

RAKENNUKSEN DYNAAMINEN LÄMPÖTALOUS

Teoreettinen analyysi

Markku Porsanger

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka
Insinööri (AMK)

2015

Tekniikka ja liikenne
Rakennustekniikka

Tekijä	Markku Porsanger	Vuosi	2015
Ohjaaja	Kai Ryyänen		
Työn nimi	Rakennuksen dynaaminen lämpötalous – Teoreettinen analyysi		
Sivu- ja liitemäärä	27 + 7		

Opinnäytetyön tavoitteena oli kyseenalaistaa asuinrakennus rakennusteknisinä rakenteina, nykyisten energiansäästövaatimusten mukaiset uudet vaatimukset esim. passiivienergia- ja lähes nollaenergiaratkaisut ajattelemalla lähtökohtaisesti uudelleen rakenneratkaisut ja rakennuksen kokonaisvaltainen lämpödynaaminen toimivuus.

Tarkasteltava aihe on erittäin ajankohtainen ja täysin teoreettinen ratkaisuvaihtoehtojen tutkielma, jonka toivotaan avaavan keskustelua rakenteiden lisäeristämisen sijaan rakenteen kokonaistoimivuuteen, uusien innovaatioiden kautta.

Tutkimusmenetelmä on teoreettinen. Teoreettisia menetelmiä käyttäen on koitettu saada peruste eristepaksuuksien vähentämiseen ja toisaalta rakennuksen tiiveyden ja dynaamisen lämpöteknisen toimivuuden yhteen sovittaminen siten, että rakennuksen asumismukavuus on hyvä ja on varmistettu, että rakennus toimii kosteusteknisesti oikein ja kaikki olosuhteet huomioiden.

Rakenteena dynaaminen ulkoseinäratkaisu perustuu kahteen erilliseen runkoon ja niiden väliin jäävää tilaa käytetään ilmanvaihdon osana, kuten huonetilojakin.

Opinnäytetyön perusteella näyttää siltä, että vaihtoehtoisessa rakentamisessa on potentiaalia. Työn pohjalta tulisi rakentaa omakotitalo, joka perustuisi dynaamiselle lämmöneristämiseen hyödyntämällä uusinta taloteknistä osaamista, kun se rakenteiden osalta on kuitenkin teknisesti toteutettavissa.

School of Technology
Construction Engineering Programme

Author	Markku Porsanger	Year	2015
Supervisor(s)	Kai Ryyänen		
Subject of thesis	The building dynamic thermaleconomy		
Number of pages	27 + 7		

The aim of this thesis was call into question apartment building construction engineering building construction, the existing energy requirements of the new requirements for example. Passive energy- and nearly zero energy solutions by thinking principle, re-construction solutions and building a holistic thermodynamic functionality.

The examined matter is very timely and complete theoretical thesis alternative solutions, which are hoped to open debate structures extra isolation instead of on the total funktionalität of structure, through new innovations.

The method of thesis was theoretical methods, attempts a argument insulation thicknesses, and on the other hand the reduction of the tightness of the building and the dynamic thermal functionality of reconciling such a way that the building indoor comfort is good and has been ensured that the building operates a moisture technically correct and in all circumstances into account.

To build a dynamic external wall solution based on two separate frame and the space between the ventilation is used as part of, such as room space.

This thesis, it appears that in an alternative construction of a potential. Based on the work should be built a house, based on the dynamic thermal insulation, utilizing the latest house technical know-how. as it befall of structures, however, is technically feasible.

Key words

dynamic exterior wall, energy-saving requirements

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2. TAUSTA JA TAVOITTEET.....	8
2.1 Käsitteitä.....	8
2.2 Energiatehokkuuteen ja energiasäästöön liittyviä hankkeita	9
2.3 Aikaisempia dynaamiseen lämmöneristyksen ja rakenneratkaisujen selvi- tyksiä ja tutkimuksia	9
2.4 Rakennuksen dynaamisen lämpötalouden vaatimukset, haasteet ja toimi- vuuden reunaehdot	10
2.4.1 Haasteet	10
2.4.2 Toimivuuden reunaehdot	10
2.5 Rakenteet	13
3 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA	15
3.1 Johtopäätökset.....	15
3.2 Pohdinta.....	16
3.2.1 Lähtökohta idealle	16
3.2.2 Pohdintaa tuloksista	17
3.2.3 Jatkotutkimus ja kehittäminen	18
LÄHTEET	19
LIITTEET.....	20

1 JOHDANTO

Tämän päivän rakentamisessa tuottaa yhä enenevässä määrin spekulatioita, onko nykyiset rakentamisen energiamääräykset jo liian vaativia? Mm. on esitetty, että lämpöeristyksen lisäys yhdistettynä ennustettuun ilmastonmuutokseen lisää kosteusriskejä, sekä rakennuksen vai-pan eristyksen lisäys nostaa sisälämpötiloja kesäaikaan ja tähän liittyvä sisätilojen lisääntynyt jäähdytys kesäaikaan nostaa sisäilman suhteellista kosteutta entisestään. Ulkovaipan ja ilmanvaihtojärjestelmän keskinäinen vaikuttavuus nousee tärkeämpään osaan energiatehokkaassa rakentamisessa.

Päätelmänä spekulatioista on, että kun tietoa ei ole tarpeeksi lähes nollaenergiarakentamisen aiheuttamista vaikutuksista ja todellisista kustannuksista eri rakennetyypeissä puuttuu, on syytä pitäytyä kaikkein kovimmista, kalleimmista ja riskialteimmista kokeiluista energian säästössä ja talotekniikan lisäämisessä, vaan tulee aktiivisesti innovoida rakenneratkaisuja, jotka tulevat kokonaistaloudellisesti edullisimmaksi. Ongelmana on investointien kasvava määrä/takaisinmaksuaika. (Rakennuslehti 2015.)

Lopputyöni tavoitteena on tutkia **puurakenteisen** asuinrakennuksen ns. dynaamista ulkoseinärakennetta vs. passiivitaloratkaisu tai lähes 0-energia talo. Tavoitteena on saavuttaa optimi-rakenteet niin, että lämmöneristyksen määrä ja muutoin rakenteen dynaaminen toimivuus korreloivat siten, että energiavaatimukset täyttyvät ja rakenteesta saadaan kevyt, riittävän tiivis ja taloudellinen, toiminnallisuuden kärsimättä. Tärkeimpänä tavoitteena on kokonaisrakennepaksuuksien optimointi ja mahdollisen sisäisen konvektion muodostuminen rakenteisiin siten, että rakennuksen tulee toimia ”hengittävänä” kokonaisuutena.

Lopputyö on täysin teoreettinen tutkielma ja ongelmanratkaisutarkastelu.

Ongelman ratkaisu/ ajatuksen kehittäminen vaatii monialaista toiminnallista ajattelua ja innovatiivisia ratkaisuja ja lisäksi rakennusmateriaalien soveltuvuutta toiminnallisesti haastaviin kohteisiin ja rakenteellisiin ratkaisuihin, erityisesti tiiveyden osalta ja käytettävyyden kannalta rakennustyön suorituksessa.

