	
SOK 1 Laskettu erikseen								
Teräsbetoni		0,0		8,99	2353	1,04	22000	
Betoniteräsket 80 kg /m ³		0,0		9,61	80	1,05	807	
Lämmöneriste EPS 50mm		0,0		1,69	16	1,04	28	
Routaeriste EPS 100mm		0,0		4,50	16	1,04	75	
Teräsbetoni antura		0,0		4,05	2353	1,04	9911	
Antura teräsket 35 kg/m ³		0,0		4,05	35	1,05	149	
Bitumihuopakaista, 4 kg/m ²		0,0		9,00	4	1,10	40	
VS1								
Kipsilevy	0,013	32,0	2,00	0,83	670	1,05	585	
Puhallusvilla	0,098	32,0	0,92	2,89	30	1,01	87	
Puurunko 48x98 k600	0,098	32,0	0,08	0,25	474	1,10	131	
Kipsilevy	0,013	32,0	0,00	0,00	670	1,05	0	
VS2								
Kipsilevy	0,013	76,0	2,00	1,98	670	1,05	1390	
Puhallusvilla	0,066	76,0	0,92	4,61	30	1,01	140	
Puurunko 48x66 k600	0,066	76,0	0,08	0,40	474	1,10	209	
Kipsilevy	0,013	76,0	0,00	0,00	670	1,05	0	
AP1								
Teräsbetonilaatta, raudoituksia 30kg/m ²	0,15	117,0	1,00	17,55	2353	1,04	42947	
Eriste EPS	0,1	117,0	1,00	11,70	16	1,04	195	
Tasaushleikka	0,02	117,0	1,00	2,34	1900	1,20	5335	Rudus
Suodattinkangas, tiheys 330 kg/m ²	0,00015	117,0	1,00	0,02	330	1,05	6	
Salaojitusora	0,3	117,0	1,00	35,10	1500	1,20	63180	Rudus
US1								
Ulkoeristyslauta	0,028	125,0	1,00	3,50	510	1,05	1874	
Tuuletusväli, pystyraudat 22x100, k600	0,022	125,0	0,17	0,46	510	1,05	246	
Tuulensuojalevy	0,025	125,0	1,00	3,13	745	1,05	2445	
Kantava puurunko 48x198, k600	0,198	125,0	0,08	1,98	510	1,05	1060	
Lämmöneriste mineraalivilla	0,246	125,0	0,92	28,29	15	1,01	429	
Höyrynsulkukalvo	0,0002	125,0	1,00	0,03	925	1,10	25	
Kipsilevy	0,013	125,0	1,00	1,63	670	1,05	1143	

Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu
Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019



Yhteenveto

Lähtötiedot		
Rakennuskohteen tiedot	Kohteen nimi*	Mallirakennus
	Rakennustunnus	
	Osoite	
	Rakennustyyppi	
Rakennuksen tekniset tiedot	Kerrosala [kem ²]	
	Lämmitetty nettoala [m ² _{netto}]*	117
	Kerrosten lukumäärä	1
	Kellarikerrosten lukumäärä	
	Pääasiallinen runkomateriaali	
Laskennan tiedot	Energialuokka	B
	Laskenta-ajanjakso*	50
	Arvioinnin tekovaihe	
	Käytetty arviointitapa	
	Rakennuksen arvioitu käyttöönottovuosi*	2023

*pakollinen tieto

Arvioinnin tekijät		
	Arvioinnin laatija	Arvioinnin tarkastaja
Nimi	Hannu Lumijärvi	
Yritys	OAMK/RYA19SP	
Koulutus	Rakennusarkkitehti -opiskelija	
Päivämäärä	16.3.2022	

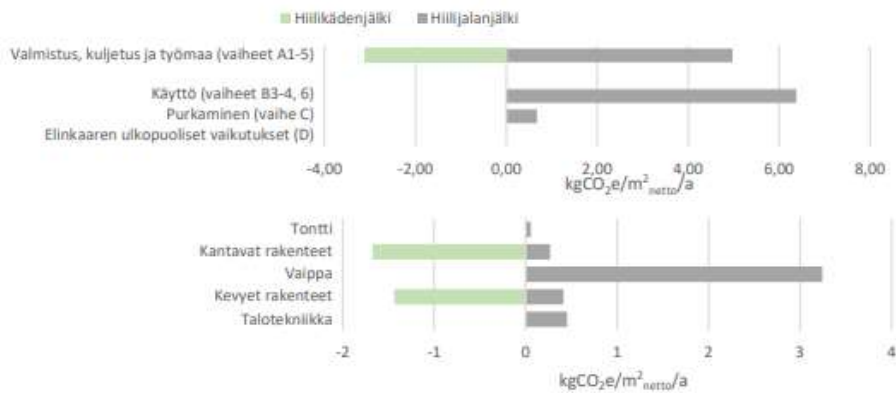
Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu

Luonnon hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019

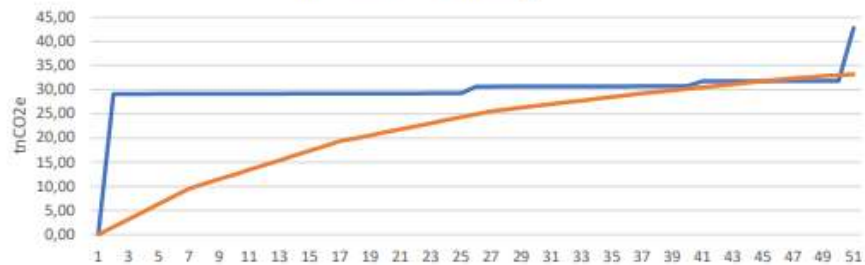


Ympäristöministeriö
Ministry of the Environment

Elinkaariarvioinnin tulokset	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	tn CO ₂ e	tn CO ₂ e
Elinkaaren aikana syntyvät kokonaispäästöt (A-D)	70	-18
	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a
Vuotuiset päästöt lämmitettyä nettoalaa kohden (A-D)	12,03	-3,11
Valmistus, kuljetus ja työmaa (vaiheet A1-5)	4,98	-3,11
Tontti	0,06	
Kantavat rakenteet	0,27	-1,67
Vaippa	3,24	
Kevyet rakenteet	0,41	-1,43
Talotekniikka	0,45	
Käyttö (vaiheet B3-4, 6)	6,38	
Purkaminen (vaihe C)	0,67	
Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D)		



Kumulatiiviset vuotuiset päästöt



Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu

Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019

**Yhteenveto**

Lähtötiedot		
Rakennuskohteen tiedot	Kohteen nimi*	Vertailurakennus
	Rakennustunnus	
	Osoite	
	Rakennustyyppi	
Rakennuksen tekniset tiedot	Kerrosala [km ²]	
	Lämmitetty nettoala [m ² _{netto}]*	117
	Kerrosten lukumäärä	1
	Kellarikerrosten lukumäärä	
	Pääasiallinen runkomateriaali	
	Energialuokka	B
Laskennan tiedot	Laskenta-ajanjakso*	50
	Arvioinnin tekovaihe	
	Käytetty arviointitapa	
	Rakennuksen arvioitu käyttöönottovuosi*	2023

*pakollinen tieto

Arvioinnin tekijät

	Arvioinnin laatija	Arvioinnin tarkastaja
Nimi	Hannu Lumijärvi	
Yritys	OAMK/RYA19SP	
Koulutus	Rakennusarkkitehti -opiskelija	
Päivämäärä	16.3.2022	

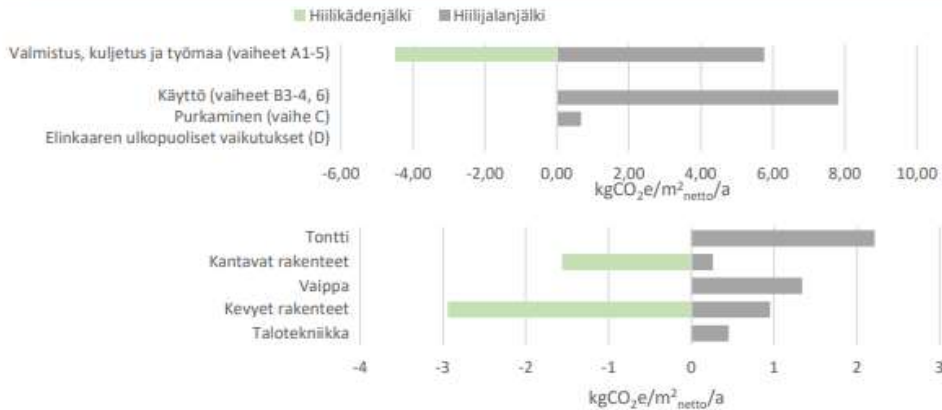
Rakennusten hiilijalanjäljen arviointityökalu

Luonnos hiilijalanjäljen arvioinnin testausta varten 9.12.2019



Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

Elinkaariarvioinnin tulokset	Hiilijalanjälki	Hiilikädenjälki
	tn CO ₂ e	tn CO ₂ e
Elinkaaren aikana syntyvät kokonaispäästöt (A-D)	83	-26
	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a	kg CO ₂ e/m ² _{netto} /a
Vuotuiset päästöt lämmitettyä nettoalaa kohden (A-D)	14,25	-4,50
Valmistus, kuljetus ja työmaa (vaiheet A1-5)	5,76	-4,50
Tontti	2,21	
Kantavat rakenteet	0,26	-1,56
Vaippa	1,34	
Kevyet rakenteet	0,95	-2,94
Talotekniikka	0,45	
Käyttö (vaiheet B3-4, 6)	7,82	
Purkaminen (vaihe C)	0,67	
Elinkaaren ulkopuoliset vaikutukset (D)		



Kumulatiiviset vuotuiset päästöt