Dynaaminen ulkoseinä: Tarkoittaa tässä yhteydessä kokonaisuutta, jossa kokonaisuuteen kuuluu alapohjan, seinärakenteen ja yläpohjan/ullakkotilan hyödyntäminen erillisinä lämpö-tekniikkä osina.

Ratkaisun periaatteena on se, että koneellisesti paineistettu ilma kulkee alapohjaratkaisun kautta seinärakennetta ylös ja yläpohjassa kiertävä ilma kerätään lämmön talteenotolla ja johdetaan huoneistoissa kierron kautta uudelleen alapohjaan, jne...

Lyhyt kuvaus rakenteista

Alapohja: Alapohjaratkaisuna toimii ns. ruotsalainen menetelmä, josta siellä käytetään nimitystä "ekogolvet", eli ratkaisu perustu rakennuksen maanvaraiseen eristämiseen, jolloin alapohjan ilmatila tulee ns. puolilämpimäksi tilaksi.

Seinärakenne: seinärakenne tulee olemaan kaksinkertainen ja kerrosten väliin jäävä väli toimii ilmakehänä yläpohjaan. Poikkeuksena tulee olemaan ns. kosteantilan ja uloskäynnin/eteisen rakennusosat, jotka kuitenkin tulisi rakentaa perinteisesti maataytöllä ja kantava-laatta periaatteella.

Yläpohja: Yläpohjarakenne on muutoin normaali, mutta se tehdään ilmaraollisena, kuten lämmin rakenne kattoa vasten ja sisäpuolella ulkokattoa vasten käytetään runkokarhulevyä tai huokoista puukuitulevyä paineen tasaajana.

Lyhyt kuvaus toiminnasta

Toiminnan lähtökohta on se, että asuin tiloissa päästään normit täyttävään asumismukavuuteen, käyttämällä olemassa olevaa lämpöä ja toisaalta sulkeamalla pois mahdolliset kondenssi- ja kosteushaitat rakennuksesta.

Rakennuksen optimaalinen lämpöfysiikkäinen toiminta perustuu koneelliseen ilmanvaihtoon ja lämmöntalteenottoon, yhdistettynä innovatiivisten rakennerratkaisujen toteuttamiseen.

Ilmanvaihdon tehokkuusvaatimus alustavasti on n 1,6 - 2 x normien mukaisen ilmanvaihdon määrään verrattuna, huomioiden vuotoilmat yläpohjassa ja ulkoseinissä ja kulkevan ilman paine rakenteita vasten.

Ongelmanratkaisukohteita

Ilmakanavan/-välin mitoitus ulkoseinässä.

Rakenneratkaisu ns. sisäkuoren kannattamisesta ja tukemisesta.

Paineistettua ilman kulkua vastaan tulevien rakenteen pintarakenteiden valinta.

Ulkoseinärakenteen rakentamiseen liittyvät tekniset ongelmat.

Rakenteesta ja lämmöneristeestä irtoavan pienhiukkaskertymän eliminoiminen. Peruslämmön tuottaminen asuntoon, ilmalämpöpumppu, takka/uuni, maalämpö/vesikierto lattiassa.

Alapohjan ilmatilan mitoitus, että tilassa ei tule kanavavaikutusta, vaan tila toimii paineentasaajana ja ns. lämpöelementtinä.

Ulkoseinän rakenteen optimointi; ulkoseinä: tiiveys, ilmanläpäisevyys, lämmöneristyskyky, kastepiste, välillä (-40 °C - > (-5 – 0 °C). sisäseinä: tiiveys kosteuden kulku / ilmanläpäisevyys, välillä (-0 – +5 °C - > +21 °C).

Väli-ilmatilan ”paineistuksen” vaikutus verrattuna ns. normiseinärakenteeseen mm. passiiviseinäratkaisussa.

2. TAUSTA JA TAVOITTEET

2.1 Käsitteitä

Dynaaminen

lämmöneristys

Dynaamisessa lämmöneristämässä rakenteessa ja rakennuksen sisällä oleva ilma kierrätetään rakennuksessa ja rakennuksen rungossa ja ilman, koneellisella paineellistamisella ja normaalilla rakennuksen paineen vaihtelulla (asuinrakennuksen painekuvio) ilma kulkeutuu rakenteiden ja lämmöneristeen läpi.

Hybridieristys

Rakenne, jossa kahden tai useamman erilaisen lämmöneristysmateriaalin yhdistämisellä saadaan lämpötekniisiltä-/tiivyeysominaisuuksiltaan riittävä rakennekokonaisuus (esim SPU AL150+100 min.villa)

Hygrokalvo

Runkorakenteessa käytettävä höyrysulkukalvo, joka on kosteutta tasaava "älykäs" höyrysulkukalvo, jonka toiminta perustuu rakenteessa olevan kosteuden kuivumiskykyyn sekä sisälle että ulospäin. Toiminta perustuu aineen kykyyn sulkea ja avata solurakennetta lämpötilan vaihtelussa. (<http://www.isover.fi/tuotteet/rakennuseristeet/tiivistystuotteet/2561/isover-vario-km-duplex-uv>. 2015)

Suhteellinen kosteus (RH %)

Kosteus ilmaisee veden tai vesihöyryn määrää toisessa aineessa.

Suhteellinen kosteus ilmoitetaan mitatun absoluuttisen vesisisällön ja sellaisen absoluuttisen vesisisällön, jossa ilma sisältäisi samassa lämpötilassa suurimman mahdollisen määrän vettä, suhteena. Suhteellisen kosteuden yksikkö on prosentti (%). Suuri suhteellinen kosteus kertoo siis siitä että ollaan lähellä kastepistettä.

Kapillaarialueella (RH>98%) kosteus siirtyy kapillaarisesti materiaalien sisältä rakenteiden pinnoille ja ilmvirtaukset kuivattavat rakenteiden pinnat. Hygroksooppisella kosteusalueella (RH<98%) kosteus poistuu materiaalien sisältä

diffuusiolla ja ilmvirtausten mukana. (<http://fi.wikipedia.org/w/index.php?title=Toiminnot%3AHaku&profile=default&search=suhteellinen+kosteus&fulltext=Search&searchengineselect=mediawiki> ki. 2015)

2.2 Energiatehokkuuteen ja energiasäästöön liittyviä hankkeita

FinZEB-projekti määrittelee lähes nollaenergiarakennuksen (nZEB) käsitteet, tavoitteet ja suuntaviivat kansallisella tasolla.

Ympäristöministeriön, Rakennusteollisuus RT ry:n ja Teknologiateollisuus ry:n toimialayhdistyksen LVI-talotekniikkateollisuuden käynnistämässä FinZEB-hankkeessa kiteytetään rakennusalan yhteinen näkemys sille, mitä Suomessa tarkoitetaan EU:n edellyttämällä ”lähes nollaenergiarakennuksilla” (nZEB). Samalla määritellään, mille tasolle kansalliset energiatehokkuusvaatimukset eri rakennustyypeillä tulee asettaa.

FRAME-hanke – Future envelope assemblies and HVAC solutions. (1.9.2009 – 30.9.2012) on laaja-alainen kansallinen tutkimus, jonka pääasiallisina tavoitteina oli selvittää lämmöneristyksen lisäyksen ja ilmastonmuutoksen vaikutuksia rakenteiden kosteustekniseen toimintaan ja rakennusten energiankulutukseen.

NeZer-hanke - Nearly Zero Energy Building Renovation. (1.3.2014 – 28.2.2017), koskee lähes 0-energiaratkaisujen ja menetelmien käyttämistä rakennusten ja rakenteiden korjaustoiminnassa.

2.3 Aikaisempia dynaamisen lämmöneristyksen ja rakenneratkaisujen selvityksiä ja tutkimuksia

Dynaaminen lämmöneristys – puutalossa projekti: Ramk, (yläpohja)

Vastavirtakatto, ylipaineikko (Teollisuusrakentaminen) (yläpohja)

Vastavirtakatto, yhdistettynä dynaamisella lämmöneristyksellä, sähkölämmityksellä ja massiivirakenteella. (yläpohja) (Norja)

Kevytrakenteinen vastavirtakatto (Optima-talo) (yläpohja) (Ruotsi)

ER-seinärakenne (seinä) (Suomi)

COSTIC talo, yhdistettynä lämpöpumppuun (korvausilma) (seinä) (Ranska)

SOLPOR-järjestelmä, jossa dynaaminen eristys on osana aurinkoa hyödyntävää rakennetta.

Ekogolvet, ekologisen rakentamisen kokeiluprojekti (Ruotsi)

2.4 Rakennuksen dynaamisen lämpötalouden vaatimukset, haasteet ja toimivuuden reunaehdot

2.4.1 Haasteet

Rakenteiden kosteustekninen toiminta heikkenee (vaipan ulko-osien viilentymisen, jolloin kosteuden kondensoituminen ja homeen kasvulle suotuisat olosuhteet lisääntyvät rakenteissa).

Julkisivujen kosteusriski kasvaa mahdollisen ilmastonmuutoksen vaikutuksesta ja sitä kautta ylimääräinen kosteusrasite siirtyy rakenteen sisäosiin. Jonka lisäksi rakenteiden kuivuminen hidastuu syksyllä ja talvella.

Sisäilman laadun heikkeneminen, kesäinen yllämpeneminen ja jäähdytstarpeen lisääntyminen ja näistä johtuvien paine-erojen kasvaminen.

Lämmöneristyksen lisääminen tuulettuvassa yläpohjassa alentaa tuuletustilan lämpötilaa ja näinollen lisää kosteuden tiivistymistä ja homeen kasvua.

2.4.2 Toimivuuden reunaehdot

Rakennuksen ulkokuori tulee rakentaa hyvin vesihöyryä läpäisevästä jäykistävästä tuulensuojasta, jonka ulkopuolelle tulee hybridirakenteena liittää hyvin lämpöä eristävä tuulensuoja.

Alapohjassa tulee huolehtia että rakennuksen keskiosien maapohjan lämpeneminen ei aiheuta haittaa diffuusion tai kapilaarinousun vaikutuksesta. Periaatteessa tarkkaan rajatulla ns. 0-lämpötilan rajauksen sisällä käytetään ai-noastaan leca-soraa.

Vesikattoa vasten tuleva rakenne tulee varustaa riittävällä lämmöneristyskykyisellä tuulensuojarakenteella, joka toimii toisaalta lämmön poistumisen rajoittimena ja toisaalta yläpohjaan kohdistuvan ilmanpaineen tasaajana.

Ryömintätilan ilmanvaihdossa suositeltava ilmanvaihtokerroin on 0,5–1,0 1/h.

Rakennuksen vaipan ilmatiiveys tulee olla välillä: $q_{50} = 0,4 - 1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$.

Rakennuksen paineistus tulee säätää ilmanvaihdolla siten, että tavoitteena on asuintiloissa pieni alipaine (-2 - -5Pa) maximissaan. -5 Pa.

Tämänhetkiset määräykset vahvistetut lämmöneristystasot.

Nykyisten määräysten mukainen:

Seinä: 250 mm MV
Katto: 500 mm PV
Lattia: 225 mm EPS

Matalaenergiatalo:

Seinä: 300 mm MV
Katto: 550 mm PV
Lattia: 300 mm EPS

Passiivitalo:

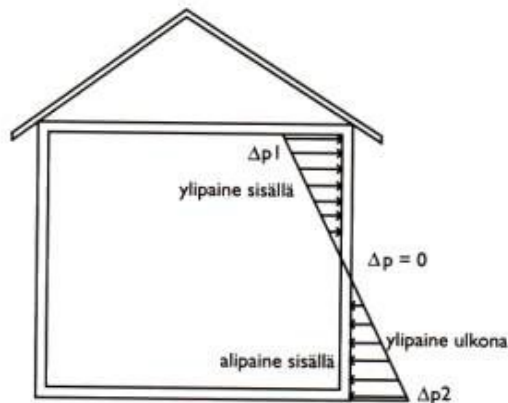
Seinä: 350 mm MV
Katto: 550 mm PV
Lattia: 350 mm EPS

Lähes Nollaenergiatalo:

Seinä: 500 mm MV
Katto: 650 mm PV
Lattia: 350 mm EPS

Tulevaisuudessa ilmastonmuutoksen vaikutuksesta rakennusten lämmitystarve vähenee ja jäähdystystarve kasvaa, jolloin alapohjaratkaisuun avataan ilmanotto ulkoa, jolloin viilennetty ilmassa saadaan termiseen kiertoon.

Suurissa eristekerrospaksuuksissa voi olla vaara ns. kriittisen massan ongelmasta, jolloin eriste alkaa omasta painostaan painua kasaan aiheuttaen ilmavuotokanavia ja yläpohjassa mahdollisten tiiviiden pintojen muodostumista.



Kuvio. Omakotitalon paine-erokuvio (Vinha, Käkelä & Kalamees 2003)

Dynaamisen rakenteen, Ulkoverhouksen lämpö- ja kosteusteknisen toiminnan perusteeksi on käytetty DOF-Lämmössä määrittelemättömän rakennusosan määrittelyyn ja oletuksen perustaksi seuraavaa lainausta: Tuuletusraossa mitattiin ilmavirtauksen keskimääräiseksi arvoksi 0.1 m/s. Mittausten perusteella voitiin todeta, että rakenteen ulkoverhouksen takana oleva tuuletusväli parantaa merkittävästi rakenteen kosteusteknistä toimintaa. Tuuletusvälin lämpötilan ero ulkoilman lämpötilaan kasvoi lineaarisesti ulkoilman lämpötilan laskiessa.

Lämpötilan nousu tuuletusvälissä alentaa tuuletusvälin RH:ta ja pienentää samalla rakenteen homehtumisriskiä sekä kosteuden kondensoitumisriskiä

rakenteeseen. Lisäksi tuuletusväli parantaa rakenteen lämmöneristävyyttä ja kuivumiskykyä. (Vinha, Käkelä & Kalamees 2003.)

2.5 Rakenteet

Dynaaminen US. (Ulkoseinä)

Ulompi seinärakenne:

Vaakapaneeli UTV 22x125

Tuuletusväli 25 mm, lauta 25x100 kk 600

Hybridirakenne: ISOVER RKL 45 mm, Glasroc GHU 13 mm, Bituliitti 13 mm

Runko, lankku 50x100 kk 600, Puukuitueriste 100 mm

Gyproc GEKE 13 mm

ISOVER Vario RH sisä, hygrokalvo 0.22 mm

U-arvo: 0.237 W/m²K

ILMAKANAVA 80 mm

Sisempi seinärakenne:

ISOVER Vario RH sisä, hygrokalvo 0.22 mm

Gyproc GEK 13 mm

Runko, lankku 50x100 kk 600, mineraalivilla 100 mm

Rakennusmuovi 0.20 mm

Vaakakoolaus, rima 48x48 kk 600, mineraalivilla 50 mm

Gyprog GNE 13 mm

U-arvo: 0.254 W/m²K

Dynaaminen YP. (Yläpohja)

Vesikate:

Katepal Classic KL, kattolaatta

Aluskermi

Raakaponttilauta 28x95

Tuuletusväli 72 mm, paarteen päälle

Koolaus, rima 48x72

ISOVER RKL-31 FASADE 25 mm, paarteen alapintaan, kattotuolien väliin

ILMATILA

Yläpohja:

EKO-selluvilla 400 mm

ISOVER KL-32, mineraalivilla 100 mm

Rakennus-/höyrysulkumuovi 0.20 mm

Koolaus, rima 48x48 kk 600

Kattopaneeli 20x125

Dynaaminen AP. (Alapohja)

Tiivistetty sepelimurske 300 mm

SPU R, eristelevy 3x100 mm, keskiosalla Leca-sora KS420KAP, 4-20 mm

ILMATILA 700 mm

Lattia:

Bituliitti 13 mm

Lattianiskat, lankku 48x200 kk 600

Mineraalivilla/EKO-puukuitueriste 200 mm

Rakennusmuovi 0.20 mm/EKO-ilmasulkupaperi 0.30 mm

Lattialauta 28x95

3. JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

3.1 Johtopäätökset

Dynaamisen ulkoseinän osalta rakennusosan toiminnallinen analyysi: Kylmän ilman lähtiessä tunkeutumaan rakenteeseen yksi tärkeimpiä lämpö- ja kosteusteknisesti yksittäisiä rakennusosia on **ilmarako**, ulkovuoren ja tuulensuojan välillä.

Ilmaraossa tapahtuu kokonaisuuden kannalta merkittävää kosteuden poistumista rakenteesta sisältäpäin johtuvan lämmön vaikutuksesta tapahtuvasta termisestä ilman kohoamisesta johtuen (ilman nopeus n. 0.1 m/s).

Tuulensuojarakenteesta ja edelleen lämmöneristyksessä käytettävistä materiaaleista saadaan hyvää ja huolellista rakennustapaa noudattaen riittävän tiivis rakenteessa voidaan käyttää ns. hybridirakenteita useimmiten levyratkaisuina, joilla optimoidaan rakenne lämpötekniisesti oikein ja varmistetaan riittävän tiiveyden vaatimus, rakennusaineen tiivistyessä sisäänpäin.

Taloteknisenä ilmakehänä käytettävää ilmaväliä vasten ulompi kuori tiivistetään ilmakehää vasten hygrokalvolla, joka termisten olojen vaikutuksesta säättää itse kanavassa kulkevan ilman ja rakenteesta johtuvan kosteuden kulkeuman välistä läpäisevyyttä, ollen pakkasjaksoilla tiiveimmillään.

Ilmavälin vaikutus rakenteen kokonaistoimivuuteen lämpö -ja kosteusteknisenä rakenteena on merkittävä. Peruslähtökohtana on asuintilojen osalta pidettävä normaalia taloteknistä ilmanvaihtoa, eli 0,5 kertaa tunnissa. Ilmankulun talotekniikan vaikutuksesta on arviolta $\frac{1}{4}$ (0,025 m/s) osa lämpötilan termisestä kosteudesta johtuvasta ilmannopeudesta.

Peruslähtökohtana on että se ilma, mikä huoneistojen kautta kierää alapohjasta, menettää lämmöstään $\frac{3}{4}$ ja kanavan alaosan jälkeen, ilma alkaa ke-

räämään noustessaan lämpöä ja kosteutta rakenteista, jolloin termisen ilmiön johdosta ilman kulkunopeus nousee.

Dynaamisen seinärakenteen sisäpuolinen rakenne on merkittävässä osassa asumismukavuuden ja ilmanlaadun näkökulmasta, koska periaatteena tulee olla se, että rakenne hengittää vapaasti ja luovuttaa rakennusteknisen kosteuden suoraan joko huoneilmaan tai ilmakehään.

Rakenteena voidaan käyttää ns. normaalia perusratkaisua eli mineraalivillaan ja seinien osalta rakennusmuoviin perustuvaa ratkaisua, tai massiivi-puu (hirs), jolloin rakenne toimii itsestään kosteusteknisesti oikein. Tai mahdollisuus on käyttää seinien osalta lähes nollaenergia ratkaisuissakin käytettyä PU-rakennetta, jolloin päästään ohuempaan rakenteeseen, mutta kosteusteknisesti rakenteen osalta tulee ”läpäisemätön” rakenne ratkaista talotekniikan keinoin.

Lämpötekniisesti ilmakehän vaikutus lämpötilaan kanavan yläpäässä on edellä kuvatun perusteella keskimäärin n. 10 astetta ja suhteellisen kosteuden osuuden vähenemä 20-25 RH%.

3.2 Pohdinta

3.2.1 Lähtökohta idealle

Tämän hetken saatavissa olevan tiedon ja ohjeiden perusteella esim. lähes nollaenergiaratkaisun kokonaisseinäpaksuus vaihtelee 400–700 mm välillä, kun eristepaksuudet ovat välillä 300–600 mm. Esittämässäni dynaamisessa ratkaisussa rakenteen kokonaispaksuudeksi on saatu 485 mm, joka on varsin maltillinen ja eristepaksuuksien osalta puhutaan 200–250 mm:stä.

Ensimmäisiä kuorirakenteita olemassa olevissa rakenteissa ovat esim. saamelaiden käyttämät talvilaavut, joissa luodekankaan päälle levitettiin toiseksi kuoreksi poron taljoja.

Seuraava kehitysvaihe ovat nykyiset ns. extreme-teltat, jotka ovat selkeitä kaksikerrosrakenteista, myös nykyinen ulkoilupukeutuminen perustuu kerrosrukeutumiselle, jossa on selkeästi kuorirakenne ja ilmaa johtava välikerros ja ihoa vasten lämpöä eristävä kerros.

Analyysiin innoitus ja pohja on tullut pitkän rakennusvalvonnassa saadun kokemuksen perusteella. Työuran aikana on kohdannut usein rakenneratkaisuita, jotka ovat epätydyttäviä ratkaisuja kosteusteknisten ominaisuuksien ja lämmöneristyksen puolesta.

Varsinaisen sykäyksen analyysin laadintaan antoi matalaenergisten talojen energiansäästövaatimusten tulo, jolloin jo aloin ajattelemaan rakenteiden kokonaistaloudellista merkitystä ja toimivuutta. Asia konkretisoitui passiivienergiatalon rakenteellisten lämmöneristys vaatimusten kohdalla.

3.2.2 Pohdintaa tuloksista

Rakenteesta laskettava U-arvo tulee olla mielestäni aivan muuta kuin rakennuksesta laskettava tekninen lämmönläpäisykerroin. Kertoimen ollessa kyseessä sillä kerrotaan ns. normirakenne ja tulos on, kertaa parempi tai huomppi kuin normirakenne.

Teoreettinen U-arvo on mielestäni ristiriidassa kaiken muun kanssa, mitä kokonaisvaltainen rakennuksen lämpötaloudellinen energiansäästö edellyttää huomioiden rakennuksen toiminnalliset reunaehdot. Toivottavasti lähes nollaenergiaratkaisua määritettäessä saadaan aikaan todellinen luku tai arvo, joka kuvaa rakennuksen energian kulutusta ja asumisolojen laatua.

Tutkielman mukainen rakennus on täysin rakennettavissa. Kaikki rakennustekniset ratkaisut ovat olemassa olevia. Rakennustyötä suunnitellessa tulee rakennustyöselityksessä kiinnittää erityistä huomiota eri rakennusosien väliinseen työjärjestykseen. Esimerkiksi seinärakenteista; tehdäänkö ulompi kuo-

riosa ensin ja nostetaanko sisäseinärunko tietyin osin valmisteltuna pystyyn sisältä päin.

Analyysin pohjalta ei kuitenkaan ole laadittu kustannusvertailua passiiviennergia- tai lähes nollaenergiaratkaisuihin verrattuna. Oma arvioni on, että niillä rakennusmateriaaleilla ja ratkaisuilla, mitä tutkielmassani olen käyttänyt, kustannukset eivät sanottavasti poikkea passiiviennergiaratkaisusta.

Analyysia esitetyn rakenneratkaisun toimivuudesta ja merkityksestä tarkasteltaessa energiatehokasta rakentamista voi pitää luotettavana asiaa peilaten pitkään kokemukseeni rakentamisessa. Arvioni tutkimani teoreettisen rakenteen U-arvosta on $0.11 - 0.09 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3.2.3 Jatkotutkimus ja kehittäminen

Lopullisen luotettavuuden analyysin teoreeman saavuttamiseksi tulee rakentaa koetalo, josta saatavan rakennusteknisen tiedon hyödynnettävyyden ja mittauksellisen seurannan perusteella saatavan tiedon perusteella voidaan lopullisesti todentaa rakenteen energiatehokkuus.

Idean edelleen kehittämisessä yksi suuntaus on elementtiteollisuus, jonka puitteissa rakenteiden optimoiminen ja jatkojalostus saa suuremman pohjan ja rakentamisen laatu saadaan riittävälle tasolle, jotta varmistetaan rakenteiden riittävä tiiveys.

LÄHTEET

Rakennuslehti 2015. Uutiset/Energiatehokkuus. Viitattu 9.2.2015
www.rakennuslahti.fi/2015/02/487051.

RakMK 2010 = Suomen rakentamismääräyskokoelma. C3 Rakennusten lämmöneristys. Määräykset 2010.

RIL 249-2009. 2010 (tp). Matalaenergiarakentaminen. Asuinrakennukset. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL.

Rovaniemen ammattikorkeakoulu 2001. Dynaaminen lämmöneristys puutalossa – kenttätutkimus. Loppuraportti. Rovaniemen amk. Tekniikan ja liikenteen teknologiapalvelu.

Suhteellinen kosteus 2015. 27.3.2015. fi.wikipedia.org/wiki/kosteus.

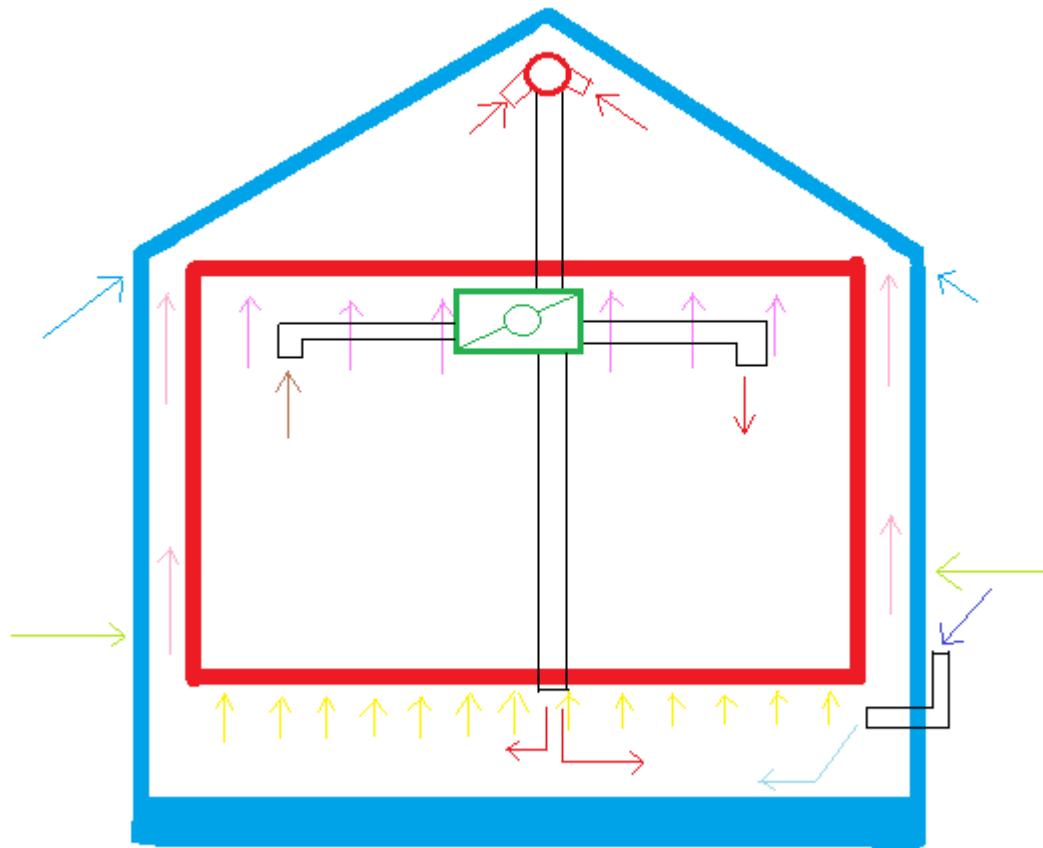
Vinha J. 2014. Energiatehokkuuden vaikutukset uudis- ja korjausrakentamisessa. (PP). Tampere: TTY, Rakennustekniikan laitos.

Vinha, J., Käkelä, P. & Kalamees, T. 2003. Puurunkoisten seinärakenteiden kosteusteknisen toiminnan vertailu omakotitalossa. Tampere: TTY, Rakennustekniikan laitos.

LIITTEET

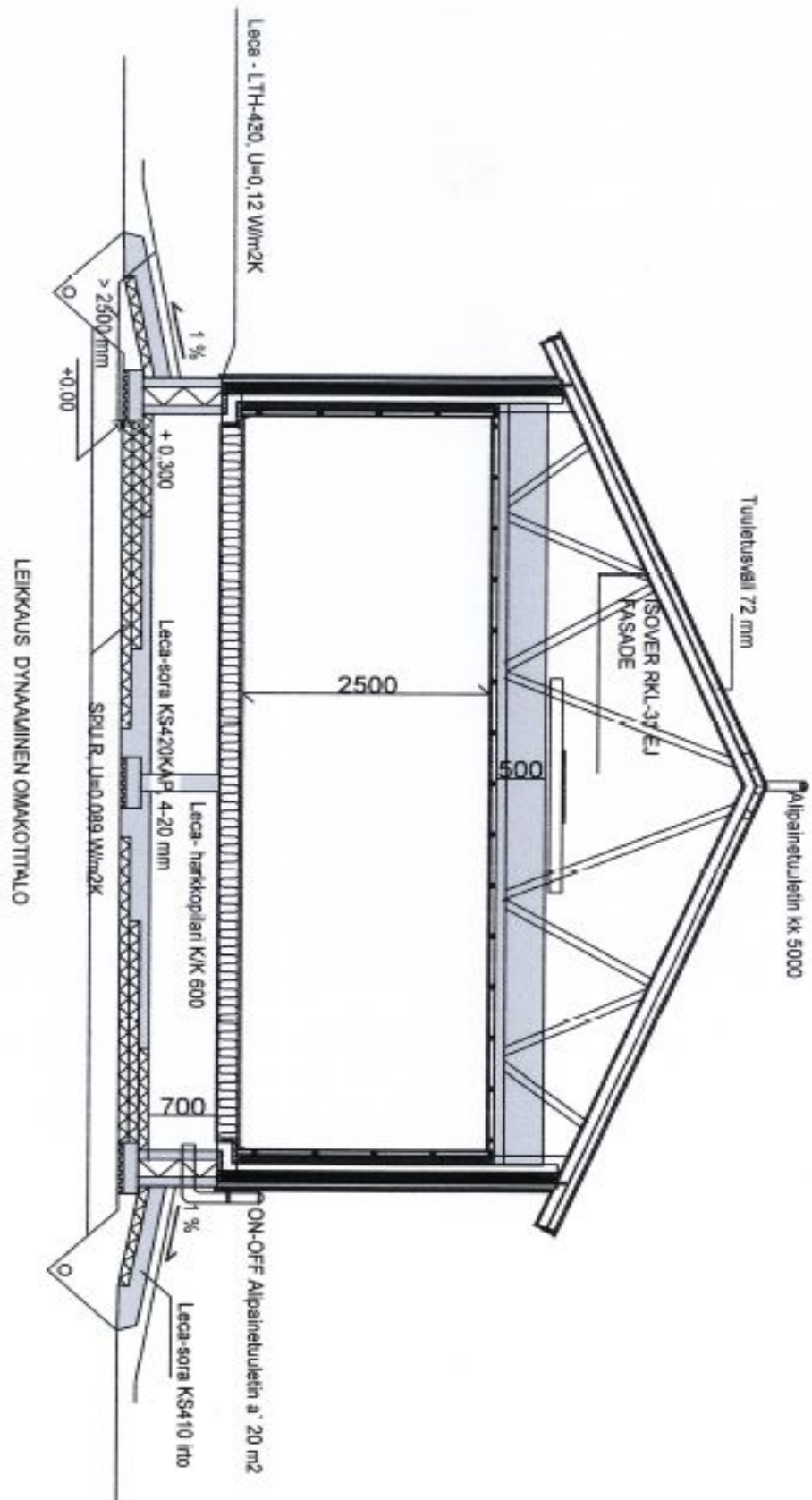
- Liite 1. Ajatushautomo, periaatteellinen toimintamallikaavio
- Liite 2. Lämpöteknisesti dynaamisen omakotitalon poikkileikkaus
- Liite 3. Dynaamiset rakenteet
- Liite 4. Dynaamisen yläpohjan liitosdetalji
- Liite 5. Dynaamisen alapohjan liitosdetalji
- Liite 6. DOF-Lämpö laskelma 1, Ulkokuori
- Liite 7. DOF-Lämpö laskelma 2. Sisäkuori

LIITE 1. Ajatushautomo



AJATUSHAUTOMO

Liite 2. Lämpötekniisesti dynaamisen omakotitalon poikkileikkaus



Liite 3. Dynaamiset rakenteet

Dynaaminen YP.

Vesiläite: Katepal Classic KL, kattolaattia
 Aluskermi
 Raakaponttilaattia 28x96
 Tuuletusväli 72 mm, paanteen päälle kooaus 72x48
 ISOVER RKL-31 EJ FASADE, paanteen alapintaar,
 kattotuolien välin

ILMATILA

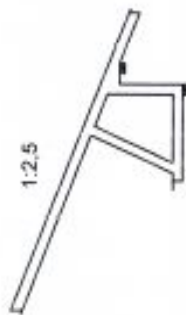
EKO-Selluvilla 400 mm
 ISOVER KL-32 Mineraalivilla 100 mm
 Rakennus-höyrysulkuvuovi 0.20 mm
 Kooaus 48x48 kk 600 mm
 Kattopaneeli 20x125

Dynaaminen AP.

Masapohja:
 Tiivistetty sepelelurske 300 mm
 SPU R, eriseleivy 3x100 mm, keskiostalla
 Leca-sora KS420KAP, 4-20 mm

ILMATILA 700 mm

Lattia:
 Bituliitti, kultulevy 13 mm
 Niska: 48x200 kk 600, Mineraalivilla/ Eko-
 puukuitteristä 200 mm
 Rakennusmuovi/ Eko-ilmasulkupaperi 0.30 mm
 Lattialaatta 28x95



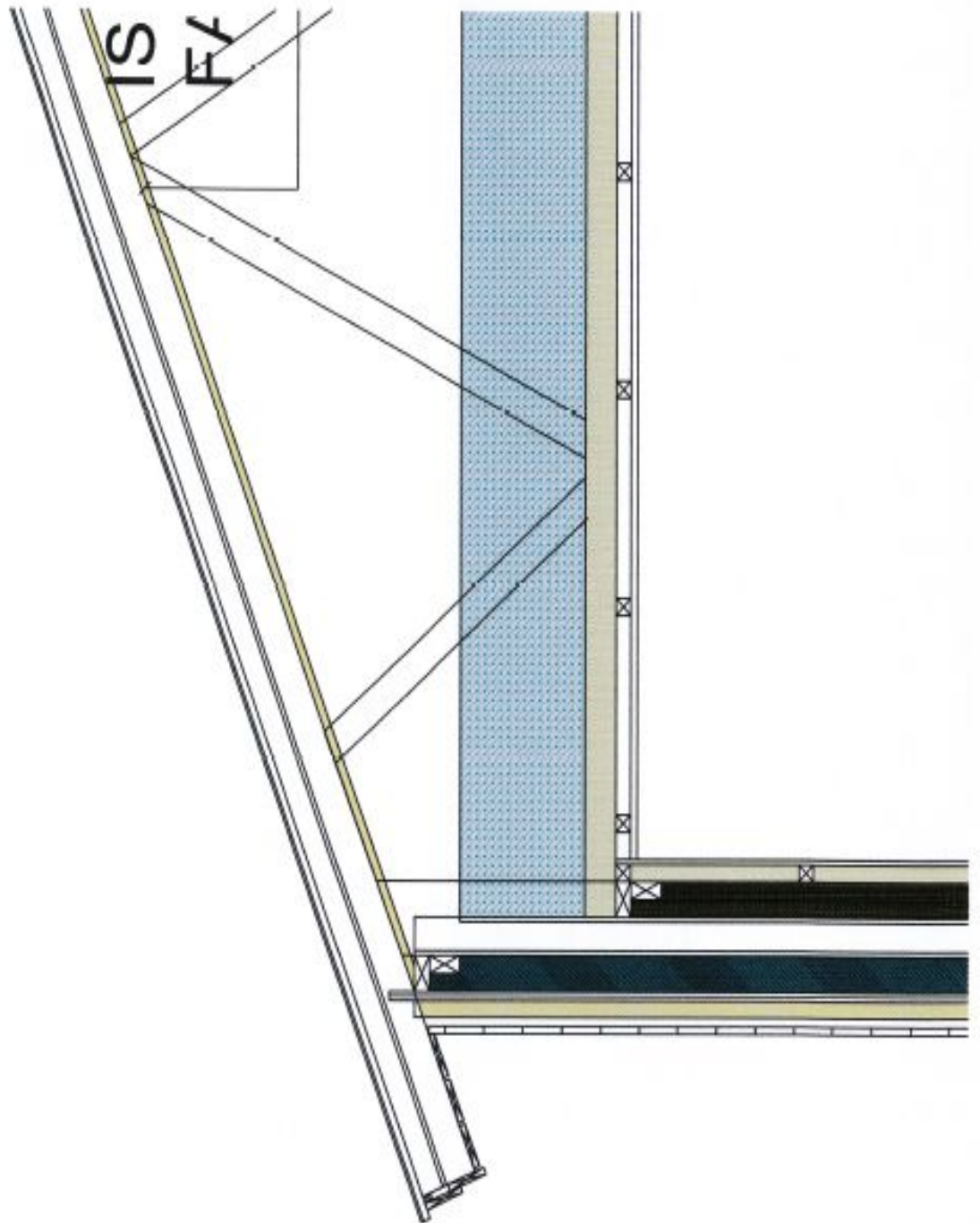
Kattotuolin mitataaikkaus

Dynaaminen US.

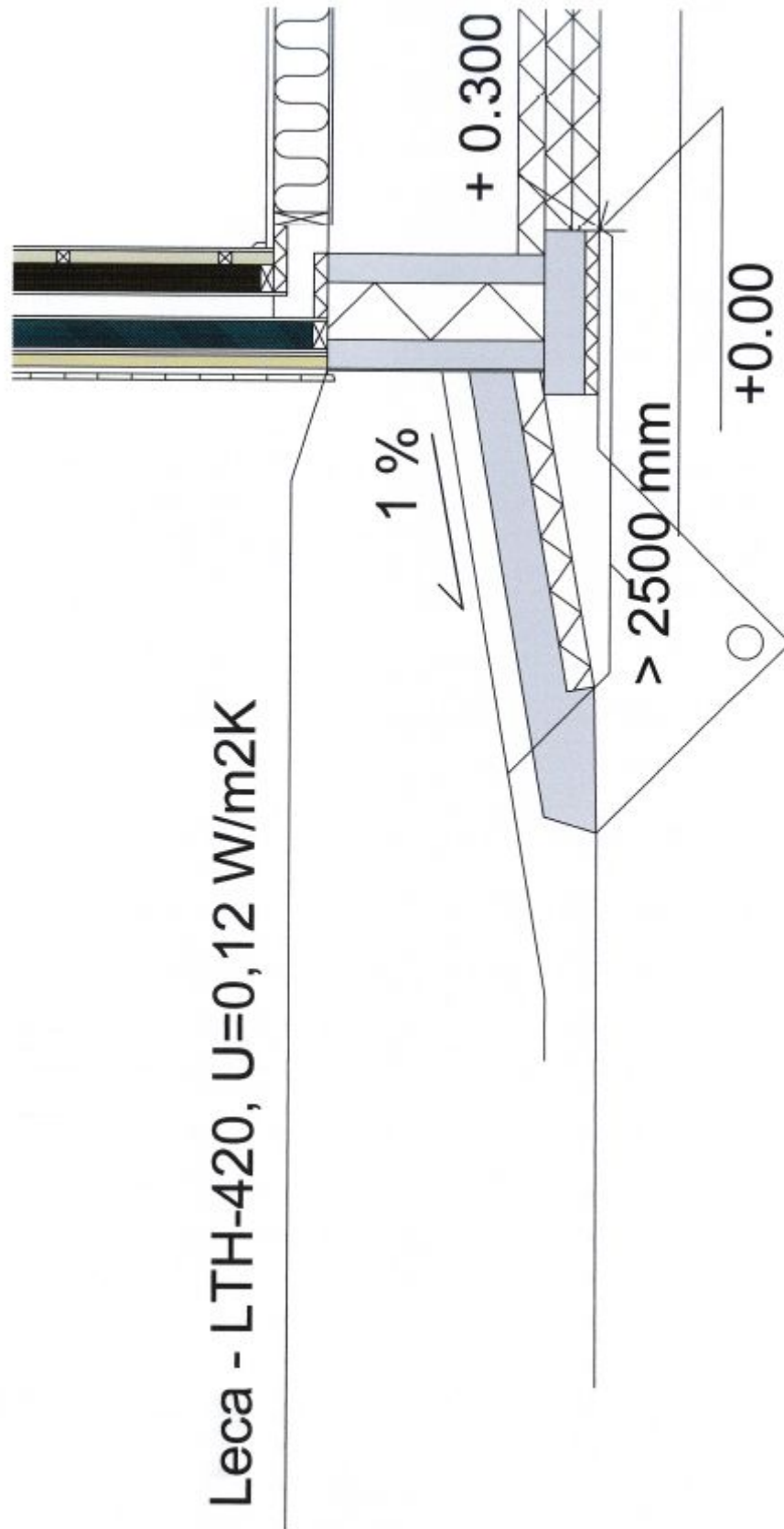
Ulompi seinärakenne:
 Vaakapaneeli UTV 22x125
 Tuuletusväli 25 mm, laatta 25x100 kk 600
 Hybridi rakenne:
 ISOVER RK., 45 mm
 Clesroc GHU 13 mm
 Bituliitti 13 mm
 Runko: 50x100 kk 600, Puukuitruoris a 100 mm
 Gyproc GEKE 13 mm
 ISOVER Vasio RH sisä, hydrokalvo t, 22 mm
 ILMAKANAVA 80 mm

Sisempi seinärakenne:
 ISOVER Vario RH sisä, hydrokalvo t, 22 mm
 Gyproc GEK 13 mm
 Runko 50x100 kk 600, Mineraalivilla 100 mm
 Kooaus 48x48 kk 600, Mineraalivilla 50 mm
 Gyproc GNE 13 mm

Liite 4. Dynaamisen yläpohjan liitosdetalji



Liite 5. Dynaamisen alapohjan liitosdetalji



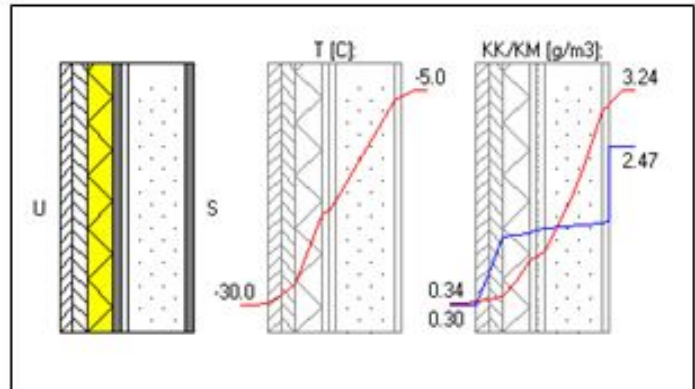
Liite 6. DOF-lämpöläskelmat 1, Ulkokuori



Rakennuskohde: Omakotitalo	Sisältö: Ulkoseinä	
Suunnittelija: MEP	Päiväys: 27.2.2015	Tunnus: DUS 4 270215

Rakenteen päätiedot:

U-arvo:	0,237 W/m2K
Paksuus:	231.220 mm
Pinta-ala:	1.00 m2
Paino:	50.44 kg
Hinta:	0.12 euro
Vesihöyryn vastus:	1.069e+04 m2hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	9.350e-05 g/m2hPa
Lämmönvastus:	4.211 m2K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m2K/W
Pintavastus, sisä:	1.130 m2K/W
Kulma (0-90):	90.000

**Rakenteen kerrostiedot:**

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:
1 Pyy (kuusi)	22.00	0.1400	2.777778e-12	0.00	440.00
2 Puu (mänty)	25.00	0.1200	2.777778e-12	0.00	480.00
3 ISOVER RKL-A	45.00	0.0330	7.450278e-11	0.00	0.00
4 Glasroc GHU 13	13.00	0.2200	2.000000e-11	0.00	693.00
5 Puukuitulevy, huok.	13.00	0.0650	1.900000e-11	0.00	350.00
6 Puukuitueriste	100.00	0.0500	1.050000e-10	0.00	35.00
7 Gyproc GEKE 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	900.00
8 ISOVER VARIO RH sisä	0.22	0.3400	1.219500e-14	0.00	0.00

KYLMÄSILTA:	LJ [W/mK]:	SPA [%]:	Hinta [e/m3]:	Paino [kg/m3]:	LK [W/K](kpl):
2 Ilmarako	0.1200	10.0	50.00	480.00	∞

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys, SPA = Suht. pinta-ala, LK = Lisäkonduktanssi

Lämpötilat ja kosteudet:

Piste:	T [C]:	KK [g/m3]:	KM [g/m3]:	SK [%]:	C [g/m2]:
U	-30.00	0.34	0.30	90.0	0.00
1	-29.76	0.34	0.30	87.9	0.00
2	-28.83	0.38	0.75	100.0	0.00
3	-27.59	0.43	1.25	100.0	4.28
4	-19.50	0.92	1.29	100.0	0.00
5	-19.15	0.95	1.32	100.0	0.00
6	-17.96	1.06	1.36	100.0	0.00
7	-6.08	2.97	1.42	47.7	0.00
8	-5.78	3.04	1.45	47.7	0.00
9	-5.77	3.05	2.47	81.0	0.00
S	-5.00	3.24	2.47	78.0	0.00

Tiivistymisvaara! (SK_max = 100.0 %)

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

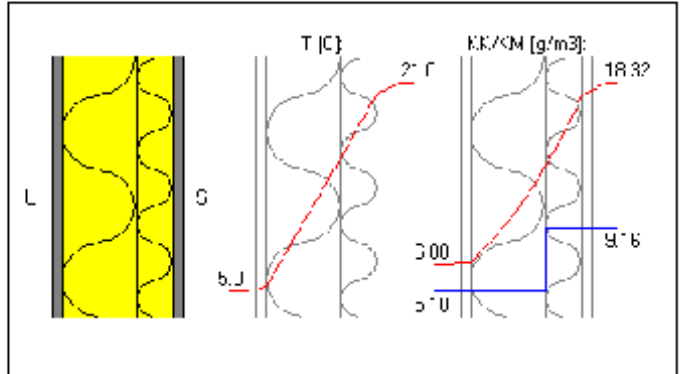
Lisätiedot:

Liite 7. DOF-lämpöselvitys 2; Sisäkuori

Rakennuskohde: Omakotitalo	Sisältö: Dynaamisen ulkoseinän sisempi osa	
Suunnittelija: MEP	Päiväys: 13.4.2015	Tunnus: DUSS 2 13041

Rakenteen päätiedot

U-arvo:	0.254 W/m ² K
Paksuus:	176.420 mm
Pinta-ala:	1.00 m ²
Paino:	20.89 kg
Hinta:	0.00 euro
Vesihöyryn vastus:	1.281e+05 m ² hPa/g
Vesih. läpäisykerroin:	7.808e-06 g/m ² hPa
Lämmönvastus:	3.934 m ² K/W
Pintavastus, ulko:	0.040 m ² K/W
Pintavastus, sisä:	0.130 m ² K/W
Kulma (0-90):	90.000



Rakenteen kerrostiedot

Kerrokset ulkoa (U) sisälle (S)

KERROS:	T [mm]:	LJ [W/mK]:	VHL [kg/msPa]	Hinta [e/m ³]:	Paino [kg/m ³]:
1 ISOVER VARIO RH sisä	0.22	0.3400	2.631583e-14	0.00	0.00
2 Gyproc GEK 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	900.00
3 ISOVER KL 35	100.00	0.0410	1.050000e-10	0.00	0.00
4 Muovikalvo 0.20 mm	0.20	0.3400	4.444444e-16	0.00	900.00
5 ISOVER KL 35	50.00	0.0410	1.050000e-10	0.00	0.00
6 Gyproc GNE 13	13.00	0.2500	2.000000e-11	0.00	693.00

T = Paksuus, LJ = Lämmönjohtavuus, VHL = Vesihöyryn läpäisevyys

Lämpötilat ja kosteudet

Sisäseinä DUSS 2 (24.0 h)

Piste:	T [C]:	KK [g/m ³]:	KM [g/m ³]:	SK [%]:	C [g/m ²]:
U	5.00	6.80	5.10	75.0	0.00
1	5.16	6.87	5.10	74.2	0.00
2	5.17	6.87	5.17	75.3	0.00
3	5.38	6.97	5.18	74.3	0.00
4	15.30	13.06	5.19	39.7	0.00
5	15.30	13.06	9.15	70.1	0.00
6	20.26	17.55	9.16	52.2	0.00
7	20.47	17.77	9.16	51.6	0.00
S	21.00	18.32	9.16	50.0	0.00

T=Lämpötila, KK=Kyllästymiskosteus, KM=Kosteusmäärä, SK=Suhteellinen kosteus

Lisätiedot